



KEMENTERIAN
ESDM

SESAR CIMANDIRI

**Teror Gempa Tersembunyi,
Memahami Potensi Sesar Aktif,
Membangun Kesiapsiagaan**

SE SAR CIMANDIRI

**Teror Gempa Tersembunyi,
Memahami Potensi Sesar Aktif,
Membangun Kesiapsiagaan**

SESAR CIMANDIRI

**Teror Gempa Tersembunyi,
Memahami Potensi Sesar Aktif,
Membangun Kesiapsiagaan**

Penulis:

Sukahar Eka Adi Saputra
Ibrahim Mandi
Binsar Fernando Purba
Emilia Rosmika
Dora Anna Hutajulu

**Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
2025**

ISBN: 978-634-96502-2-9

SESAR CIMANDIRI

**Teror Gempa Tersembunyi,
Memahami Potensi Sesar Aktif, Membangun Kesiapsiagaan**

Penulis:

Sukahar Eka Adi Saputra, Ibrahim Mandi, Binsar Fernando Purba,
Emilia Rosmika, Dora Anna Hutajulu

Penyunting:

Hermes Panggabean, Atep Kurnia

Penata letak:

Rian Koswara

Desainer Sampul:

Agus Soma

Pengelola Penerbitan:

Joko Parwata, Rian Koswara, M. Iqbal, Ivan Ferdian

Diterbitkan oleh:

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
Jl. Medan Merdeka Selatan No. 18, Jakarta Pusat 10110 - Indonesia

Dikeluarkan oleh:

BADAN GEOLOGI
Jl. Diponegoro No. 57 Bandung 40122
Website: www.geologi.esdm.go.id

Cetakan Pertama: November 2025

Hak Cipta dilindungi Undang-undang.
Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku
tanpa izin penulis dan penerbit

SAMBUTAN

MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL

Pemerintah Indonesia memiliki visi strategis untuk mewujudkan ketahanan energi nasional yang kuat, demi kesejahteraan rakyat dan kemajuan bangsa. Ketahanan energi sudah barang tentu tidak hanya bergantung pada kecukupan pasokan belaka, tetapi terciptanya rasa aman bagi masyarakat dari berbagai ancaman bencana geologi yang dapat mengganggu aktivitas ekonomi dan pembangunan nasional juga sangat penting. Karena itu, pengurangan risiko bencana adalah elemen penting demi menjaga keberlangsungan sistem energi dan keselamatan masyarakat.

Mengacu pada Peraturan Presiden Nomor 169 Tahun 2024 tentang Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, salah satu fungsi utama Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral adalah pelaksanaan penyelidikan dan pelayanan di bidang sumber daya geologi, vulkanologi dan mitigasi bencana geologi, air tanah, geologi lingkungan, serta survei geologi. Fungsi ini dilaksanakan oleh Badan Geologi melalui berbagai kegiatan penyelidikan, pemantauan, penyediaan data kebumian, serta layanan mitigasi bencana geologi.

Melalui Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral secara berkelanjutan memantau aktivitas gunung api, mengkaji ancaman gempa bumi, mengidentifikasi potensi gerakan tanah, tsunami, dan likuefaksi, serta menyediakan informasi kegeologian yang akurat dan dapat diandalkan bagi pemerintah daerah maupun masyarakat. Informasi ini menjadi dasar penting dalam penyusunan kebijakan mitigasi bencana, perencanaan tata ruang, serta kesiapsiagaan masyarakat.

Dalam konteks inilah, buku ***Sesar Cimandiri: Teror Gempa Tersembunyi, Memahami Potensi Sesar Aktif, Membangun Kesiapsiagaan*** merupakan kontribusi ilmiah dan edukatif dari Badan Geologi untuk memperkuat literasi kebencanaan di Indonesia. Mengingat Sesar Cimandiri merupakan salah satu sesar aktif yang penting di Jawa Barat yang keberadaannya memerlukan perhatian khusus karena berpotensi memicu gempa bumi dengan wilayah terdampak yang termasuk banyak. Di dalam buku disajikan informasi dan penjelasan komprehensif mengenai karakteristik sesar, potensi ancaman, serta langkah-langkah mitigasi yang dapat dilakukan oleh pemerintah dan masyarakat.

Kata kunci untuk mempercepat terwujudnya masyarakat yang melek bencana geologi adalah kolaborasi. Oleh karena itu, buku ini diharapkan menjadi rujukan teknis sekaligus jembatan pengetahuan antara pemerintah, akademisi, dan masyarakat dalam membangun budaya sadar risiko serta kesiapsiagaan terhadap gempa bumi dan ancaman geologi lainnya.

Kami menyampaikan apresiasi kepada Badan Geologi dan seluruh pihak yang terlibat dalam penyusunan buku ini. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat luas dan menjadi bagian dari upaya kolektif kita dalam membangun bangsa yang tangguh menghadapi bencana.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi
Wabarakatuh.

Jakarta, November 2025
Menteri Energi dan Sumber Daya
Mineral Republik Indonesia



Bahlil Lahadalia

KATA PENGANTAR

KEPALA BADAN GEOLOGI

KEMENTERIAN ESDM

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas terselesaikannya publikasi berjudul *Sesar Cimandiri: Teror Gempa Tersembunyi, Memahami Potensi Sesar Aktif, Membangun Kesiapsiagaan*. Buku ini merupakan hasil kerja keras tim di Badan Geologi dan kolaborasi para ahli dalam bidang geologi dan mitigasi bencana geologi.

Sesar Cimandiri merupakan salah satu sesar aktif di Indonesia yang memiliki potensi bencana yang harus diwaspadai, sehingga pemahaman dan mitigasi risiko geologinya dinilai sangat penting. Buku ini menggambarkan sesar tersebut sebagai entitas yang mengintai, yang menekankan bahwa potensi gempa bumi dapat terjadi sewaktu-waktu, seperti tekanan yang tiba-tiba dilepaskan di dalam bumi. Misalnya peristiwa gempa dahsyat di Myanmar pada 28 Maret 2025 mengingatkan kita akan kekuatan alam yang mampu menimbulkan kerusakan besar dan luas.

Dilihat dari tugas dan fungsi Badan Geologi, penerbitan buku ini merupakan wujud nyata pelaksanaan mandat lembaga. Sesuai Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 12 Tahun 2025 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Badan Geologi memiliki tugas menyelenggarakan penyelidikan dan pelayanan di bidang sumber daya geologi, vulkanologi, mitigasi bencana geologi, air tanah, geologi lingkungan, serta survei geologi. Fungsi utamanya mencakup penyusunan kebijakan, pelaksanaan penyelidikan dan pelayanan, serta penetapan standar dan prosedur di bidang-bidang tersebut. Selain itu, Badan Geologi memberikan bimbingan

teknis dan supervisi, melakukan pemantauan, analisis, evaluasi, dan pelaporan kegiatan, serta menjalankan tugas administrasi.

Sejalan dengan tugas dan fungsi tersebut, penerbitan buku ini bertujuan memberikan informasi dan pelayanan terkait survei geologi, mitigasi bencana geologi, serta geologi lingkungan. Buku ini diharapkan menjadi rujukan bagi pemerintah daerah maupun masyarakat, khususnya di sekitar Sesar Cimandiri seperti Kabupaten Sukabumi, Kota Sukabumi, dan Kabupaten Cianjur untuk meningkatkan pemahaman mengenai potensi sesar aktif serta strategi mitigasi bencana geologinya.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kami sampaikan kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan buku ini. Semoga informasi yang terkandung di dalamnya bermanfaat dan semakin menumbuhkan kesadaran kita akan pentingnya mitigasi bencana geologi.

Bandung, November 2025
Kepala Badan Geologi

Muhammad Wafid A.N.



DAFTAR ISI

SAMBUTAN MENTERI ESDM	v
KATA PENGANTAR KEPALA BADAN GEOLOGI, KEMENTERIAN ESDM.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
PROLOG.....	1
BAB 1. APA ITU SESAR CIMANDIRI? DIMANA LETAK SESAR CIMANDIRI?	7
1.1 Definisi Sesar	8
1.2 Sesar Turun/Sesar Normal (<i>Normal Fault</i>)	13
1.3 Sesar Naik (<i>Thrust Fault</i>)	15
1.4 Sesar Geser/Sesar Mendatar (<i>Strike-Slip Fault</i>)	17
1.5 Sesar Geser Miring (<i>Oblique Fault</i>)	19
BAB 2. SESAR CIMANDIRI <i>PASSWORD</i> TABIR BUMI: KODE RAHASIA MENGAKSES PENGETAHUAN GEOLOGI	23
2.1 Arti Penting Geologi	25
2.2 Sesar Sebagai Kode Rahasia	26
2.3 Tantangan Penyelidikan Geologi	28
2.4 Relevansi Sosial dan Lingkungan	33
BAB 3. WILAYAH ADMINISTRASI, EKOSISTEM, DAN ASPEK BUDAYA MASYARAKAT DI ZONA SESAR CIMANDIRI	37
3.1 Sesar Cimandiri di Jantung Wilayah Jawa Barat	38
3.2 Wilayah Administrasi yang Terdampak	38
3.3 Ekosistem dan Keanekaragaman Hayati	38
3.4 Aspek Budaya dan Sosial Masyarakat	39
3.5 Pendekatan Holistik Strategi Mitigasi Sesar Aktif Cimandiri	39

3.6 Strategi Mitigasi Bencana Berbasis Ekonomi	41
3.7 Kabupaten Sukabumi: Jantung Jawa Barat	43
3.7.1 Karakteristik Geografi	45
3.7.2 Demografi	46
3.7.3 Ekonomi	46
3.7.4 Tantangan dan Potensi	47
3.8 Kota Sukabumi - Sebuah Kota Permata di Kaki Gunung Gede	47
3.8.1 Karakteristik Geografi	50
3.8.2 Demografi	52
3.8.3 Ekonomi	53
3.8.4 Tantangan dan Potensi	55
3.9 Kabupaten Cianjur	56
3.9.1 Karakteristik Geografi	56
3.9.2 Demografi	58
3.9.3 Ekonomi	59
3.9.4 Tantangan dan Potensi	60
BAB 4. PERJALANAN RUANG DAN WAKTU GEOLOGI PULAU JAWA (PALEOGEOGRAFI)	67
4.1 <i>Timeline</i> Pulau Jawa –Tektonik Sesar Cimandiri	68
4.2 Apa itu Teori Tektonik Lempeng?	68
4.3 Tektonika Kepulauan Indonesia	83
4.4 Sejarah Geologi dan Perkembangan Tektonik Pulau Jawa dilihat dari Bidang Ilmu Paleografi	87
BAB 5. APAKAH ITU SESAR AKTIF? APAKAH SESAR CIMANDIRI AKTIF?	101
5.1 Pengertian Sesar Aktif	102
5.2 Sesar Cimandiri	108
5.3 Kegempaan di Zona Sesar Cimandiri	111
Bab 6. ANATOMI SESAR CIMANDIR	123
6.1 Tektonik Indonesia Bagian Barat	126
6.2 Geologi Zona Sesar Cimandiri	134

6.3 Analisa Morfotektonik (Bentuk Permukaan Bumi dan Struktur Geologi)	156
6.3.1 Sesar Cimandiri – Segmen Kawung Luwuk...	158
6.3.2 Sesar Cimandiri – Segmen Mekarasih.....	161
6.3.3 Sesar Cimandiri – Segmen Bojongjengkol....	170
6.3.4 Sesar Cimandiri – Segmen Lembursitu.....	178
6.3.5 Sesar Cimandiri – Segmen Gandasoli.....	186
6.4 Menelusuri Jejak Rahasia di Dunia Bawah Tanah Sesar Cimandiri	192
6.5 Mengungkap Sesar Cimandiri dengan Teknologi InSAR/DInSAR	198
BAB 7. PENILAIAN BENCANA GEMPA BUMI DI ZONA SESAR CIMANDIRI	207
7.1 Karakteristik Segmentasi Sesar di Zona Sesar Cimandiri	208
7.2 Metodologi dan Strategi Mitigasi Bencana Akibat Sesar Aktif	210
7.3 Bisikan Sesar Cimandiri ke Ibu Kota	220
BAB 8. BAGAIMANA MASYARAKAT BERLAKU HARMONIS DENGAN SESAR CIMANDIRI?	229
EPILOG	253
DAFTAR PUSTAKA	257
UCAPAN TERIMA KASIH	
BIODATA PENULIS	

*Kami dedikasikan buku ini kepada para
pendahulu kami di Puslitbang Geologi
(sekarang Badan Geologi – Kementerian
Energi dan Sumber Daya Mineral):*

*Engkon Kertapati
Asdani Soehaimi
Atang Djuhandar
M. Firdaus
Alm. Ismet Effendi*

*atas dedikasi dan kontribusi luar biasa
mereka di bidang Seismotektonik dan Sesar
Aktif di Indonesia. Jerih payah mereka
telah meletakkan fondasi yang kokoh bagi
penelitian dan pengetahuan di bidang ini.*

PROLOG

*"Sesar Cimandiri, si senyuman sang bumi,
menuntut kita untuk saling sinergi -
memikirkan mitigasi, menjaga lingkungan,
dan menciptakan kedamaian."*

Kepulauan Indonesia terbentuk dari interaksi kompleks berbagai lempeng tektonik utama dan mikro, termasuk Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik-Filipina. Interaksi ini menghasilkan konvergensi, subduksi, dan deformasi kerak bumi yang membentuk busur vulkanik, palung laut dalam, serta fenomena geologi seperti gempa bumi dan aktivitas vulkanik. Secara tektonik, Indonesia Barat dipengaruhi subduksi Lempeng Hindia-Australia di bawah Eurasia, Indonesia Tengah didominasi fragmen benua mikro dengan interaksi kerak samudera, sedangkan Indonesia Timur merupakan zona tumbukan lempeng kompleks di sekitar Paparan Aru. Pola tektonik ini menjelaskan adanya distribusi gunungapi, morfologi kepulauan, serta risiko bencana geologi yang khas di masing-masing wilayah.

Pulau Jawa muncul sebagai daratan terpisah sejak periode Paleogen-Neogen akibat subduksi Lempeng Indo-Australia yang membentuk busur kepulauan Sunda, pegunungan, dataran tinggi, serta gunungapi seperti Gunung Gede – Pangrango, Gunung Salak, Gunung Merapi, Gunung Semeru, dan Gunung Bromo. Selain menyebabkan kehadiran gunungapi dan pengangkatan pegunungan, subduksi Lempeng Indo-Australia memicu deformasi kerak bumi yang berujung pada terbentuknya sesar-sesar aktif seperti Sesar Cimandiri.

Sesar Cimandiri yang membentang sekitar 100 kilometer dari Palabuhanratu hingga Bandung Barat merupakan salah satu struktur tektonik paling menonjol di Jawa Barat. Sesar ini merupakan sesar geser miring dengan karakter perpindahan horizontal dengan komponen vertikal yang mencerminkan pengaruh kombinasi gaya tektonik, yaitu tegangan geser mendatar akibat pergerakan relatif lempeng, dan gaya kompresi serta regangan lokal yang muncul dari interaksi lempeng mikro Sunda dengan lempeng besar di sekitarnya. Di wilayah Sukabumi, Sesar Cimandiri mengikuti alur Sungai Cimandiri yang membelah daerahnya menjadi dua blok besar dan menjadi bukti aktivitas tektonik yang kompleks.

Aktivitas sesar aktif, termasuk Sesar Cimandiri, memegang peranan penting dalam deformasi tanah dan gempa bumi. Proses pengangkatan, penurunan, sedimentasi, dan interaksi lempeng mikro selama jutaan tahun membentuk lanskap, cekungan, dan fitur vulkanik Jawa, sekaligus memengaruhi ekosistem, pola sedimentasi, dan risiko bencana.

Daerah yang terdampak akibat keberadaan Sesar Cimandiri meliputi Kabupaten Sukabumi, Kota Sukabumi, dan Kabupaten Cianjur. Kabupaten Sukabumi, dengan luas 4.164,15 km² dan penduduk lebih dari 2,8 juta jiwa memiliki bentang alam berupa dataran rendah, perbukitan, dan pesisir yang kaya sumber daya alam, namun rawan gempa, longsor, dan tekanan urbanisasi. Kota Sukabumi sebagai pusat pertumbuhan dan perdagangan dengan penduduk lebih dari 380 ribu jiwa, menghadapi risiko gempa dan keterbatasan sarana, meski memiliki potensi ekonomi dan infrastruktur yang mendukung pembangunan tangguh. Sedangkan Kabupaten Cianjur dengan populasi sekitar 2,4 juta jiwa dan bentang alam beragam rawan gempa serta longsor, tetapi memiliki potensi sumber daya alam, kearifan lokal, dan dukungan kebijakan yang dapat dimanfaatkan untuk membangun ketahanan masyarakat.

Dengan konteks ini, penulisan buku *Sesar Cimandiri: Teror Gempa Tersembunyi, Memahami Potensi Sesar Aktif, Membangun Kesiapsiagaan* dimaksudkan untuk memberikan pemahaman komprehensif mengenai karakteristik geologi, struktur, dan aktivitas tektonik Sesar Cimandiri sebagai salah satu sesar aktif terpenting di Jawa Barat. Tujuannya antara lain untuk menjelaskan mekanisme pembentukan sesar, jenis pergerakan, dan sejarah aktivitas seismik yang membentuk morfologi, ekosistem, serta kehidupan sosial-ekonomi masyarakat di wilayah yang dilalui sesar, sekaligus menyoroti dampak gempa dan risiko bencana yang mungkin terjadi. Selain itu, penulisan buku ini dimaksudkan untuk memperkuat kapasitas mitigasi bencana melalui analisis data geomorfologi tektonik, geologi,

pemetaan sesar aktif, untuk mendukung perencanaan tata ruang dan pembangunan berkelanjutan, serta meningkatkan kesadaran dan kesiapsiagaan masyarakat.

Secara rinci buku ini disusun sebanyak delapan bab. Bab pertama menguraikan Sesar Cimandiri sebagai struktur geologi penting yang memengaruhi kondisi geografis dan kegempaan Jawa Barat, terutama di Kabupaten dan Kota Sukabumi serta Kabupaten Cianjur. Dimulai dengan definisi sesar dan proses tektonik yang membentuknya, dijelaskan faktor-faktor geologi di bawah permukaan bumi yang mendorong terbentuknya sesar ini. Selanjutnya, lokasi, karakteristik geografis, dan area kunci yang dipengaruhi dipetakan melalui peta dan diagram untuk memberikan gambaran visual interaksi sesar dengan lingkungan.

Bab kedua menampilkan Sesar Cimandiri sebagai salah satu sesar aktif utama di Jawa Barat, yang berperan sebagai “*password*” untuk memahami dinamika geologi, termasuk sejarah bumi, pergerakan lempeng, dan potensi gempa bumi. Sebagai laboratorium alam, sesar ini merekam jutaan tahun proses tektonik yang membentuk bentang alam, sistem hidrogeologi, serta memengaruhi pola pemukiman, penggunaan lahan, dan risiko bencana. Dengan adanya tantangan data yang terbatas, medan sulit, dan kompleksitas bawah permukaan, tetapi teknologi modern seperti pemodelan 3D, citra satelit, DEM *hillshade*, dan LiDAR memungkinkan pemetaan Sesar Cimandiri dapat lebih akurat, sehingga dapat memperkuat mitigasi bencana, pembangunan berkelanjutan, dan pengetahuan ilmiah secara global.

Bab ketiga menyoroti Sesar Cimandiri sebagai sesar aktif yang membelah Kabupaten Sukabumi, Kota Sukabumi, dan Kabupaten Cianjur, sekaligus memengaruhi kondisi geografis, sosial, budaya, serta ekonomi daerah-daerah tersebut. Dampak kehadiran sesar tersebut di antaranya meliputi ancaman gempa, longsor, perubahan ekosistem, dan keharusan adaptasi masyarakat melalui kearifan lokal terhadap keadaan tersebut. Mitigasi yang

dapat dilakukan untuk menghadapinya yaitu dengan pendekatan holistik dan kolaborasi pentahelix, yang meliputi kebijakan, infrastruktur tahan gempa, edukasi, penelitian, teknologi, dan sistem peringatan dini.

Bab keempat membahas sejarah geologi Pulau Jawa yang mencerminkan interaksi kompleks lempeng tektonik yang membentuk lanskap, gunungapi, dan zona sesar aktif selama jutaan tahun. Pulau ini berada di atas Lempeng Mikro Sunda, sementara subduksi Lempeng Indo-Australia di selatan membentuk busur kepulauan Sunda, pegunungan, dan gunung berapi seperti Gunung Salak, Gunung Gede-Pangrango, Merapi, Semeru, dan Bromo. Sesar Cimandiri merupakan salah satu struktur aktif yang memicu gempa signifikan, sedangkan proses pengangkatan, penurunan, sedimentasi, dan interaksi fragmen benua mikro terus membentuk cekungan, morfologi, dan paleogeografi Jawa sejak Mesozoikum.

Bab kelima membahas Sesar Cimandiri sebagai sesar aktif di Jawa Barat dan potensi bahayanya bagi wilayah sekitarnya. Sesar dikategorikan aktif jika terdapat bukti pergerakan dalam ribuan tahun terakhir, yang dapat dianalisis melalui data rekaman gempa, deformasi tanah, dan catatan sejarah gempa. Aktivitas Sesar Cimandiri ini berpotensi menimbulkan gempa bumi dengan dampak pada infrastruktur, keselamatan jiwa, dan ekonomi lokal. Bab ini juga menyoroti langkah mitigasi, termasuk perencanaan tata ruang, sistem peringatan dini, dan edukasi masyarakat. Pemahaman menyeluruh terhadap status dan risiko Sesar Cimandiri penting untuk meningkatkan ketahanan masyarakat dan mengurangi kerugian akibat bencana geologi.

Bab keenam menjelaskan anatomi Sesar Cimandiri secara terperinci, termasuk struktur dan komponen utama seperti bidang sesar, zona gesekan, serta jenis pergerakan horizontal, vertikal, dan kombinasi keduanya. Di dalamnya tersaji analisis data seismik/kegempaan dan geologi yang memaparkan

frekuensi, intensitas, dan potensi gempa yang ditimbulkan sesar ini. Dengan ilustrasi dan diagram, pembaca buku ini dapat memahami interaksi internal sesar dan dampaknya terhadap morfologi serta risiko geologi wilayah sekitarnya. Pemahaman anatomi sesar ini penting diketahui oleh masyarakat sebagai dasar mitigasi bencana, perencanaan tata ruang, dan peningkatan kesadaran serta kesiapsiagaan terhadap bahaya geologi.

Bab ketujuh menggarisbawahi pentingnya penilaian bencana gempa bumi di Zona Sesar Cimandiri sebagai upaya krusial untuk memahami risiko seismik dan merancang strategi mitigasi efektif, mengingat sesar ini memiliki sejarah aktivitas seismik/kegempaan panjang dan potensi gempa magnitudo tinggi. Pendekatan ini mencakup identifikasi risiko melalui data historis, perhitungan maksimum gempa, analisis dampak sosial-ekonomi, pemetaan zona risiko, serta keterlibatan masyarakat untuk meningkatkan kesadaran dan kesiapsiagaan. Strategi mitigasi meliputi perencanaan tata ruang berbasis risiko, penguatan infrastruktur, edukasi dan pelatihan darurat, serta penetapan dan penerapan *Fault Avoidance Zone* (FAZ).

Bab kedelapan sebagai bab terakhir menekankan pentingnya hidup harmonis dan waspada terhadap kondisi geologi di Indonesia, khususnya karena berada di zona *Ring of Fire* yang rawan gempa, letusan gunungapi, dan bencana akibat pergerakan sesar. Dalam hal ini, pemahaman geologi menjadi kunci untuk memanfaatkan sumber daya alam secara berkelanjutan sekaligus mengantisipasi risiko bencana melalui tata ruang, pembangunan bangunan tahan gempa, sistem peringatan dini, dan pendidikan masyarakat. Oleh karena itu, bab ini menggarisbawahi pentingnya kolaborasi pemerintah, masyarakat, dan lembaga terkait, sehingga kesiapsiagaan, mitigasi, dan respon bencana menjadi lebih terstruktur, adaptif, dan mampu meminimalkan kerugian jiwa dan harta benda di wilayah rawan gempa. Salah satu cara untuk hidup harmoni dengan Sesar Cimandiri yang akan dibahas dalam bab ini adalah melalui pendekatan yang dikenal sebagai teori difusi inovasi.

BAB 1. APA ITU SESAR? DIMANA LETAK SESAR CIMANDIRI?

“Sesar bercerita kepada para geolog, menantang mereka untuk mengungkap kisah berliku dari guncangan bumi yang telah membentuk bentang alam semesta yang kita pijak. Dengan pengetahuan mengenai sesar menjadi kunci untuk menghindari bencana, memberi kita pengetahuan peristiwa alam untuk menghindari sisi liar bumi yang penuh misteri.”

Sesar Cimandiri adalah salah satu struktur geologi utama di Provinsi Jawa Barat. Terletak di wilayah yang kaya akan sejarah geologi, sesar ini membentuk dampak signifikan terhadap morfologi dan dinamika daerah jalur yang dilewatinya. Dengan mempelajari Sesar Cimandiri, para ahli geologi dapat memahami lebih dalam tentang proses tektonik dan sejarah geologi yang membentuk wilayah Jawa Barat. Sesar Cimandiri membentang mulai dari wilayah Palabuhanratu di pesisir selatan hingga ke arah timurlaut, melintasi beberapa wilayah kabupaten seperti Sukabumi dan Cianjur hingga Bandung Barat. Panjangnya yang mencapai sekitar 100-kilometer membuatnya menjadi salah satu sesar terpanjang di Jawa Barat. Sesar ini berperan penting dalam aktivitas geologi di daerah tersebut, menyebabkan deformasi (perubahan bentuk) batuan yang signifikan serta berpotensi menimbulkan gempa bumi. Lokasi Sesar Cimandiri dapat dilihat pada ilustrasi yang menunjukkan letaknya di darat (garis merah) seperti terlihat pada Gambar 1.1.

Sebelum mengenal lebih jauh tentang Sesar Cimandiri, akan diuraikan secara jelas istilah sesar atau patahan terlebih dahulu.

1.1 Definisi Sesar

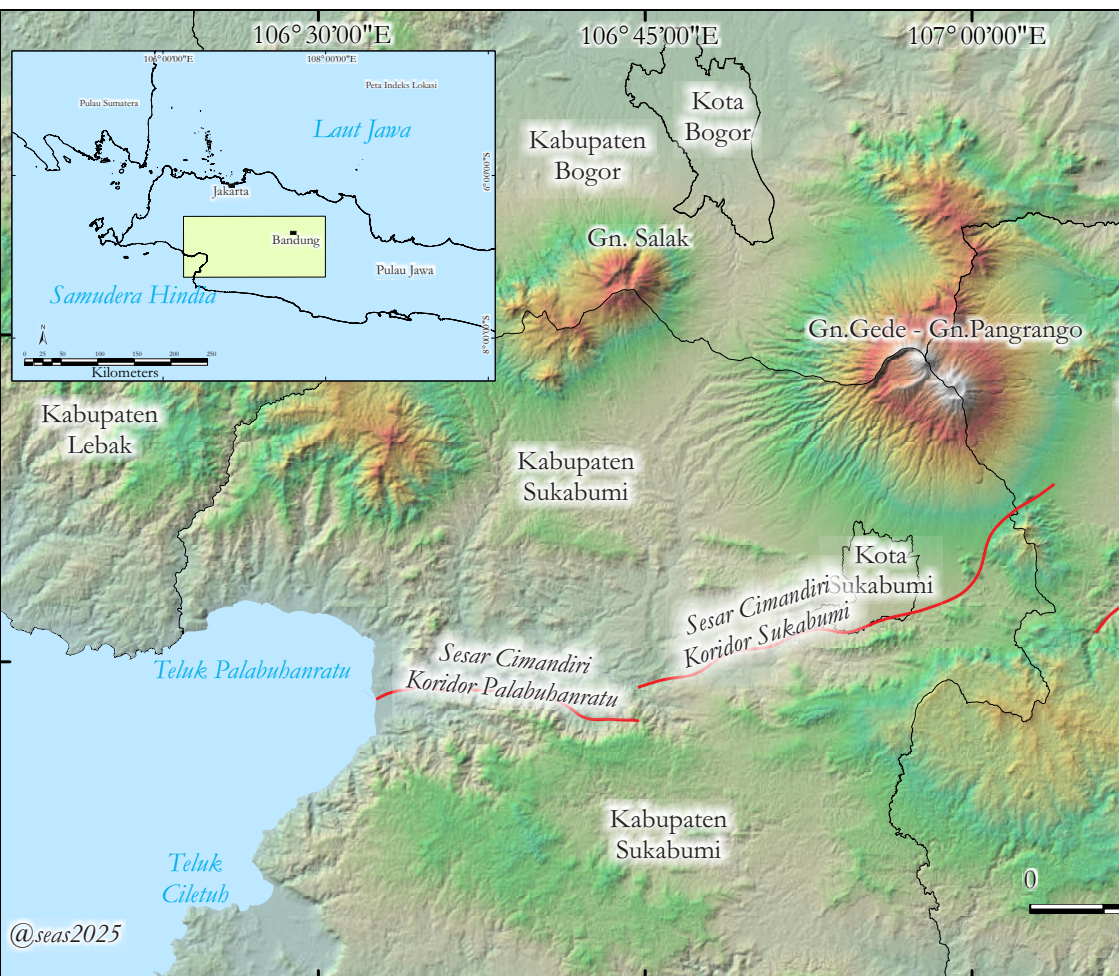
Kata sesar (*fault*) dalam geologi merujuk pada retakan atau zona retakan di Kerak Bumi di mana telah terjadi perpindahan sisi-sisi relatif satu sama lain sejajar dengan retakan tersebut. Sesar adalah hasil dari gaya tektonik yang menyebabkan tekanan (*stress*) pada kerak bumi, mengakibatkan pecah dan pergeseran lapisan batuan. Gerakan ini bisa mendatar/*horizontal*, atas bawah/*vertikal*, atau miring, dan memainkan peran penting dalam membentuk lanskap atau bentang alam serta mempengaruhi aktivitas kegempaan. Memahami sesar sangat penting bagi ahli geologi saat mereka mempelajari fitur bumi dan proses yang menyebabkan gempa bumi.

Ada beberapa jenis sesar dalam geologi, masing-masing ditandai dengan arah pergerakan batuan di kedua sisi bidang sesar.

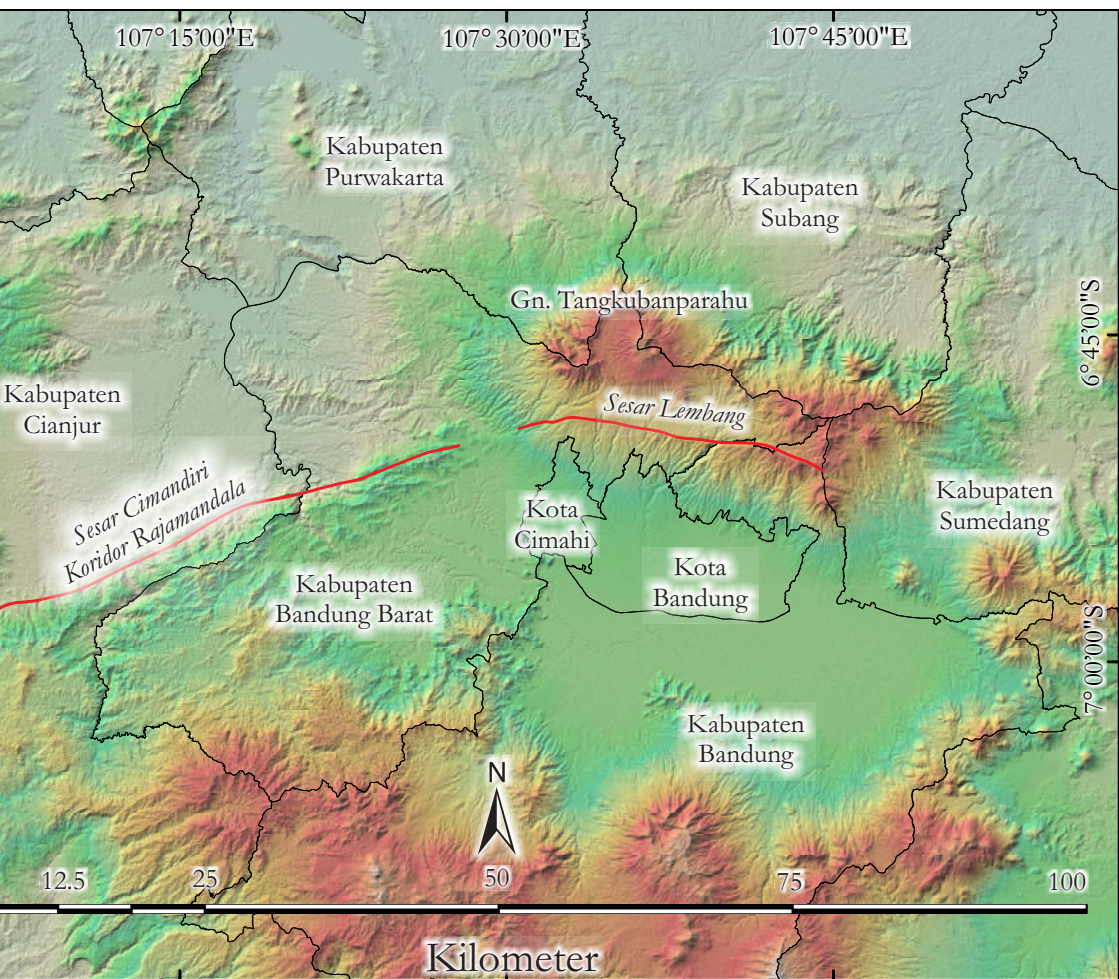
Hal yang perlu di ketahui, sesar ini terbentuk karena adanya pengaruh deformasi pada batuan yang mana terjadi perubahan bentuk, dimensi, dan posisi akibat pergerakannya. Deformasi pada sesar adalah perubahan bentuk, dimensi, dan posisi akibat pergerakannya.

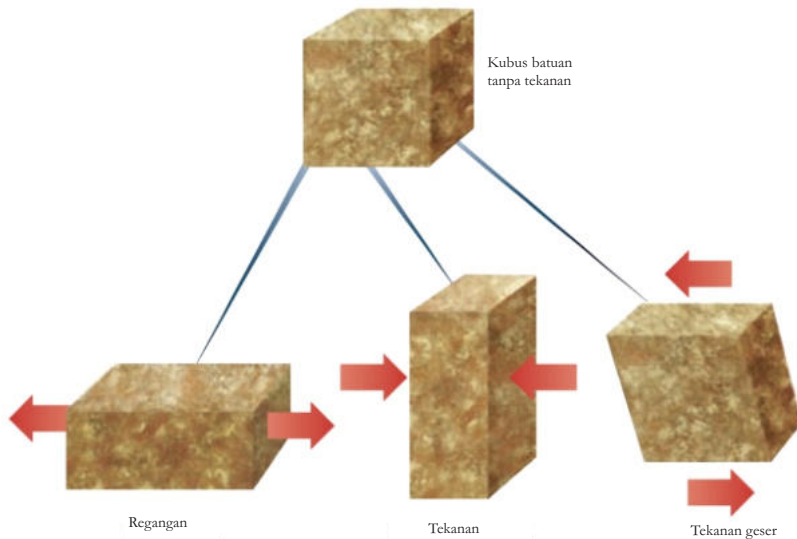
Pada Gambar 1.1 tersebut terlihat Sesar Cimandiri di sepanjang aliran Sungai Cimandiri yang seolah-olah membelah wilayah Kabupaten Sukabumi menjadi dua blok yaitu wilayah Sukabumi Utara dan Sukabumi Selatan. Untuk memahami kenapa Sesar Cimandiri seolah-olah membelah daratan Pulau Jawa bagian barat tersebut akan di bahas pada bahasan perjalanan melalui waktu dan batuan (Tektonika dan Geologi) dan anatomi Sesar Cimandiri

Nah, sobat Badan Geologi, mari kita pelajari terlebih dahulu tentang deformasi itu sendiri. Disadur dari buku “*Visualizing Geology*” karya Murck, B.W. dan Skinner, B.J., 2015, dalam hal proses deformasi pada batuan adanya tekanan, batuan dapat mengalami regangan; yaitu, batu tersebut dapat mengubah bentuk, volume, atau keduanya. Perubahan yang tidak permanen adalah deformasi elastis. Perubahan permanen yang melibatkan pelipatan atau aliran adalah deformasi duktil (atau plastik). Perubahan permanen yang melibatkan sesar adalah deformasi rapuh. Deformasi batuan disebabkan oleh tekanan atau *stress* yang diberikan pada batuan oleh pergerakan dan interaksi lempeng litosfer. Tekanan dapat bersifat seragam (sama di semua arah) atau diferensial (lebih kuat dalam satu arah daripada arah lainnya). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.2, tekanan atau kompresi dihasilkan dari gaya yang mengecilkan tubuh batuan; tegangan dihasilkan dari gaya yang meregangkan batuan atau menariknya terpisah; dan tegangan geser menyebabkan batuan diputar dan berubah bentuk. Suhu rendah, dan tekanan juga rendah, dan laju regangan tinggi meningkatkan sifat rapuh batuan. Kegagalan akibat pergeseran umum terjadi pada batuan kerak bagian atas, di mana suhu dan tekanan rendah. Suhu tinggi, tekanan pembatas tinggi, dan laju regangan rendah, yang



Gambar 1.1. Letak Zona Sesar Cimandiri di darat (garis merah) yang membentang dari Teluk Palabuhanratu sampai wilayah Kabupaten Bandung Barat dengan Panjang sekitar 100 Km. Penarikan garis sesar Cimandiri tersebut berdasarkan beberapa penelitian terbaru dan publikasi jurnal ilmiah. (Saputra, dkk., 2024; Saputra, dkk., 2023; Haryanto, dkk, 2017, Marliyani, dkk., 2016). Dalam buku ini, Sesar Cimandiri yang dibahas merupakan sesar Cimandiri di Koridor Palabuhanratu dan Sesar Cimandiri Koridor Sukabumi.





Gambar 1.2. Ilustrasi deformasi pada batuan yang menyebabkan perubahan bentuk dan volume serta pengaruh suhu dari lapisan mantel bumi.

merupakan karakteristik dari kerak yang lebih dalam dan mantel, meningkatkan perilaku plastis batuan. Komposisi batuan juga mempengaruhi sifat deformasinya.

Batuan yang terdeformasi umumnya ditemukan di pegunungan/punggungan (orogen) akibat hasil orogenesis, di mana lempeng tektonik yang dulu bertabrakan. Benua-benua saat ini adalah kumpulan rumit dari hasil orogenesis dan kraton/kerak bumi. Orogenesa adalah zona tabrakan antara kraton, dan—karena isostasi, mereka tetap mengalami pergerakan vertikal lama setelah tabrakan yang memproduksinya berakhir. Penjelasan sederhana dari deformasi pada batuan dapat dilihat pada ilustrasi berikut (Sumber ilustrasi dari Murck dan Skinner, 2015).

Sesar terjadi ketika batuan tidak lagi mampu menahan gaya yang menekan atau menarik. Sesar dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu sesar turun, sesar naik, dan sesar geser. Terdapat juga klasifikasi berdasarkan keaktifannya yaitu sesar aktif adalah

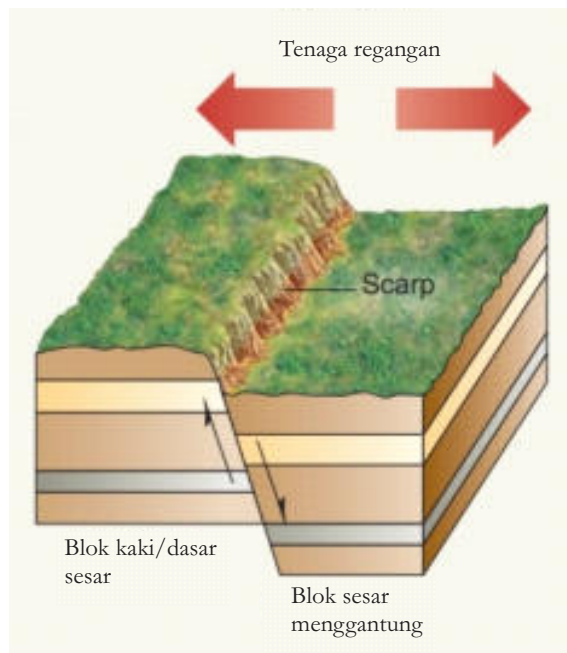
sesar yang masih aktif bergerak atau bergeser, dan dapat memicu terjadinya gempa bumi. Sesar pasif/tidak aktif adalah sesar yang tidak menunjukkan aktivitas pergerakan yang aktif. Pergerakan sesar mempengaruhi besarnya magnitudo gempa tergantung pada luasan bidang sesar yang saling mengunci. Daerah dengan sesar yang masih aktif bergerak merupakan daerah yang rawan akan gempa bumi. Indonesia, sebagai negara yang terletak di antara lempeng tektonik, memiliki banyak sesar, baik yang aktif maupun yang tidak aktif. Sesar memiliki dua sisi, yaitu *footwall* (dinding dasar) dan *hanging wall* (dinding menggantung). Sisi yang bergerak adalah bagian yang menggantung (*hanging wall*). Adapun penjelasan masing-masing tipe sesar sebagai berikut:

1.2 Sesar Turun/Sesar Normal (*Normal Fault*)

Dalam ilmu geologi, istilah "sesar turun" atau "sesar normal" merujuk pada jenis pergerakan batuan di bawah permukaan yang mana salah satu massa batuan turun atau turun relatif terhadap massa batuan lainnya. Bayangkan seperti sebuah garis sesar di batuan, dan salah satu sisi geser ke bawah karena gaya tarik bumi. Secara sederhana, ketika batuan di satu sisi sesar bergerak turun dibandingkan sisi lainnya, itu disebut sesar normal. Biasanya terjadi karena kerak bumi sedang meregang atau tarik-menarik, sehingga lapisan batuan mengalami tarikan dan meregang. Contohnya bisa dilihat di daerah yang sedang mengalami pengecilan atau pengerutan, seperti di daerah yang sedang mengalami peregangan kerak bumi. Pengertian secara umum adalah bahwa sesar normal itu seperti ketika sebuah bagian batuan turun ke bawah karena gaya tarik dari bawah bumi, dan ini biasanya terjadi karena kerak bumi sedang meregang.

Ketika kerak bumi diregangkan oleh ketegangan, sesar normal terjadi. Blok di bagian menggantung dari sesar (disebut blok dinding menggantung) bergerak ke bawah relatif terhadap blok di bawah sesar (disebut blok dinding kaki). Gerakan tersebut

dapat mengekspos bentuk lahan mirip tebing di permukaan yang disebut *scarp*/tebing sesar (Murck dan Skinner, 2015), seperti terlihat pada Gambar 1.3.

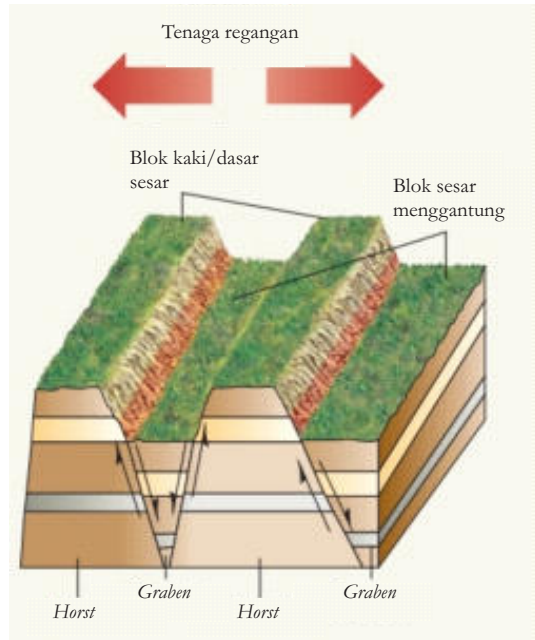


Gambar 1.3. Ilustrasi Sesar Turun

Sesar normal sering terjadi berpasangan membentuk bentang alam tinggian/*horst* dan rendahan/*graben*. *Horst* dan *graben* adalah blok sesar massa lapisan batuan yang terangkat dan turun yang membentuk pegunungan dan lembah. Keduanya terbentuk karena kerak bumi mengalami gaya tarik. Blok *horst* adalah kerak bumi yang terangkat ke atas, terletak di antara dua blok sesar bersudut curam, lereng sampingnya sangat curam, umumnya terbentuk di dataran tinggi. Sedangkan blok *graben* adalah kerak bumi yang turun akibat perluasan atau penarikan kerak, terletak di antara dua bagian yang lebih tinggi yaitu blok *horst*. Lembah yang terbentuk di *graben* umumnya disebut lembah retakan. Dalam *graben*, kedua sesar miring saling mendekat, dan blok di antara keduanya turun. Istilah *horst*, sesar miring menjauh satu sama lain, dan blok di

antara keduanya naik. Meskipun gerakan relatif blok-blok tersebut hampir vertikal, ingatlah bahwa peregangan horizontal kerak, akibat regangan (*tensional stress*) (Murck dan Skinner, 2015), bentang alam sesar normal seperti terlihat pada Gambar 1.4.

Gambar 1.4. Ilustrasi sesar turun membentuk *horst* dan *graben*.



1.3 Sesar Naik (*Thrust Fault*)

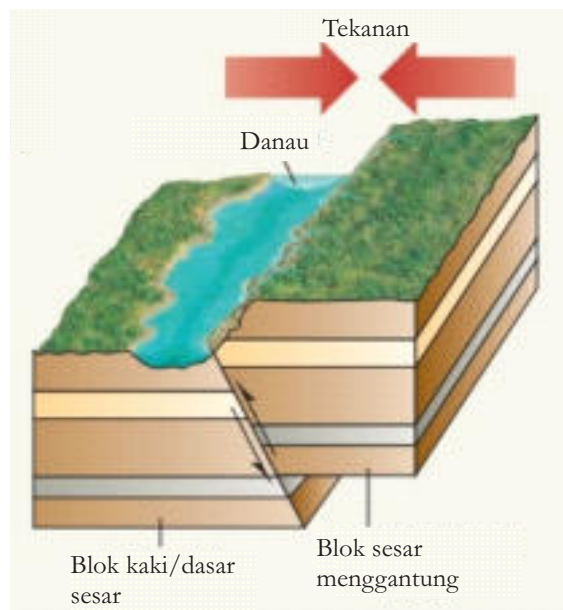
Dalam ilmu geologi, istilah "sesar naik" merujuk pada gerakan yang mana salah satu blok batuan terdorong naik atau bergerak ke atas dibandingkan blok di seberangnya. Bayangkan garis sesar di lapisan batuan, dan salah satu sisi terangkat ke atas karena gaya dorongan dari bawah. Sederhananya, kalau di daerah sesar naik ini, bagian bumi di satu sisi sesar tergeser ke atas, sehingga permukaan tanah atau lapisan batuan di situ tampak lebih tinggi dibandingkan sisi lainnya. Biasanya, ini terjadi karena gaya dorong dari bawah bumi yang menekan dan mendorong satu bagian naik.

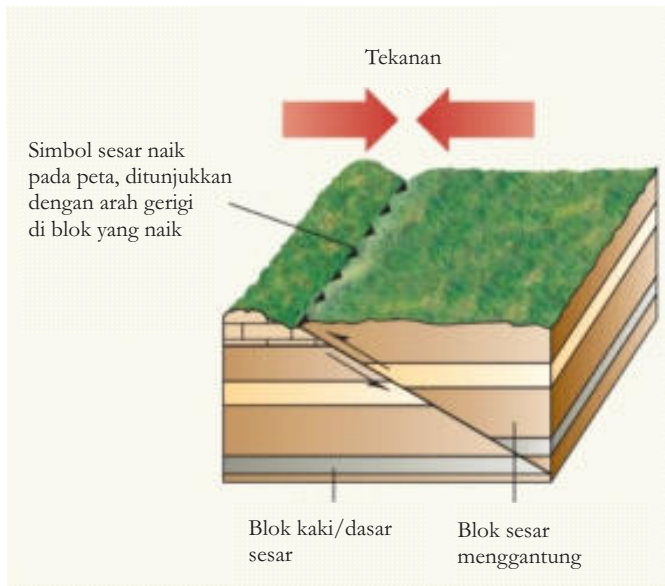
Jadi, dalam bahasa yang sederhana dimengerti, sesar naik itu seperti ketika salah satu sisi tanah atau batuan terdorong ke atas, menyebabkan permukaan tanah tampak lebih tinggi di bagian itu. Pergerakan ini sering terjadi karena kerak bumi saling menekan dan mendorong ke atas. Sesar naik ini terbentuk yang mana kerak bumi sedang terkompresi. Sesar ini, dinding gantung bergerak ke atas relatif terhadap dinding kaki. Sesar naik biasanya ditemukan di daerah yang mengalami gaya tektonik konvergen, seperti pegunungan.

Gambar 1.5 memperlihatkan bahwa sesar naik, tenaga/tekanan kompresional bekerja mendorong blok dinding yang menggantung ke atas dan melewati blok kaki/dinding dasar. Arah pergerakan sepanjang sesar ini berlawanan dengan sesar turun (Murck dan Skinner, 2015).

Sesar naik terkadang juga memiliki kemiringan yang sangat landai seperti ilustrasi pada Gambar 1.6. Ahli geologi menunjukkan

Gambar 1.5. Ilustrasi sesar naik.





Gambar 1.6. Ilustrasi sesar naik dengan simbol deretan segitiga bagian yang naik (blok naik)

ini dengan deretan segitiga yang mengarah ke blok sesar yang menggantung/blok naik (Murck dan Skinner, 2015).

1.4 Sesar Geser/Sesar Mendatar (*Strike-Slip Fault*)

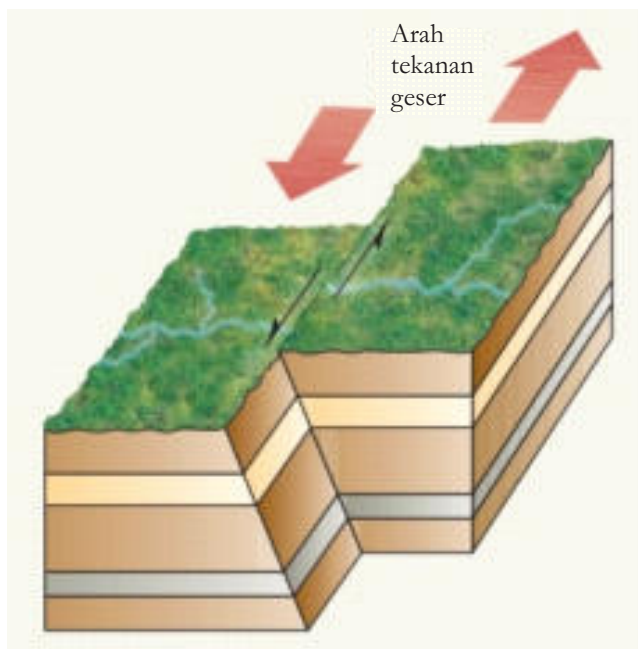
Dalam ilmu geologi, istilah "sesar geser" atau "sesar mendatar" (*strike-slip fault*) menggambarkan jenis struktur sesar yang terdapat di atas permukaan bumi di mana kedua blok batuan saling bergeser secara horizontal, sejajar dengan garis geserannya. Bayangkan seperti dua orang berdiri berdampingan dan satu orang menggeser tangan mereka ke samping, bukan ke atas atau ke bawah.

Jadi, pergerakan di sesar ini terjadi secara mendatar, bukan naik atau turun. Contohnya, jika kalian melihat kelurusan garis pantai atau batuan yang bergeser, bisa jadi itu adalah contoh dari sesar geser. Gerakannya mirip seperti orang yang meluncur atau bergeser sejauh beberapa meter ke samping. Singkatnya, sesar geser adalah ketika dua bagian permukaan lapisan batuan bumi

bergeser saling melintas secara horizontal, menyebabkan tanah di satu sisi bergeser sepihak ke samping tanpa ada kenaikan atau penurunan vertikal yang signifikan.

Dalam sesar geser, pergerakannya sebagian besar horizontal dan sejajar dengan arah sesar. Sesar semacam itu terbentuk oleh tegangan geser mendatar, seperti terlihat pada Gambar 1.7 (Murck dan Skinner, 2015).

Gambar 1.7.
Ilustrasi sesar
geser mendatar
dengan simbol
garis dengan
arah panah
pergerakan



Sesar geser ditandai dengan gerakan horizontal sepanjang bidang sesar. Gerakannya bisa berupa lateral kanan (disebut dekstral) atau lateral kiri (disebut sinistral). Sesar- sesar ini biasanya terkait dengan batas lempeng transform, seperti Sesar San Andreas di California, Amerika Serikat. Sesar Cimandiri pun merupakan salah satu sesar geser datar tetapi di bagian tertentu terdapat komponen sesar naik dan sesar turun. Bahasan detail jenis sesar yang berkembang di Sesar Cimandiri dibahas pada Bab Anatomi Sesar Cimandiri.

1.5 Sesar Geser Miring (*Oblique Fault*)

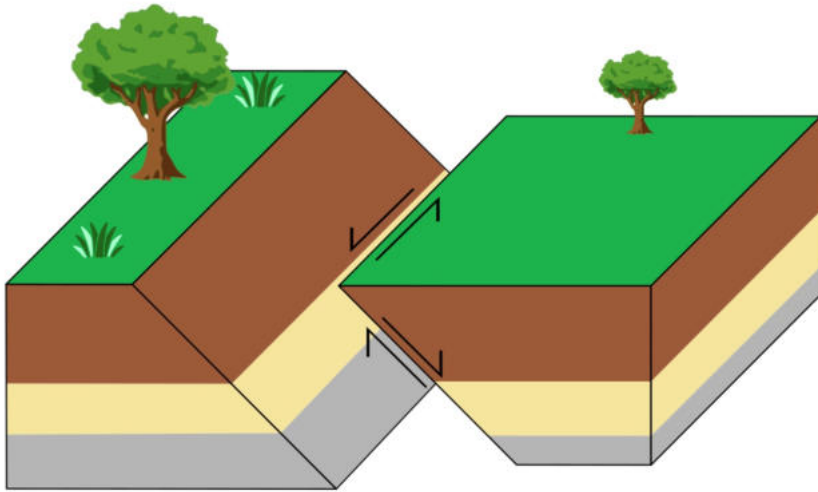
Dalam ilmu geologi, istilah "sesar geser miring" atau "*oblique fault*" adalah jenis sesar di permukaan bumi di mana gerakan batuan terjadi secara sekaligus melintang dan vertikal. Jadi, di sesar ini, bagian batuan bergeser miring, tidak sepenuhnya ke samping seperti sesar geser, dan tidak sepenuhnya naik atau turun seperti sesar normal atau sesar naik. Geraknya gabungan, bisa berupa geseran horizontal (ke samping) dan sedikit gerakan naik/turun.

Contohnya, jika tanah di satu sisi sedikit terangkat dan sejajar bergeser ke samping, itu termasuk sesar geser miring. Intinya, gerakannya diagonal, menggabungkan sifat geser horizontal dan vertikal.

Jadi, dalam bahasa yang sederhana, sesar geser miring itu adalah sesar yang mana batuan bergeser ke samping dan sedikit naik atau turun sekaligus, sehingga bentuknya seperti gesekan garis miring lapisan batuan di bumi.

Sesar geser miring menunjukkan pergerakan vertikal dan horizontal. Pergerakan batuan pada sesar miring terjadi secara vertikal dan horizontal, ilustrasi sesar atau patahan geser miring (*oblique*) dapat dilihat pada Gambar 1.8.

Memahami berbagai jenis sesar ini membantu ahli geologi menginterpretasikan fitur struktural bumi dan menilai potensi aktivitas kegempaan di berbagai wilayah. Ilustrasi deformasi dengan sesar yang menimbulkan gempa bumi dapat dilihat pada Gambar 1.9, ilustrasi deformasi pada batuan yang menyebabkan gempa bumi tersebut selanjutnya dengan teori regangan elastis (*elastic rebound*), yaitu teori geologi yang menjelaskan bagaimana energi dilepaskan saat terjadi gempa bumi. Teori ini menjelaskan bagaimana batuan di kedua sisi sesar mengumpulkan energi potensial dan berubah bentuk di bawah tekanan.



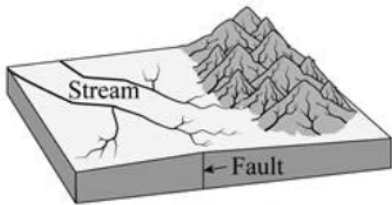
Arah panah memperlihatkan pergerakan relatif sesar geser miring (*oblique fault*)

Gambar 1.8. Ilustrasi sesar geser miring (*Oblique Fault*).

Teori *elastic rebound* adalah penjelasan tentang bagaimana gempa bumi terjadi akibat pergerakan di sesar. Menggambarkan bahwa lapisan bumi seperti pegas besar yang elastis. Saat lapisan lapisan batuan di sepanjang sesar menahan tekanan dari gaya tertentu, batuan itu menekuk dan menyimpan energi seperti pegas. Tapi seiring waktu, ketika gaya terus bertambah, batuan tidak bisa lagi menahan tekanan itu dan akhirnya patah atau bergeser secara mendadak.

Saat batuan bergeser, ia kembali ke bentuk semula seperti pegas yang dilepaskan, melepaskan energi yang tersimpan dalam bentuk gelombang seismik. Gelombang ini yang kita rasakan sebagai gempa bumi. Setelah itu, batuan kembali ke posisi barunya yang lebih stabil dan energi tersimpan kembali mulai terakumulasi untuk nanti dilepaskan lagi. Jadi, intinya, teori *elastic rebound* menjelaskan bahwa gempa terjadi karena batuan seperti pegas yang meregang, lalu tiba-tiba kembali ke bentuk asal saat melepas energi yang tersimpan, sehingga menghasilkan getaran gempa.

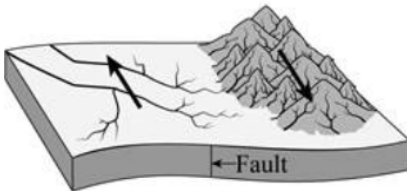
ILUSTRASI DEFORMASI (PERUBAHAN BENTUK) PADA BATUAN



A. Kondisi awal sebelum deformasi



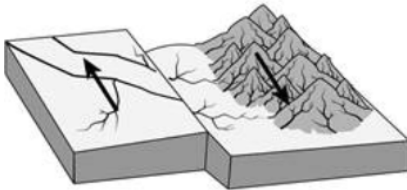
A. Kondisi awal sebelum deformasi



B. Proses pengumpulan/menumpuk energi



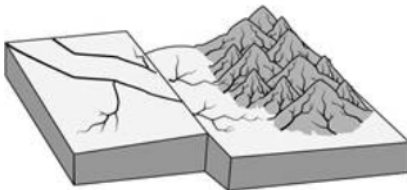
B. Proses pengumpulan/menumpuk energi



C. Retakan antara dua blok yang tergelincir



C. Retakan



D. Pelepasan energi



D. Pelepasan energi

Gambar 1.9. Ilustrasi deformasi (perubahan bentuk) pada batuan dan penjelasan bagaimana batuan di kedua sisi sesar mengumpulkan energi dan berubah bentuk sampai melepaskan energi (Gambar modifikasi dari Tarbuck, dkk, 2005).

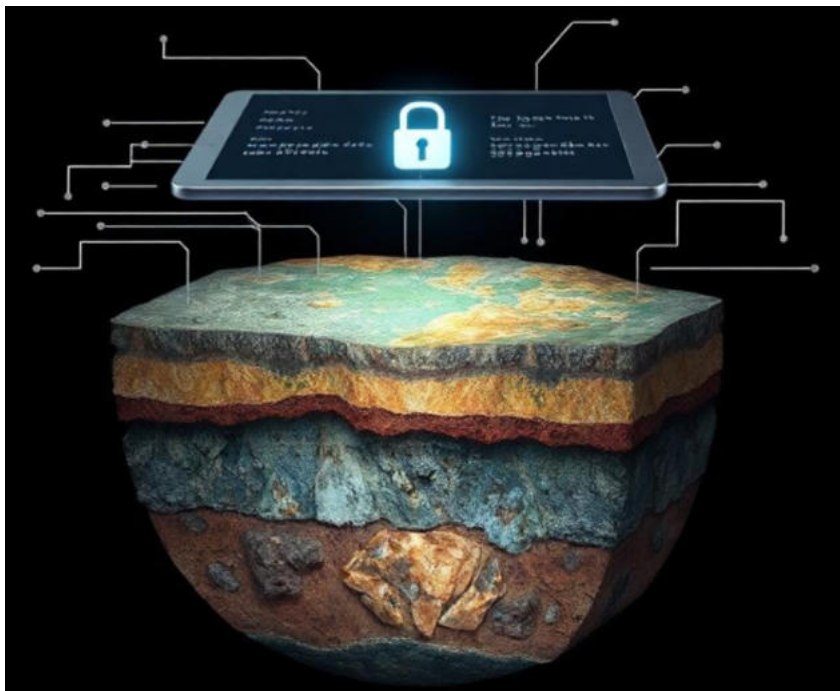
Adapun penjelasan dari ilustrasi deformasi batuan (*elastic rebound theory*) yang tertera pada Gambar 1.9, sebagai berikut:

- Sebelum terjadi gempa bumi, batuan di kedua sisi sesar menumpuk tekanan. Kondisi pada keadaan sebenarnya/original (Gambar 1.9 A). Karena adanya energi endogen (energi dari dalam bumi) terjadi tekanan pada dua blok sesar, ilustrasi tersebut merupakan contoh pada ilustrasi sesar geser.
- Tekanan ini menyebabkan deformasi bertahap pada batuan dan terjadi pengumpulan energi (Gambar 1.9 B). Deformasi ini melebihi gaya gesek yang menahan batuan.
- Terjadi pergeseran tiba-tiba di sepanjang zona sesar (Gambar 1.9 C) dan terjadi gelinciran pada suatu bidang sesar.
- Energi yang terkumpul dilepaskan saat gempa bumi terjadi dan terjadi retakan (*rupture*) seperti terlihat pada Gambar 1.9 (C) dan (D).

BAB 2. SESAR CIMANDIRI PASSWORD TABIR BUMI: KODE RAHASIA MENGAkses PENGETAHUAN GEOLOGI

“Indonesia, sebagai negara kepulauan Nusantara yang terletak di Cincin Api Pasifik, memiliki keragaman geologi yang sangat fenomenal. Salah satu elemen penting dalam studi geologi di Indonesia adalah adanya sesar, yang menjadi kunci bagi pemahaman tentang dinamika bumi. Sesar Cimandiri adalah salah satu dari sekian banyak sesar yang ada di Indonesia, dan fenomena geologi ini menjadi “password” untuk mengakses pengetahuan lebih mendalam mengenai struktur dan perilaku batuan-batuan di dalam dan permukaan bumi”.

Di tengah keindahan alam Indonesia yang memukau, tersembunyi berbagai rahasia alam semesta yang tak terhingga, salah satunya adalah Sesar Cimandiri. Sesar yang terletak di Jawa Barat ini bukan hanya sekadar struktur geologi, tetapi juga merupakan "password" yang mengakses pemahaman mendalam tentang sejarah bumi, dinamika geologi, dan potensi sumber daya alam yang ada. Layaknya sebuah brankas tersembunyi, setelah "password" ini terbuka, yaitu dengan melakukan penelitian dan analisis yang mendalam, berbagai informasi berharga dapat diakses langsung di dalam perangkat kita, baik itu berupa pemodelan 3D, data bawah permukaan, atau laporan penelitian (Gambar 2.1). Dengan demikian, kita dapat memahami lebih detail tentang struktur sesar, potensi gempa yang mungkin ditimbulkan, serta implikasinya bagi wilayah sekitar.



Gambar 2.1 Ilustrasi ilmu geologi sebagai pembuka cakrawala pengetahuan kebumian.

Dalam bab buku ini, kita akan menjelajahi Sesar Cimandiri dari berbagai aspek, menjadikannya sebagai pintu gerbang untuk memahami lebih jauh tentang geologi dan interaksi manusia dengan alam.

Sesar Cimandiri adalah salah satu sesar aktif yang terletak di daerah Provinsi Jawa Barat, Indonesia. Sebagai bagian dari sistem sesar yang besar, Sesar Cimandiri memiliki peran penting dalam pergerakan Lempeng Tektonik. Sesar ini terbentuk oleh proses geologi yang kompleks dan telah menjadi subjek studi bagi para ahli kebumihuman untuk memahami bagaimana bumi berfungsi.

Sesar Cimandiri terkenal bukan hanya karena aktivitas tektoniknya, tetapi juga karena dampaknya terhadap masyarakat dan lingkungan di sekitarnya. Sesar ini memperlihatkan interaksi yang kompleks antara Lempeng Tektonik, yang berperan pada pembentukan pegunungan, lembah, dan bukan hanya menyebabkan gempa bumi, tetapi juga memengaruhi sistem hidrogeologi, ekosistem, dan sosial ekonomi.

2.1 Arti Penting Geologi

Sebagai salah satu fitur geologi yang penting, Sesar Cimandiri memberikan wawasan mengenai sejarah peristiwa geologi wilayah tersebut. Proses pergeseran Lempeng Tektonik yang menciptakan sesar ini telah berlangsung selama ribuan sampai jutaan tahun, menghasilkan berbagai formasi batuan dan mineral yang mengungkapkan perubahan dinamika geologi. Dengan mempelajari sesar ini, kita dapat memahami pola dan mekanisme yang membentuk bumi, termasuk potensi bencana alam seperti gempa bumi dan ikutannya seperti longsor dan Gerakan tanah.

Dengan meneliti Sesar Cimandiri, para ahli geologi dapat memahami lebih baik tentang proses-proses geologi yang telah membentuk wilayah Jawa selama jutaan tahun. Sesar ini merupakan bagian dari sistem struktur geologi yang

lebih besar dan berperan pada bentukan geologi yang ada di sekitarnya. Melalui pengamatan dan penelitian, ilmuwan dapat mengidentifikasi pola-pola pergerakan lempeng dan rekaman sejarah geologi.

Sesar ini juga menjadi lokasi yang ideal untuk mempelajari interaksi antara gaya tektonik dan kondisi geologi lokal. Misalnya, penelitian tentang aktivitas seismik di sepanjang Sesar Cimandiri memberikan wawasan mengenai potensi risiko bencana di wilayah tersebut. Dengan memahami perilaku sesar ini, langkah-langkah mitigasi dapat dirumuskan untuk melindungi masyarakat dan infrastruktur dari ancaman gempa bumi.

2.2 Sesar Sebagai Kode Rahasia

Sambil menjelajahi ke dalam studi tentang Sesar Cimandiri, kita dapat mengumpulkan "kode rahasia" tentang bagaimana badai geologi dan sejarah interaksi antara manusia dan geologi berlangsung. Pengetahuan ini sangat penting, bukan hanya untuk akademisi, tetapi juga bagi masyarakat umum, terutama dalam hal mitigasi bencana. Mengerti sifat sesar dan pergerakannya dapat membantu masyarakat yang tinggal di daerah rawan bencana untuk lebih siap dan waspada. Adapun sifat pergerakan dari Sesar Cimandiri di bahas pada Bab 6 yang membahas Anatominya.

Sesar Cimandiri tidak hanya penting dalam konteks ilmiah tetapi juga membawa dampak sosial dan ekonomi bagi masyarakat sekitar. Aktivitas geologi yang dihasilkan dari pergerakan sesar ini memengaruhi pola pemukiman, pertanian, dan penggunaan lahan. Gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas sesar dapat menyebabkan kerusakan infrastruktur dan mengancam perekonomian dan keselamatan warga.

Menghadapi tantangan ini, penting bagi pemerintah dan masyarakat untuk meningkatkan kesadaran tentang potensi

bahaya yang bisa ditimbulkan. Edukasi tentang geologi dan kebencanaan sangat penting untuk membangun ketahanan masyarakat. Sesar Cimandiri, sebagai "*password*" untuk memahami geologi, dapat digunakan untuk memperkuat pengetahuan dan kesiapsiagaan masyarakat terhadap bencana.

Sesar Cimandiri juga berfungsi sebagai kode rahasia bagi para peneliti dan ilmuwan yang berupaya untuk mengungkap berbagai fenomena kebumihannya. Setiap lapisan tanah dan batuan, setiap retakan, dan setiap gerakan bumi yang terjadi di sekitar sesar ini dapat dianalisis untuk mendapatkan informasi yang lebih luas tentang sejarah bumi. Penelitian di kawasan ini dapat mencakup analisis stratigrafi, paleoseismologi, dan geomorfologi, yang semuanya bertujuan untuk menciptakan peta yang lebih baik tentang sejarah peristiwa geologi wilayah tersebut, selanjutnya dibahas pada Bab 6 Anatomi Sesar Cimandiri.

Dalam konteks yang lebih luas, hasil dari penelitian terkait Sesar Cimandiri dapat memberikan kontribusi bagi ilmuwan di seluruh dunia. Pengetahuan yang diperoleh tidak hanya bermanfaat untuk memahami geologi Indonesia, tetapi juga bisa diterapkan dalam studi geologi di negara-negara lain yang memiliki sesar serupa.

Sesar Cimandiri merupakan sebuah fenomena geologi yang tidak hanya menggambarkan keunikan dan kerumitan bumi, namun juga berfungsi sebagai *password* untuk membuka tabir pengetahuan geologi yang lebih dalam. Melalui studi dan pemahaman yang mendalam terhadap sesar ini, kita tidak hanya dapat meramalkan risiko bencana tetapi juga memanfaatkan pengetahuan tersebut untuk pembangunan berkelanjutan dan mitigasi bencana. Dengan demikian, penting bagi kita untuk terus menggali informasi dan memperluas pengetahuan tentang sesar-sesar yang ada, sehingga dapat menjaga keberlanjutan dan kenyamanan kehidupan masyarakat di muka bumi.

2.3 Tantangan Penyelidikan Geologi

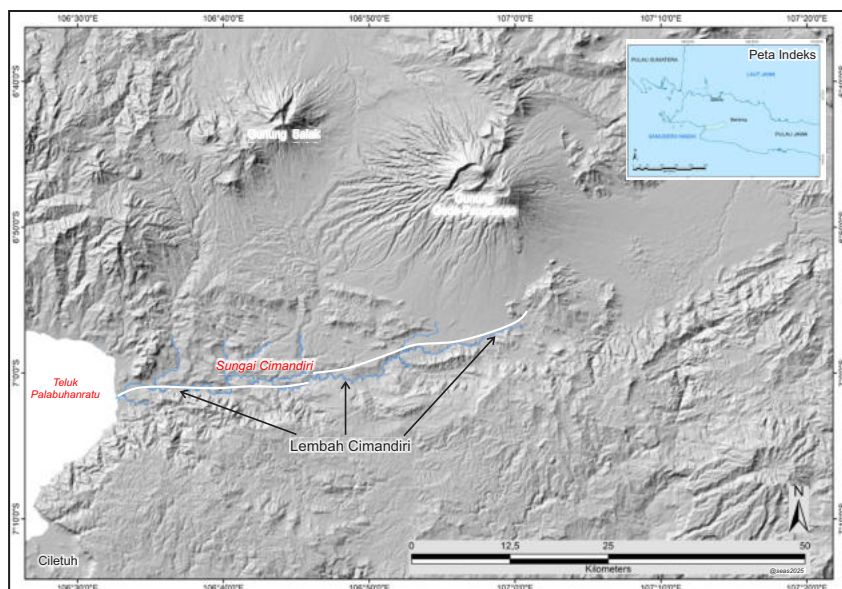
Menyelidik Sesar Cimandiri menghadirkan berbagai tantangan yang harus diatasi oleh para ilmuwan untuk memperdalam pemahaman mereka tentang fitur geologi yang penting ini. Salah satu kesulitan utama terletak pada terbatasnya ketersediaan data. Struktur kompleks dan sejarah yang rumit dari sesar ini memerlukan pengumpulan data yang ekstensif dan presisi, yang sering kali terhambat oleh masalah akses, kendala geografis, dan kesulitan inheren atau kesulitan yang melekat menjadi bagian yang tak terpisahkan dari keberadaan sesar itu sendiri dalam mempelajari struktur bawah permukaan. Selain itu, keterbatasan teknologi secara historis membatasi kemampuan untuk menganalisis aktivitas geologi secara akurat. Alat dan metode yang digunakan di masa lalu mungkin belum memiliki tingkat presisi atau resolusi yang cukup untuk menangkap perilaku sesar secara lengkap seiring waktu.

Lebih jauh lagi, pemahaman tentang proses geologi yang terlibat dalam pergerakan sesar menuntut tingkat keahlian dan keterampilan interpretasi yang tinggi. Menginterpretasikan aktivitas seismik, stratigrafi, dan geologi struktur melibatkan analisis yang kompleks dan rentan terhadap ketidakpastian, terutama ketika data yang tersedia terbatas atau tidak lengkap. Kompleksitas ini dapat menjadi hambatan besar dalam membangun gambaran menyeluruh tentang aktivitas masa lalu sesar dan potensi bahaya di masa depan.

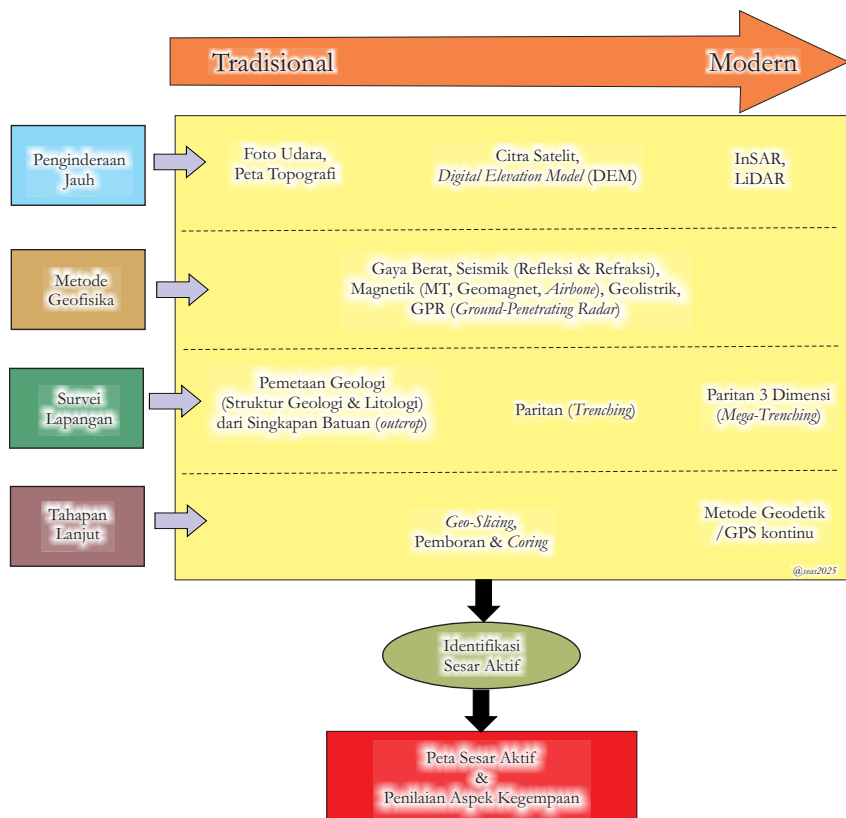
Meski menghadapi tantangan tersebut, kemajuan teknologi telah merevolusi penelitian geologi. Alat modern seperti pemodelan 3D memungkinkan para peneliti memvisualisasikan struktur sesar secara rinci, mengungkap fitur-fitur yang sebelumnya tersembunyi. Penginderaan jauh dan citra satelit memberikan perspektif yang lebih luas, memungkinkan ilmuwan mendeteksi ekspresi permukaan dari aktivitas sesar di area yang luas. Salah satu cara memvisualisasikan bentang alam dalam cakupan area yang luas untuk identifikasi zona sesar dengan teknik *hillshade*

dari *digital elevation model* (DEM) (Gambar 2.2). Pengembangan metode LiDAR (*Light Detection and Ranging*) telah merevolusi cara geolog (ahli geologi) dan ilmu kebumihan lainnya mendeteksi dan memetakan sesar (Gambar 2.3). Inovasi-inovasi ini secara signifikan meningkatkan kemampuan untuk mengumpulkan, menganalisis, dan menginterpretasi data, sehingga menghasilkan penilaian yang lebih akurat terhadap risiko kegempaan dan perilaku sesar.

Gambar 2.2 menyajikan gambaran visual tentang topografi Lembah Cibandiri dan wilayah di sekitarnya. Lembah Cibandiri merupakan area yang menjadi fokus penelitian dalam buku ini. Teknik *hillshade* yang digunakan membantu para ahli geologi dalam menginterpretasikan struktur geologi dan jenis batuan di area penelitian. Bentang alam seperti Gunung Salak, Gunung Gede-Pangrango, serta batuan-batuan Formasi Ciletuh



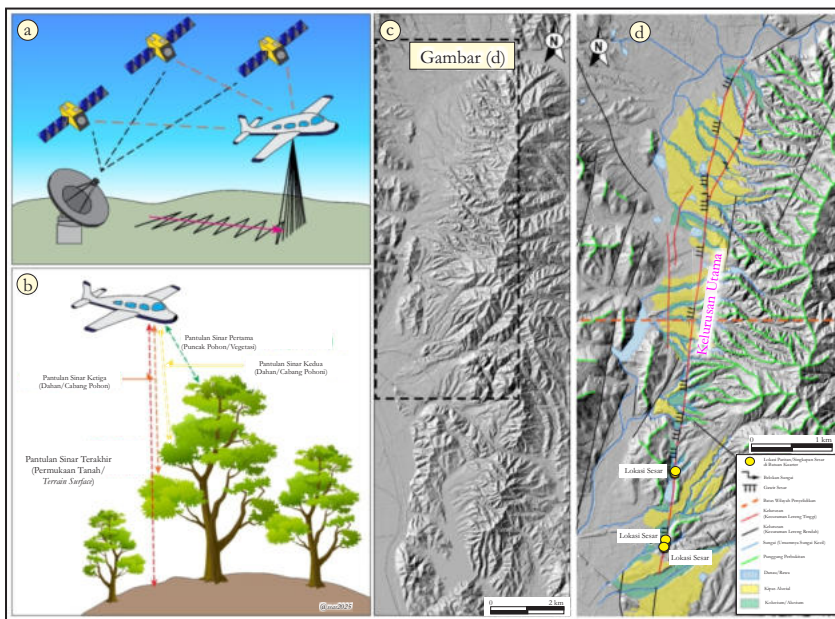
Gambar 2.2 Peta *digital elevation model* (DEM) daerah yang dilalui Sesar Cibandiri (garis merah) dengan teknik *Hillshade*. Data DEM tersebut didapat dari DEMNAS (<https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/unduh>).



Gambar 2.3 Metode umum yang digunakan dalam investigasi sesar aktif. Inovasi teknologi telah mengarah pada pengembangan teknik survei canggih, yang memberikan opsi untuk memilih berbagai teknik survei tergantung pada kondisi Lokasi penyelidikan. Meskipun demikian, teknik-teknik tradisional masih dibutuhkan dan digunakan hingga saat ini, dan dapat dilengkapi oleh teknik-teknik modern.

yang membentuk teluk di selatan Teluk Palabuhanratu, dapat diidentifikasi dengan jelas.

Penggunaan metode **LiDAR** (*Light Detection and Ranging*) yang dipasang pada pesawat tanpa awak atau drone telah merevolusi cara kita mendeteksi dan memetakan sesar (Gambar 2.4). Secara singkat, berikut pengembangannya, **awalnya untuk Topografi**

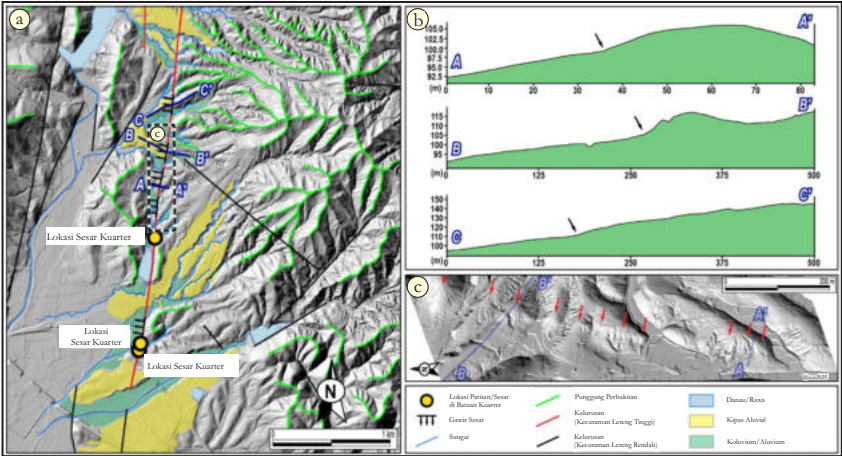


Gambar 2.4 Diagram skematik yang menunjukkan prinsip-prinsip pengambilan data LiDAR. (a) Sistem kerja pengambilan data LiDAR dengan menggunakan pesawat/drone. (b) Informasi permukaan 3D titik pantulan dari sinar LiDAR. (c) *Hillshade* hasil pengolahan data LiDAR. (d) Hasil pemetaan geomorfologi wilayah studi menggunakan teknik pencitraan LiDAR. *Fault scarp* (gawir sesar) dikenali di sepanjang *lineament* utama yang memanjang relatif berarah utara-selatan (Gambar modifikasi dari Ha, dkk, 2022).

Darat, LiDAR awalnya digunakan untuk membuat model elevasi digital (DEM) yang akurat dari permukaan tanah. Ini memungkinkan para ahli geologi untuk melihat fitur-fitur topografi halus yang mungkin mengindikasikan keberadaan sesar, kelurusan (*lineasi*) seperti *scarp* (perbedaan ketinggian) atau perubahan kemiringan. **Kedua Penetrasi Vegetasi**, LiDAR mampu menembus vegetasi lebat, memberikan pandangan yang lebih jelas tentang permukaan tanah di bawahnya. Ini sangat penting di daerah yang tertutup hutan di mana deteksi sesar tradisional sulit dilakukan. **Ketiga Resolusi Tinggi & Akurasi**, seiring perkembangan teknologi, LiDAR menghasilkan data dengan resolusi dan akurasi yang lebih

tinggi. Ini memungkinkan identifikasi fitur sesar yang lebih kecil dan lebih rinci. **Keempat Integrasi dengan Data Lain**, data LiDAR sering diintegrasikan dengan data geofisika, citra satelit, dan informasi geologi lainnya untuk memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang sistem sesar. **Kelima Pemantauan Pergerakan Sesar**, dengan mengulangi survei LiDAR dari waktu ke waktu, para ilmuwan dapat mendeteksi pergerakan sesar secara halus, memberikan wawasan penting tentang potensi bahaya gempa bumi. Singkatnya, LiDAR memungkinkan deteksi dan pemetaan sesar yang lebih akurat dan efisien, bahkan di daerah yang sulit dijangkau atau tertutup vegetasi, yang penting untuk penilaian risiko gempa bumi (Gambar 2.5).

Sebagai kesimpulan, meskipun mempelajari Sesar Cimandiri penuh dengan tantangan, mulai dari keterbatasan data hingga kendala teknologi, kemajuan berkelanjutan dalam teknologi



Gambar 2.5 Salah satu hasil inovasi teknologi LiDAR. (a) Contoh peta *digital elevation model* (DEM) yang dibuat *Hillshade*. (b) Profil topografi garis sesar (garis biru pada gambar (a)) melintasi *fault scarp*. Panah hitam menunjuk lokasi *knickpoint* yang diidentifikasi sebagai *fault scarp*. (c) Tampilan 3 dimensi citra *hillshade* dari data LiDAR. Panah merah menunjukkan *fault scarp*, yang terlihat jelas dengan mata telanjang, dimana pada gambar (a) tidak terlihat secara kasat mata (Gambar modifikasi dari Ha, dkk, 2022).

kebumian menawarkan solusi yang menjanjikan. Dengan memanfaatkan inovasi-inovasi ini, para penyelidik bumi sebagai **detektif** masalah kebumian semakin mampu memahami pola dan dampak aktivitas sesar, baik secara historis maupun dalam meramalkan skenario masa depan. Kemajuan ini sangat penting untuk meningkatkan mitigasi dan kesiapsiagaan menghadapi gempa bumi dan mengurangi potensi bahaya yang terkait dengan pergerakan sesar di wilayah tersebut.

2.4 Relevansi Sosial dan Lingkungan

Selain sebagai studi ilmiah, Sesar Cimandiri juga memiliki relevansi sosial dan lingkungan. Wilayah di sekitar sesar tersebut adalah tempat tinggal bagi banyak komunitas dan memiliki potensi besar untuk pengembangan ekonomi. Namun, keberadaan sesar ini menimbulkan risiko yang harus diperhitungkan. Dalam konteks ini, pemahaman yang mendalam tentang Sesar Cimandiri akan membantu dalam pengembangan rencana mitigasi bencana dan pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan.

Sesar Cimandiri bukan hanya sebuah fitur geologi, tapi merupakan simbol dari hubungan antara manusia dan bumi yang kompleks. Dengan menyebutnya sebagai "*password*" yang mengakses pengetahuan geologi, kita diingatkan akan pentingnya studi geologi dalam memahami lingkungan kita serta risiko yang mungkin timbul. Pelajaran dari Sesar Cimandiri adalah panggilan untuk menjaga keseimbangan antara pengembangan dan keberlanjutan, sambil terus menggali pengetahuan baru untuk generasi mendatang.

Dengan studi dan pemahaman yang lebih baik tentang Sesar Cimandiri, kita tidak hanya mendapatkan wawasan tentang bumi, tetapi juga membuka jalan menuju kesadaran yang lebih besar akan pentingnya menjaga dan menghormati alam yang kita huni atas pemberian secara gratis kepada umat manusia dari sang Pencipta Tuhan Yang Maha Esa.





BAB 3. WILAYAH ADMINISTRASI, EKOSISTEM, DAN ASPEK BUDAYA MASYARAKAT DI ZONA SESAR CIMANDIRI

“Sesar aktif adalah urat nadi bumi yang berdenyut, menyimpan potensi bencana yang tak terduga. Wilayah yang dilaluinya harus menjadi simfoni perencanaan yang harmonis, di mana letak geografis, demografi, dan ekonomi menjadi nyanyian penting yang mengiringi mitigasi bencana.”

3.1 Sesar Cimandiri di Jantung Wilayah Jawa Barat

Sesar Cimandiri, sebagai salah satu sesar aktif yang membelah Pulau Jawa, menjadi perhatian utama dalam studi geologi dan kebencanaan. Keberadaannya yang membentang di wilayah Kabupaten dan Kota Sukabumi, serta sebagian Kabupaten Cianjur, menandai zona dengan potensi risiko gempa bumi yang signifikan. Pemahaman mendalam tentang karakteristik dan aktivitas Sesar Cimandiri menjadi sangat penting dalam upaya mitigasi dan adaptasi terhadap dampak yang mungkin ditimbulkan.

3.2 Wilayah Administrasi yang Terdampak

Secara administratif, Sesar Cimandiri melintasi sejumlah wilayah yang padat penduduk dan memiliki aktivitas ekonomi yang beragam. Dari perkotaan Sukabumi dengan pusat perdagangan dan industrinya, hingga ke wilayah pedesaan dan Kabupaten Cianjur dengan lahan pertanian yang luas, sesar ini "menyentuh" langsung kehidupan masyarakat. Identifikasi wilayah administrasi yang dilalui sesar ini menjadi langkah krusial dalam perencanaan tata ruang yang aman dan berkelanjutan.

3.3 Ekosistem dan Keanekaragaman Hayati

Selain berdampak pada lingkungan fisik, Sesar Cimandiri juga memengaruhi ekosistem di sekitarnya. Pergeseran tanah dan potensi perubahan aliran air dapat memengaruhi vegetasi, habitat satwa liar, dan keseimbangan lingkungan secara keseluruhan. Analisis dampak terhadap ekosistem penting untuk menjaga kelestarian keanekaragaman hayati, pertanian, perkebunan, dan meminimalkan kerusakan lingkungan akibat aktivitas sesar.

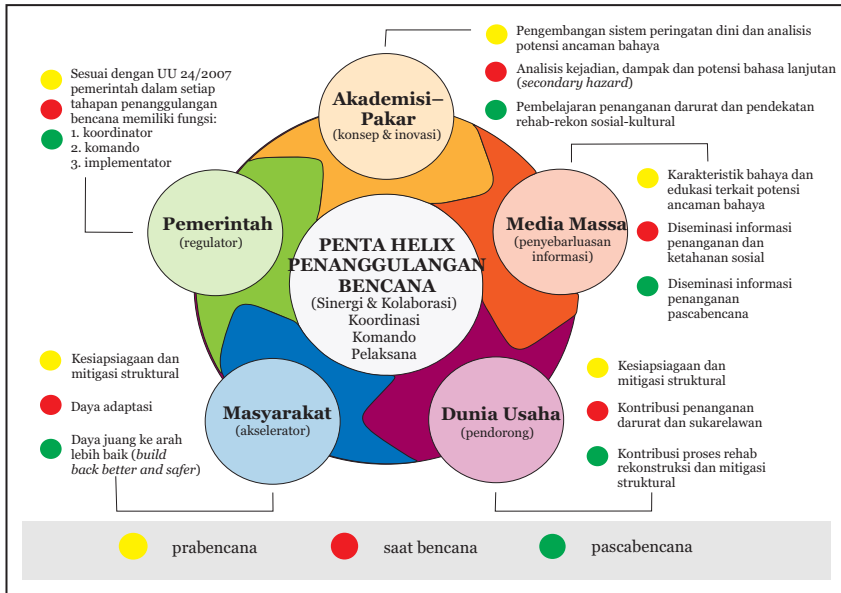
3.4 Aspek Budaya dan Sosial Masyarakat

Keberadaan Sesar Cimandiri juga tak lepas dari aspek budaya dan sosial masyarakat setempat. Masyarakat yang hidup di zona sesar memiliki pengetahuan lokal tentang tanda-tanda alam yang mungkin mengindikasikan aktivitas gempa. Kearifan lokal ini perlu diintegrasikan dengan pengetahuan ilmiah modern untuk meningkatkan kesiapsiagaan dan kemampuan adaptasi masyarakat terhadap bencana. Selain itu, aspek sosial ekonomi seperti mata pencaharian, infrastruktur, dan sistem sosial juga perlu diperhatikan dalam upaya mitigasi dan pemulihan pasca bencana.

3.5 Pendekatan Holistik Strategi Mitigasi Sesar Cimandiri

Dengan demikian, memahami Sesar Cimandiri tidak hanya sebatas pada aspek geologi, tetapi juga melibatkan pemahaman komprehensif tentang wilayah administrasi yang dilalui, ekosistem yang terpengaruh, serta aspek budaya dan sosial masyarakat di sekitarnya. Pendekatan holistik ini penting untuk merumuskan strategi mitigasi yang efektif dan berkelanjutan, serta untuk membangun masyarakat yang tangguh terhadap ancaman bencana alam.

Salah satu pendekatan holistik dalam mitigasi bencana akibat sesar aktif dengan pendekatan **pentahelix** (Gambar 3.1). Pendekatan pentahelix dalam rangka mitigasi bencana gempa bumi akibat sesar aktif melibatkan kolaborasi antara lima unsur utama: **pemerintah, masyarakat, akademisi, pelaku usaha, dan media**. Tujuan dari kolaborasi ini adalah untuk mengurangi risiko dan dampak bencana melalui upaya mitigasi yang mencakup aspek struktural (misalnya pembangunan bangunan tahan gempa) dan non-struktural (seperti pengelolaan ruang dan edukasi). Setiap elemen memiliki peran spesifik, yakni:



Gambar 3.1 Konsep penerapan Penta Helix dalam mitigasi bencana alam di wilayah zona Sesar Cimandiri (Modifikasi dari Lindmark, dkk, 2009).

- **Pemerintah:** Mengembangkan kebijakan, regulasi, serta rencana tata ruang yang aman dari gempa, sekaligus membangun infrastruktur penanggulangan bencana dan menyediakan sistem peringatan dini. Berkolaborasi dengan Lembaga Penanggulangan Bencana Pusat maupun daerah
- **Masyarakat:** Melakukan mitigasi secara mandiri di lingkungan rumah, seperti menata perabotan agar tidak roboh, menyiapkan alat darurat, dan mengikuti pelatihan evakuasi.
- **Akademisi:** Melakukan penelitian, termasuk studi paleoseismologi, guna memahami potensi bahaya dari sesar aktif, yang hasilnya digunakan untuk pengembangan teknologi mitigasi dan perencanaan yang berbasis ilmiah.

- **Pelaku Usaha:** Membangun fasilitas tahan gempa serta mengembangkan produk dan teknologi yang mendukung upaya mitigasi dan penanganan bencana.
- **Media:** Menyebarkan informasi kebencanaan yang akurat, meningkatkan kesadaran masyarakat melalui edukasi, dan melaporkan berita secara objektif tanpa menimbulkan kepanikan.

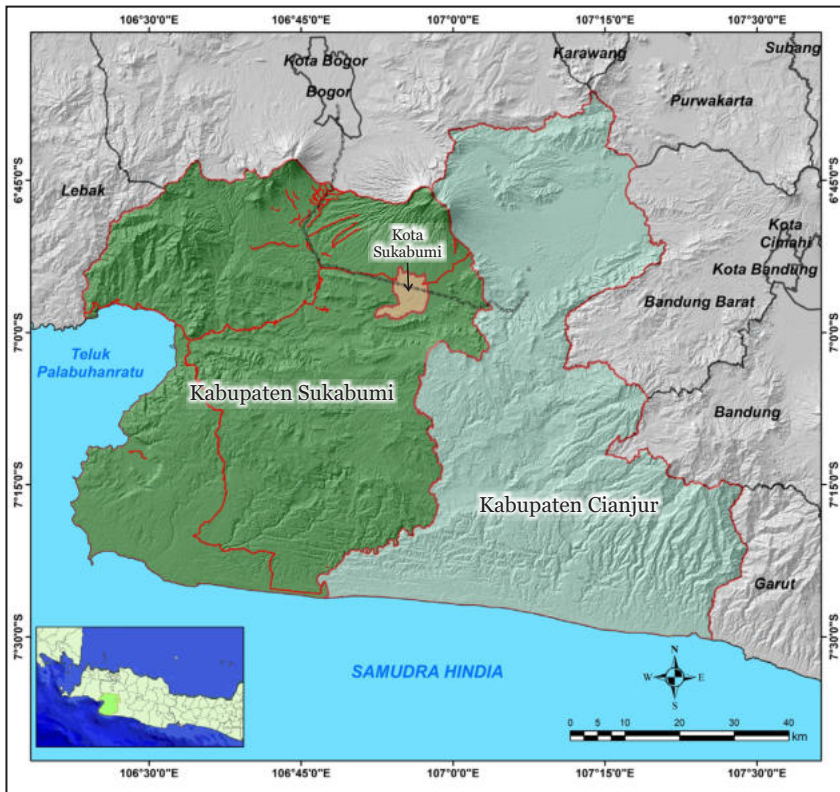
Manfaat dari kolaborasi pentahelix ini meliputi:

- Mempercepat respons tanggap darurat melalui koordinasi yang efisien antar semua elemennya.
- Meningkatkan ketahanan jangka panjang dengan pendekatan yang tidak hanya berfokus pada pascabencana, tetapi juga pada upaya pencegahan dan mitigasi berkelanjutan yang didukung oleh riset dan inovasi.

3.6 Strategi Mitigasi Bencana Berbasis Ekonomi

Untuk mengurangi dampak ekonomi akibat bencana, Kabupaten Sukabumi, Kota Sukabumi, dan Kabupaten Cianjur (Gambar 3.2) perlu menerapkan strategi mitigasi yang komprehensif dan berkelanjutan.

1. **Penguatan Infrastruktur Tahan Gempa:** Investasi dalam pembangunan dan perbaikan infrastruktur yang tahan gempa, seperti jalan, jembatan, dan bangunan publik, sangat penting untuk menjaga kelancaran aktivitas ekonomi pasca-bencana. Pemerintah daerah dapat memberikan insentif bagi pemilik bangunan untuk merenovasi atau membangun kembali bangunan mereka sesuai dengan standar bangunan tahan gempa.
2. **Diversifikasi Ekonomi:** Mengurangi ketergantungan pada sektor pertanian dan pariwisata dengan mengembangkan sektor ekonomi lain yang lebih tahan terhadap bencana, seperti industri pengolahan hasil pertanian, kerajinan



Gambar 3.2 Peta wilayah administrasi 3 wilayah Kabupaten dan Kota yang dilalui Sesar Cimandiri.

tangan, dan jasa. Pemerintah daerah dapat memberikan pelatihan dan bantuan modal bagi pelaku usaha kecil dan menengah untuk mengembangkan usaha mereka.

3. Asuransi Bencana: Mendorong partisipasi masyarakat dan pelaku usaha dalam program asuransi bencana untuk melindungi aset mereka dari kerugian akibat bencana. Pemerintah daerah dapat memberikan subsidi atau insentif pajak untuk mengurangi beban premi asuransi.
4. Pengembangan Sistem Peringatan Dini: Membangun sistem peringatan dini yang efektif dan terintegrasi untuk

memberikan informasi yang akurat dan tepat waktu kepada masyarakat tentang potensi bencana. Sistem peringatan dini harus dilengkapi dengan infrastruktur komunikasi yang handal dan mudah diakses oleh masyarakat.

5. **Peningkatan Kapasitas Masyarakat:** Memberikan pelatihan dan edukasi kepada masyarakat tentang mitigasi bencana, termasuk cara membangun rumah tahan gempa, evakuasi yang aman, dan pertolongan pertama. Pemerintah daerah dapat bekerja sama dengan organisasi masyarakat dan lembaga swadaya masyarakat untuk menyelenggarakan program-program pelatihan dan edukasi.
6. **Pengelolaan Lahan Berkelanjutan:** Menerapkan praktik pengelolaan lahan yang berkelanjutan untuk mengurangi risiko tanah longsor dan gerakan tanah sebagai bahaya ikutan gempa bumi akibat sesar aktif, seperti reboisasi, konservasi tanah, dan pengaturan tata ruang yang ketat. Pemerintah daerah dapat memberikan insentif bagi petani dan pemilik lahan untuk menerapkan praktik pengelolaan lahan yang berkelanjutan.

3.7 Kabupaten Sukabumi: Jantung Jawa Barat

Kabupaten Sukabumi merupakan suatu wilayah dataran yang bagian utara terletak di Kaki Gunung Gede - Pangrango, dan Kaki Gunung Salak, sedangkan bagian selatan berbatasan dengan Samudera Hindia dan Teluk Palabuhanratu, dan salah satu kabupaten termasuk Provinsi Jawa Barat. Bagian timur berbatasan dengan Kabupaten Cianjur, sedangkan bagian barat berbatasan langsung dengan Provinsi Banten. Secara geografis terletak antara 106°49'0" – 107°0'0" Bujur Timur 6°57'0" – 7°25'00" Lintang Selatan. Luas wilayah berupa daratan seluas 4.164,15 Km² dengan terbagi menjadi 47 kecamatan, luas wilayah ini menjadikan menjadi Kabupaten terluas kedua di Pulau Jawa

setelah Banyuwangi (BPS Kabupaten Sukabumi, 2024). Saat ini ibukota berada di Kecamatan Palabuhanratu yang berbatasan dengan perairan Teluk Palabuhanratu (Gambar 3.3). Bentuk bentang alam berupa pedataran dan perbukitan bergelombang dengan kemiringan lereng beragam, suhu udara di relatif sejuk dengan suhu udara berkisar antara 18° - 30° Celcius.

Menurut hasil survei Badan Pusat Statistik tahun 2023, jumlah penduduk berjumlah 2.802,404 jiwa dan tersebar di 47 Kecamatan dan laju pertumbuhan penduduk per tahun 2020-2023 sebesar 0,93 persen. Secara umum penduduk mempunyai mata pencaharian petani, nelayan, pegawai negeri, pegawai swasta, TNI/POLRI, pensiunan, pedagang, buruh, dan pelajar/mahasiswa. mempunyai beberapa fasilitas penting diantaranya fasilitas pendidikan, fasilitas rumah sakit baik negeri ataupun swasta, fasilitas perdagangan seperti pasar dan pusat belanja, fasilitas pariwisata, fasilitas ibadah, dan fasilitas transportasi, fasilitas industri seperti pabrik yang terletak di bagian timur Kabupaten Sukabumi berbatasan dengan Kabupaten Cianjur dan beberapa pabrik industri di bagian barat yang berbatasan dengan Kabupaten Bogor. Wilayah mempunyai panjang jalan 2.013,90 Km dan fasilitas penunjang pariwisata berupa hotel sebanyak 144 unit (BPS Kabupaten Sukabumi, 2024). Jalan tol BOCIMI (Bogor Ciawi Sukabumi) merupakan ruas jalan penghubung wilayah Jabodetabek ke Kabupaten Sukabumi, diprediksi akan menjadi daerah perluasan dan penyangga Jabodetabek.

Kabupaten Sukabumi, terletak di Provinsi Jawa Barat, Indonesia, merupakan salah satu daerah yang kaya akan sumber daya alam, budaya, dan keanekaragaman hayati. Kabupaten ini menjadi salah satu kabupaten terbesar di Jawa Barat (BPS Kabupaten Sukabumi, 2024). Dalam tulisan ini, kita akan membahas lebih dalam mengenai karakteristik geografi, demografi, ekonomi, budaya, serta tantangan dan potensi yang dihadapi Kabupaten Sukabumi.



Gambar 3.3 Peta administrasi Kabupaten Sukabumi dengan sebaran kecamatan.

3.7.1 Karakteristik Geografi

Memiliki kondisi geografis yang bervariasi, mulai dari daerah dataran rendah hingga pegunungan. Bagian selatan kabupaten

ini berbatasan dengan Laut Selatan Jawa atau Samudera Hindia, sementara bagian utaranya diisi oleh kawasan pegunungan, termasuk Pegunungan Halimun dan Salak yang berbatasan dengan Kabupaten Bogor. Sungai-sungai besar, seperti Sungai Citarik, Sungai Cikaso, dan Sungai Cimandiri, mengalir melintasi wilayah ini, memberikan sumber kehidupan bagi masyarakat dan ekosistem di sekitarnya. Dengan topografi yang berbukit-bukit, Sukabumi memiliki keindahan alam yang sangat memikat, termasuk air terjun, hutan tropis, dan taman nasional terutama di daerah “pakidulan” atau bagian selatan yang dikenal daerah Pajampangan.

3.7.2 Demografi

Wilayah ini dihuni oleh berbagai suku dan etnis yang mencerminkan keragaman budaya Indonesia. Masyarakat lokal terutama terdiri dari suku Sunda, yang memiliki tradisi dan bahasa khas. Berdasarkan data terbaru, jumlah penduduk mencapai lebih dari 2 juta jiwa (BPS Kabupaten Sukabumi, 2024). Komposisi penduduknya terdiri dari berbagai kelompok umur, dengan populasi muda yang cukup signifikan. Hal ini menunjukkan potensi besar dalam pengembangan sumber daya manusia di daerah ini.

3.7.3 Ekonomi

Ekonomi didominasi oleh sektor pertanian dan perkebunan. Selain itu, pertambangan batukapur dan batupasir kuarsa serta penambangan emas menjadi sektor andalan pendapatan asli daerah untuk Kabupaten Sukabumi. Masyarakat setempat banyak yang menggantungkan hidup pada komoditas seperti padi, sayuran, buah-buahan, serta tanaman perkebunan seperti kopi dan teh. Selain itu, sektor perikanan juga menjadi sumber pendapatan penting, terutama di daerah pesisir.

Di sisi lain, pariwisata mulai berkembang seiring dengan meningkatnya minat wisatawan untuk mengeksplorasi keindahan alam Sukabumi. Beberapa destinasi wisata unggulan seperti Taman Nasional Gunung Halimun, Pantai Ujung Genteng, dan Pantai Palabuhanratu menarik pengunjung dari berbagai daerah. Hal ini memberikan peluang untuk mengembangkan sektor ekonomi yang lebih beragam dan berkelanjutan.

3.7.4 Tantangan dan Potensi

Meskipun memiliki banyak potensi, juga menghadapi berbagai tantangan, seperti bencana alam akibat gempa bumi karena berada di jalur Sesar Cimandiri, serta longsor yang umum terjadi di wilayah pegunungan. Selain itu, urbanisasi yang cepat dapat mempengaruhi lingkungan dan infrastruktur yang ada.

Namun, pemerintah daerah bersama dengan masyarakat berupaya untuk mengembangkan strategi mitigasi bencana dan menjaga keberlanjutan lingkungan. Selain itu, diversifikasi ekonomi, dengan mempromosikan pariwisata dan industri kreatif, dapat menjadi pilar penting dalam pembangunan ekonomi ke depan.

Kabupaten Sukabumi adalah daerah yang kaya akan sumber daya alam dan budaya, dengan potensi yang besar untuk berkembang di berbagai sektor. Meskipun dihadapkan pada berbagai tantangan, upaya kolaboratif antara pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta diharapkan dapat memajukan menuju masa depan yang lebih baik. Keberlanjutan dan pelestarian budaya lokal menjadi kunci untuk menjaga identitas dan karakteristik wilayah ini di era modern.

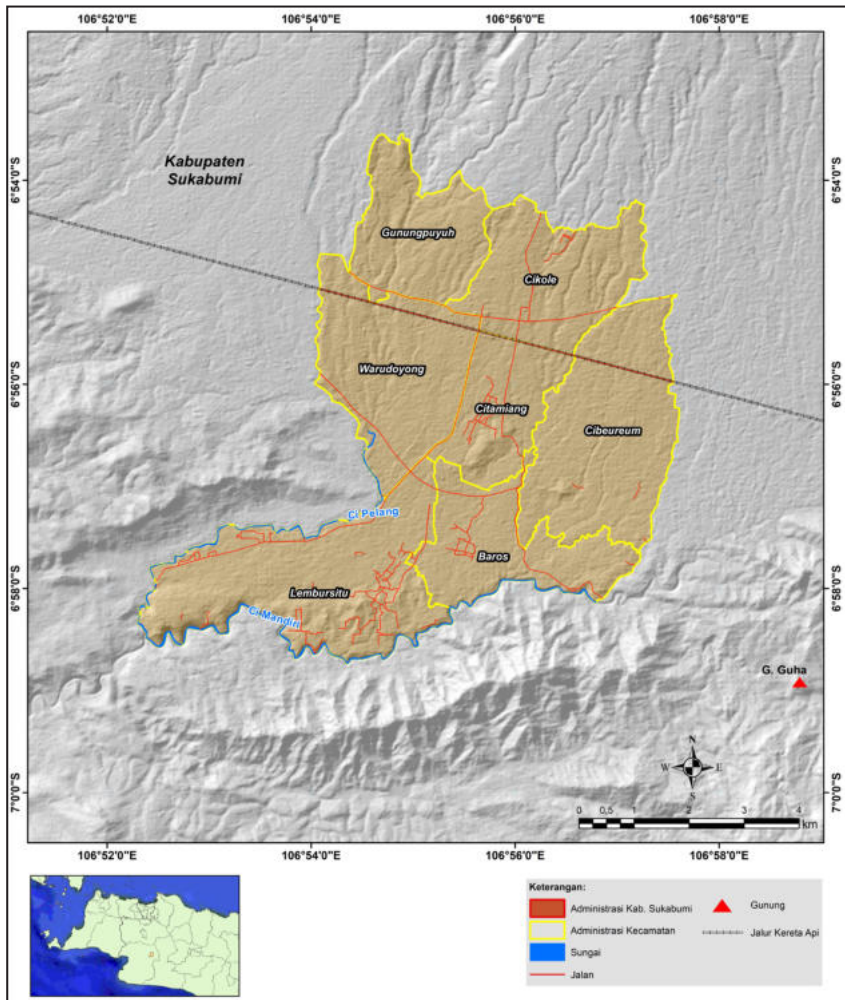
3.8 Kota Sukabumi - Sebuah Kota Permata di Kaki Gunung Gede

Kota Sukabumi merupakan suatu wilayah dataran yang terletak di Kaki Gunung Gede dan Gunung Pangrango, Jawa Barat. Wilayah

Kota Sukabumi mempunyai ketinggian 584 meter di atas permukaan laut, berjarak 120 Km dari Ibukota Negara (Jakarta) dan 96 Km dari Ibukota Provinsi Jawa Barat (Bandung). Kota Sukabumi mempunyai luas wilayah berupa daratan seluas 48,31 Km² (BPS Kota Sukabumi, 2024). Letak Kota Sukabumi merupakan kantong (*enclave*) dikelilingi beberapa wilayah kecamatan di Kabupaten Sukabumi. Bentuk bentang alam di Kota Sukabumi berupa pedataran dan perbukitan bergelombang dengan kemiringan lereng beragam, suhu udara di Kota Sukabumi relatif sejuk dengan suhu udara berkisar antara 15° – 30° Celcius.

Wilayah administrasi Kota Sukabumi terdiri dari 7 Kecamatan yaitu; Kecamatan Baros, Kecamatan Lembursitu, Kecamatan Cibeureum, Kecamatan Citamiang, Kecamatan Warudoyong, Kecamatan Gunungguruh, dan Kecamatan Cikole (Gambar 3.4). Menurut hasil survei Badan Pusat Statistik Kota Sukabumi tahun 2023, jumlah penduduk Kota Sukabumi berjumlah 360.644 jiwa dan tersebar di 7 Kecamatan dan tingkat kepadatan penduduk sebesar 7.465 jiwa/Km². Secara umum penduduk Kota Sukabumi mempunyai mata pencaharian petani, pegawai negeri, pegawai swasta, TNI/POLRI, pensiunan, pedagang, buruh, dan pelajar/mahasiswa. Kota Sukabumi mempunyai beberapa fasilitas penting diantaranya fasilitas pendidikan, fasilitas rumah sakit baik negeri ataupun swasta, fasilitas perdagangan seperti pasar dan pusat belanja, fasilitas pariwisata, fasilitas ibadah, dan fasilitas transportasi.

Kota Sukabumi, yang terletak di Provinsi Jawa Barat, merupakan daerah otonom yang memiliki kekhasan tersendiri dalam hal administrasi lokal. Dengan luas wilayah sekitar 48,4 kilometer persegi dan populasi yang terus berkembang, Kota Sukabumi merupakan salah satu kota yang memiliki sejarah panjang dan dinamika sosial yang menarik. Dalam tulisan ini, kita akan membahas secara mendalam mengenai aspek administrasi Kota



Gambar 3.4 Peta administrasi Kota Sukabumi dengan sebaran kecamatan.

Sukabumi, termasuk struktur pemerintahan, fungsi dan peran serta tantangan yang dihadapinya. Pada tahun 1976, Sukabumi diresmikan menjadi kota administratif, dan pada tahun 2001, Sukabumi secara resmi menjadi Kota Sukabumi. Sejak saat itu, kota ini terus berkembang dalam berbagai sektor, baik ekonomi, pendidikan, maupun infrastruktur.

3.8.1 Karakteristik Geografi

Kota Sukabumi, secara astronomis terletak pada koordinat pada 6°55'–6°59' Lintang Selatan dan 106°54'–107°00' Bujur Timur, menempatkannya dalam zona iklim tropis basah. Secara geografis, kota ini berada di Sukabumi terletak di bagian selatan Provinsi Jawa Barat dan berbatasan dengan di semua arah. Letak geografis ini memberikan karakteristik iklim Wilayah ini memiliki suhu udara antara 23–26°C, curah hujan cukup tinggi sekitar 3.000–4.000 mm per tahun, serta kelembapan udara 80–90%. Kondisi ini membuat udara Sukabumi terasa sejuk yang memengaruhi aktivitas pertanian dan kehidupan sehari-hari masyarakat.

Topografi Kota Sukabumi didominasi oleh sebagian besar berupa perbukitan dan dataran tinggi, dengan ketinggian rata-rata sekitar 583 meter di atas permukaan laut. Relief wilayah ini bervariasi, menampilkan Bentuk wilayahnya bervariasi, ada gunung, lembah, dan sungai yang memengaruhi pola permukiman dan transportasi. Kemiringan lereng di beberapa wilayah cukup curam, sehingga berpotensi menimbulkan risiko longsor saat curah hujan tinggi.

Dari aspek geologi, Kota Sukabumi tersusun atas jenis batuan vulkanik muda dan batuan sedimen. Jenis batuan ini membuat tanahnya subur dan banyak mengandung air, yang memengaruhi kesuburan tanah dan ketersediaan air. Struktur geologi wilayah ini memiliki catatan sebab di daerah ini juga terdapat struktur sesar dan lipatan, salah satunya adalah Sesar Cimandiri, yang dikenal aktif dan dapat menyebabkan gempa bumi, yang perlu diwaspadai terkait potensi gempa bumi. Jenis tanah yang dominan di Kota Sukabumi adalah andosol dan latosol, yaitu tanah yang gembur, subur, dan mampu menyimpan air dengan baik, sehingga sangat baik untuk pertanian dan perkebunan.

Hidrologi Kota Sukabumi dipengaruhi oleh keberadaan beberapa sungai yang termasuk dalam Daerah Aliran Sungai (DAS).

Sungai-sungai ini menjadi sumber air bagi kebutuhan penduduk dan sektor ekonomi, namun juga berpotensi menimbulkan banjir saat musim hujan. Ketersediaan air di Kota Sukabumi bergantung pada sumber air permukaan dan air tanah, yang perlu dikelola secara berkelanjutan.

Aksesibilitas dan konektivitas Kota Sukabumi didukung oleh jaringan transportasi jalan raya dan jalur kereta api yang menghubungkannya dengan wilayah lain di Jawa Barat dan sekitarnya. Kota ini juga dilalui oleh Jalan Nasional Bogor–Sukabumi–Cianjur, serta jaringan jalan provinsi dan kota yang menghubungkan pusat-pusat kegiatan di dalam kota dan menuju daerah sekitar seperti dan Kota Bogor. Selain itu, terdapat jalur kereta api Bogor–Sukabumi–Cianjur yang menjadi salah satu sarana transportasi penting bagi masyarakat dan distribusi barang. Kedekatan Kota Sukabumi dengan pusat-pusat ekonomi seperti Jakarta dan Bandung memberikan peluang besar untuk pertumbuhan ekonomi dan perdagangan. Banyak penduduk yang bekerja di luar kota, terutama ke arah Bogor dan Jakarta, karena akses transportasi yang relatif mudah. Namun, pertumbuhan penduduk dan perkembangan ekonomi ini juga mendorong perubahan penggunaan lahan yang perlu dikelola secara bijak agar tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan keberlanjutan kota.

3.8.2 Demografi

Kota Sukabumi, sebagai salah satu pusat pertumbuhan di Jawa Barat, memiliki dinamika penduduk yang menarik untuk diperhatikan. Berdasarkan data terbaru dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Sukabumi tahun 2024, jumlah penduduk Kota Sukabumi mencapai 383.755 jiwa, dengan tingkat kepadatan yang cukup tinggi yaitu sekitar 9.504 jiwa per kilometer persegi.

Pertumbuhan penduduknya menunjukkan tren meningkat dengan laju pertumbuhan sekitar 0,74% per tahun. Peningkatan ini dipengaruhi oleh faktor kelahiran, kematian, dan perpindahan penduduk (migrasi). Distribusi penduduk tidak merata; beberapa wilayah seperti Kecamatan Cikole dan Warudoyong memiliki kepadatan jauh lebih tinggi dibandingkan daerah lainnya seperti Baros dan Lembursitu.

Struktur usia dan jenis kelamin penduduk Kota Sukabumi juga menunjukkan ciri khas wilayah perkotaan. Sebagian besar penduduk berada pada kelompok usia produktif (15–64 tahun), yaitu sekitar 70% dari total penduduk, yang menunjukkan potensi sumber daya manusia yang besar.

Rasio jenis kelamin (perbandingan laki-laki dan perempuan) tercatat 98,7, artinya jumlah perempuan sedikit lebih banyak dibanding laki-laki. Kondisi ini masih tergolong seimbang dan tidak menunjukkan ketimpangan yang besar.

Usia median penduduk Kota Sukabumi sekitar 30 tahun, yang berarti separuh penduduk berusia di bawah 30 tahun dan separuh lainnya di atas angka tersebut.

Kualitas sumber daya manusia di Kota Sukabumi dapat dilihat dari tingkat pendidikannya. Persentase penduduk yang menamatkan pendidikan hingga jenjang SMA/ sederajat mencapai sekitar 44%, sedangkan yang menyelesaikan pendidikan tinggi (Diploma dan Sarjana) sekitar 13%.

Tingkat partisipasi angkatan kerja (TPAK) mencapai 68,3%, dengan sektor pekerjaan utama berada di bidang perdagangan, jasa, dan industri pengolahan ringan. Meskipun demikian, tingkat pengangguran terbuka masih menjadi perhatian, yaitu sebesar 6,5% pada tahun 2024.

Dari sisi sosial ekonomi, Kota Sukabumi terus berupaya menekan angka kemiskinan, yang saat ini berada pada 5,71% dari total penduduk (BPS Kota Sukabumi, 2024). Indeks Pembangunan

Manusia (IPM) Kota Sukabumi pada tahun 2024 mencapai 79,12, yang termasuk dalam kategori tinggi berdasarkan indikator pendidikan, kesehatan, dan standar hidup.

Akses masyarakat terhadap fasilitas dasar seperti pelayanan kesehatan, pendidikan, air bersih, sanitasi, dan perumahan layak terus ditingkatkan oleh pemerintah daerah. Upaya ini bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan menciptakan kualitas hidup yang lebih baik bagi seluruh warga Kota Sukabumi.

Pola migrasi di Kota Sukabumi cenderung menunjukkan urbanisasi, yaitu perpindahan penduduk dari daerah pedesaan di sekitar menuju wilayah kota. Pola ini terjadi karena faktor penarik seperti tersedianya lapangan kerja di sektor perdagangan, jasa, dan industri, serta akses pendidikan dan fasilitas umum yang lebih baik. Kota Sukabumi diperkirakan akan mengalami pertumbuhan penduduk di masa depan, dengan implikasi terhadap kebutuhan akan perumahan, infrastruktur, layanan kesehatan, dan pendidikan. Oleh karena itu, perencanaan pembangunan yang matang dan berkelanjutan menjadi kunci untuk mengoptimalkan potensi demografi dan mengatasi tantangan yang mungkin timbul.

3.8.3 Ekonomi

Kota Sukabumi memiliki potensi ekonomi yang signifikan dalam upaya mitigasi bencana gempa bumi akibat aktivitas Sesar Cimandiri. Salah satu langkah strategis adalah meningkatkan investasi pada infrastruktur tahan gempa. Hal ini tidak hanya mengurangi risiko kerusakan akibat gempa, tetapi juga menciptakan peluang bisnis baru bagi sektor konstruksi yang inovatif dan berfokus pada kualitas bangunan. Pemerintah dapat memberikan insentif fiskal untuk mendorong investasi ini, sekaligus merangsang riset dan pengembangan teknologi mitigasi bencana.

Selain itu, pengembangan sektor pariwisata berbasis edukasi mitigasi bencana dapat menjadi daya tarik unik bagi Kota Sukabumi. Dengan menciptakan destinasi wisata yang informatif dan interaktif, seperti museum gempa atau pusat simulasi, kota ini dapat menarik wisatawan yang peduli terhadap keselamatan dan kelestarian lingkungan. Pelatihan dan sertifikasi bagi pelaku industri pariwisata juga penting untuk meningkatkan kualitas layanan dan memberikan rasa aman bagi pengunjung.

Pemberdayaan UMKM dalam produksi dan distribusi perlengkapan kesiapsiagaan bencana adalah potensi ekonomi lain yang perlu dioptimalkan. Melalui pelatihan, pendampingan, dan kemitraan dengan berbagai pihak, UMKM dapat memproduksi tas siaga bencana, makanan siap saji, dan peralatan pertolongan pertama yang memenuhi standar kualitas dan keamanan. Hal ini tidak hanya menciptakan lapangan kerja baru, tetapi juga meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat.

Pengembangan asuransi bencana juga merupakan aspek penting dalam mitigasi dampak ekonomi gempa bumi. Pemerintah perlu mendorong kesadaran masyarakat tentang pentingnya asuransi bencana dan memfasilitasi pengembangan produk asuransi yang terjangkau dan sesuai dengan kebutuhan. Subsidi premi asuransi bagi masyarakat berpenghasilan rendah dapat membantu meningkatkan cakupan perlindungan.

Peningkatan keterampilan dan pelatihan tenaga kerja di berbagai sektor, pengembangan sistem informasi dan komunikasi yang efektif, serta peningkatan pendapatan daerah melalui pajak dan retribusi juga merupakan langkah-langkah penting dalam memanfaatkan potensi ekonomi untuk mitigasi bencana gempa bumi. Dengan melibatkan seluruh pemangku kepentingan dan menerapkan pendekatan yang berkelanjutan, Kota Sukabumi dapat membangun ketahanan ekonomi yang kuat dan siap menghadapi ancaman gempa bumi.

3.8.4 Tantangan dan Potensi

Kota Sukabumi, sebagai salah satu kota yang sedang berkembang di Jawa Barat, menghadapi berbagai tantangan sekaligus peluang yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kualitas hidup masyarakat dan mempercepat pembangunan. Memahami berbagai aspek ini penting untuk merumuskan strategi yang efektif dalam pengelolaan kota. Berikut adalah penjelasan mengenai tantangan dan peluang yang dihadapi Kota Sukabumi. Beberapa tantangan yang dihadapi oleh warga dan pemerintah Kota Sukabumi yang menjadi pertimbangan dalam mitigasi bencana akibat aktivitas Sesar Cimandiri, diantaranya; **Urbanisasi yang Pesat:** Urbanisasi yang cepat mengakibatkan peningkatan jumlah penduduk di Kota Sukabumi, yang berdampak pada tekanan terhadap infrastruktur dan pelayanan publik. Peningkatan kebutuhan akan perumahan, transportasi, pendidikan, dan kesehatan tidak diimbangi dengan penyediaan sarana dan prasarana yang memadai. **Keterbatasan Infrastruktur:** Infrastruktur yang belum sepenuhnya memadai menjadi salah satu tantangan utama. Jalan yang sempit, fasilitas transportasi umum yang kurang, serta ketersediaan air bersih dan sanitasi yang tidak merata dapat menghambat pertumbuhan ekonomi dan kualitas hidup masyarakat. **Dampak Lingkungan:** Pertumbuhan industri dan pemukiman di Kota Sukabumi meningkatkan risiko pencemaran lingkungan. Masalah pengelolaan limbah, pencemaran udara, serta deforestasi akibat konversi lahan menjadi kawasan pemukiman dan industri perlu ditangani dengan serius. **Ketidakcukupan Sumber Daya Manusia:** Pendidikan yang masih perlu ditingkatkan, terutama di daerah-daerah marginal, menyebabkan kesenjangan dalam keterampilan dan peluang kerja. Masyarakat yang tidak mendapatkan pendidikan yang memadai cenderung sulit untuk bersaing dalam pasar kerja. **Risiko Bencana Alam:** Kota Sukabumi terletak di daerah rawan gempa dan longsor akibat aktivitas Sesar Cimandiri. Ketidakpastian peristiwa geologi ini

memerlukan perencanaan mitigasi bencana yang matang agar dapat melindungi masyarakat dan aset infrastruktur.

Kota Sukabumi memiliki tantangan dan peluang yang harus dikelola dengan baik untuk mencapai pembangunan yang berkelanjutan dan inklusif. Dengan mengidentifikasi tantangan dan memanfaatkan peluang yang ada, Pemerintah Kota dan seluruh lapisan masyarakat dapat berkontribusi dalam menciptakan kota yang lebih baik. Upaya kolaboratif dalam perencanaan dan pelaksanaan program-program pembangunan akan sangat menentukan keberhasilan Kota Sukabumi di masa depan.

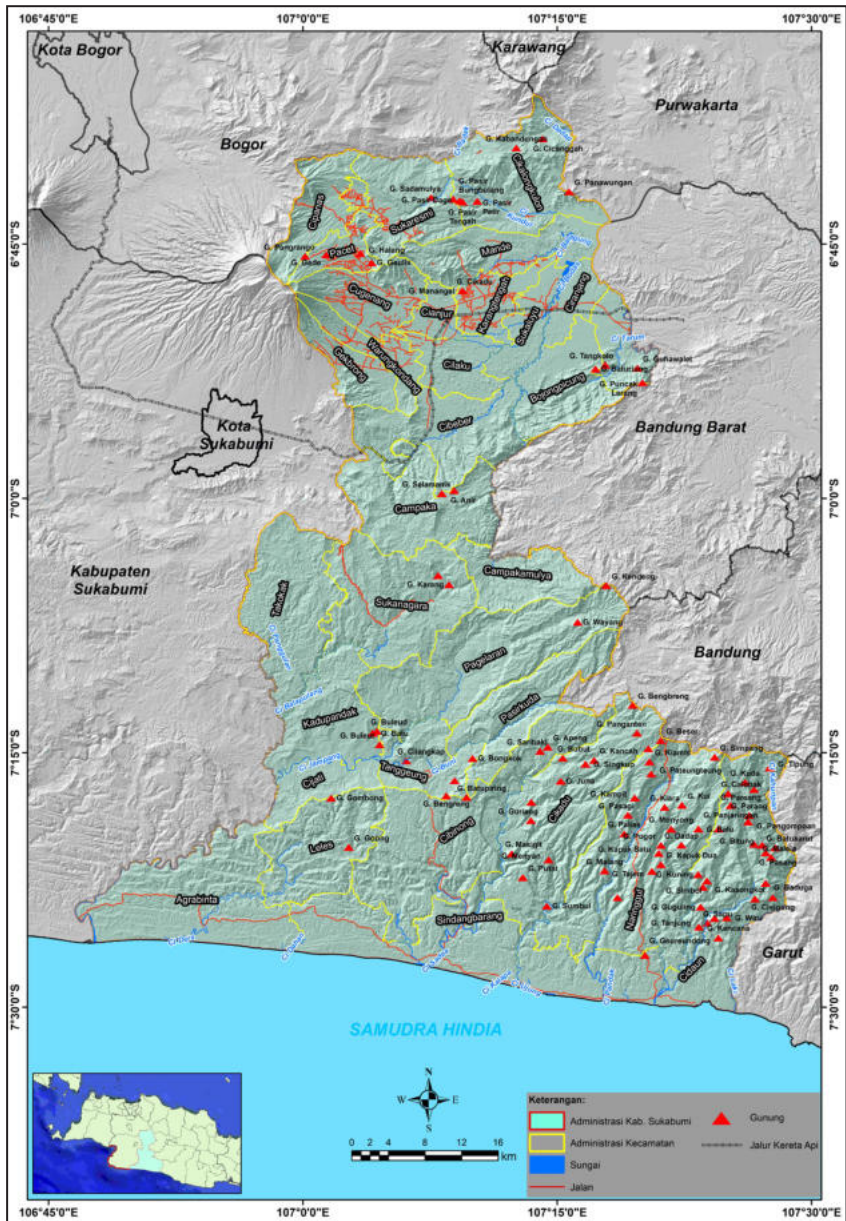
3.9 Kabupaten Cianjur

Kabupaten Cianjur terletak di bagian selatan Provinsi Jawa Barat, Indonesia. Sebagai salah satu kabupaten yang memiliki luas wilayah cukup besar, Cianjur memiliki keragaman geografi, budaya, dan ekonomi yang unik. Dalam penjelasan ini, kita akan membahas struktur administratif, pembagian wilayah, serta karakteristik sosial dan ekonomi Kabupaten Cianjur.

Secara geografis, Kabupaten Cianjur terletak antara 1°60 42' - 1°70 25' Bujur Timur dan 6° 21' - 7° 25' Lintang Selatan dengan ketinggian 2.962 mdpl. Berdasarkan posisi geografisnya, Kabupaten Cianjur memiliki batas-batas: Utara – Kabupaten Bogor dan Kabupaten Purwakarta; Selatan – Samudra Hindia; Barat - Kabupaten Sukabumi; Timur - Kabupaten Bandung, Kabupaten Bandung Barat dan Kabupaten Garut (Gambar 3.5). Kabupaten Cianjur terdiri dari 32 kecamatan, 354 desa, dan 6 kelurahan (Kabupaten Cianjur dalam Angka, BPS 2024).

3.9.1 Karakteristik Geografi

Karena letak geografisnya, Kabupaten Cianjur menghadapi risiko bencana alam, seperti longsor dan banjir. Daerah pegunungan



Gambar 3.5 Peta administrasi Kabupaten Cianjur dengan sebaran kecamatan.

yang curam dapat tergerus oleh erosi, terutama setelah curah hujan yang tinggi. Oleh karena itu, penting bagi pemerintah daerah dan masyarakat untuk berkolaborasi dalam manajemen lingkungan, konservasi lahan, dan reforestasi guna menjaga keseimbangan ekosistem.

Bentang alam Kabupaten Cianjur adalah kombinasi dari dataran rendah, perbukitan, dan pegunungan, yang memberikan karakteristik unik sekaligus tantangan bagi masyarakat yang tinggal di dalamnya. Keberagaman geografi ini tidak hanya memengaruhi kehidupan sehari-hari, namun juga ekonomi, budaya, dan kebijakan pengelolaan lingkungan.

Kabupaten Cianjur, yang terletak di bagian selatan Provinsi Jawa Barat, Indonesia, memiliki geomorfologi yang sangat beragam dan kompleks. Penataan geografi dan geomorfologinya berasal dari proses-proses geologi yang berlangsung selama jutaan tahun, termasuk aktivitas tektonik, erosi, sedimentasi, dan vulkanisme. Bentang alam ini tidak hanya berpengaruh terhadap pemandangan, tetapi juga pada pengelolaan sumber daya alam, pertanian, dan risiko bencana. Berikut adalah penjelasan lebih mendalam mengenai kondisi Kabupaten Cianjur.

3.9.2 Demografi

Kabupaten Cianjur, dengan populasi sekitar 2,4 juta jiwa (BPS Kabupaten Cianjur, 2024), menunjukkan dinamika demografi yang menarik. Distribusi penduduk tidak merata, dengan kepadatan yang lebih tinggi di wilayah perkotaan dan dataran rendah yang subur. Laju pertumbuhan penduduk stabil, dipengaruhi oleh faktor kelahiran, kematian, dan migrasi. Komposisi usia didominasi oleh kelompok usia produktif, yang menjadi modal penting bagi pembangunan ekonomi daerah.

Data dari BPS Kabupaten Cianjur dalam publikasi "Cianjur Dalam Angka, 2024" terbaru menyoroti pentingnya memperhatikan faktor-faktor seperti kesehatan, pendidikan, dan ekonomi dalam pengelolaan demografi. Tingkat kesehatan masyarakat dan akses terhadap layanan kesehatan berkontribusi pada angka kelahiran dan kematian. Tingkat pendidikan yang lebih tinggi berkorelasi dengan kesadaran akan keluarga berencana dan peningkatan kualitas sumber daya manusia. Kondisi ekonomi juga memengaruhi pola migrasi dan distribusi penduduk.

Kabupaten Cianjur menghadapi beberapa tantangan demografi, termasuk kepadatan penduduk yang tidak merata, perlunya peningkatan kualitas sumber daya manusia melalui pendidikan dan pelatihan, serta upaya berkelanjutan untuk meningkatkan kesehatan ibu dan anak. Dengan pemahaman yang baik tentang data demografi dan faktor-faktor yang mempengaruhinya, Kabupaten Cianjur dapat merumuskan kebijakan yang efektif untuk mencapai pembangunan yang berkelanjutan dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

3.9.3 Ekonomi

Kabupaten Cianjur, dengan potensi ekonominya yang beragam, dihadapkan pada tantangan serius dalam mitigasi bencana alam, terutama yang disebabkan oleh aktivitas Sesar Cimandiri. Gempa bumi dan bahaya ikutan seperti tanah longsor/gerakan tanah bukan hanya mengancam keselamatan jiwa, tetapi juga stabilitas ekonomi daerah. Gempa Cianjur 21 November 2022 menjadi contoh nyata bagaimana dampak bencana dapat melumpuhkan aktivitas ekonomi, merusak infrastruktur, dan mengganggu mata pencaharian masyarakat.

Kabupaten Cianjur memiliki sektor pertanian yang kuat, khususnya produksi padi, sayuran, dan tanaman perkebunan. Bencana gempa bumi dan tanah longsor dapat merusak lahan

pertanian, mengganggu irigasi, dan menghancurkan hasil panen, yang berakibat pada penurunan pendapatan petani dan krisis pangan lokal. Sektor pariwisata, dengan daya tarik wisata alam seperti pegunungan dan perkebunan teh, juga rentan terhadap dampak bencana. Kerusakan infrastruktur jalan dan fasilitas pariwisata dapat menghambat akses wisatawan dan mengurangi pendapatan daerah. Selain itu, sektor industri kecil dan menengah (IKM) yang menjadi tulang punggung ekonomi lokal juga dapat terganggu akibat kerusakan bangunan, peralatan, dan gangguan rantai pasok.

Pelajaran dari Gempa Cianjur 21 November 2022

Gempa Cianjur 21 November 2022 menjadi pengingat bahwa bencana dapat terjadi kapan saja dan dampaknya dapat sangat merusak. Bencana ini menunjukkan pentingnya kesiapsiagaan dan mitigasi bencana yang efektif. Selain itu, gempa ini juga menyoroti perlunya respons cepat dan terkoordinasi dari pemerintah, masyarakat, dan pihak swasta dalam penanganan bencana.

Dengan menerapkan strategi mitigasi bencana yang komprehensif dan berkelanjutan secara pentahelix, Kabupaten Cianjur dapat mengurangi risiko ekonomi akibat bencana dan membangun masyarakat yang lebih tangguh dan sejahtera

3.9.4 Tantangan dan Potensi

Kabupaten Cianjur menghadapi tantangan serius dalam penanganan bencana alam, terutama gempa bumi dan gerakan tanah akibat aktivitas Sesar Cimandiri. Kerentanan tinggi bangunan, risiko longsor diperparah oleh perubahan tata guna lahan, dan keterbatasan sumber daya penanganan bencana menjadi isu utama. Kurangnya kesadaran masyarakat dan data yang komprehensif menambah kompleksitas masalah.

Namun, Cianjur juga memiliki potensi besar dalam menghadapi tantangan ini. Sumber daya alam yang melimpah dapat mendukung rehabilitasi pasca-bencana, sementara sumber daya manusia yang kuat, termasuk organisasi masyarakat, relawan, dan tenaga ahli, dapat dimobilisasi. Kearifan lokal dalam membangun rumah tahan gempa dan tradisi gotong royong merupakan aset berharga. Kebijakan dan regulasi yang ada, serta potensi pemanfaatan teknologi informasi, memberikan landasan untuk meningkatkan kesiapsiagaan dan respons terhadap bencana.

Untuk mencapai ketahanan bencana yang optimal, Kabupaten Cianjur perlu berinvestasi dalam mitigasi, meningkatkan kesadaran masyarakat, memperkuat koordinasi antar instansi, dan memanfaatkan teknologi secara efektif. Dengan menggabungkan potensi yang ada dan mengatasi tantangan yang dihadapi, Cianjur dapat membangun masyarakat yang lebih tangguh terhadap bencana alam.

Tantangan Kabupaten Cianjur dalam Penanganan Bencana Alam (Aktivitas Sesar Cimandiri)

Sesar Cimandiri merupakan sesar aktif yang melintasi wilayah Kabupaten Cianjur. Aktivitas sesar ini meningkatkan risiko gempa bumi, yang dapat menyebabkan kerusakan infrastruktur, bangunan, dan korban jiwa.

Banyak bangunan di wilayah Cianjur belum memenuhi standar bangunan tahan gempa, sehingga rentan terhadap kerusakan berat saat terjadi gempa.

Kondisi geologi dan topografi yang curam di sebagian wilayah Cianjur, ditambah dengan curah hujan tinggi, meningkatkan risiko gerakan tanah dan longsor, terutama di zona Sesar Cimandiri yang labil. Beberapa wilayah di Kabupaten Cianjur yang memiliki potensi gerakan tanah perlu diperhatikan mengingat daerah tersebut menjadi rentan jika terjadi guncangan (*shaking*) akibat gempa bumi yang bersumber dari Sesar Cimandiri atau

gempa bumi bersumber dari subduksi dan sesar aktif lainnya di sekitar wilayah Cianjur, seperti gempa yang bersumber dari zona subduksi di laut selatan Jawa, atau sesar-sesar di darat lainnya seperti Sesar Baribis, Sesar Citarik, dan Sesar Garsela.

Perubahan tata guna lahan yang tidak terkendali, seperti alih fungsi lahan hutan menjadi lahan pertanian atau pemukiman, memperburuk risiko gerakan tanah.

Keterbatasan sumber daya manusia, peralatan, dan anggaran untuk penanganan bencana, terutama dalam hal evakuasi, penyelamatan, dan penyediaan bantuan darurat. Kurangnya koordinasi antar instansi pemerintah, organisasi masyarakat, dan relawan dalam penanganan bencana. Kurangnya pemahaman masyarakat tentang risiko gempa bumi dan gerakan tanah, serta tindakan yang perlu dilakukan saat terjadi bencana. Rendahnya tingkat partisipasi masyarakat dalam program-program mitigasi bencana.

Keterbatasan data dan informasi yang akurat dan terkini tentang aktivitas Sesar Cimandiri, zona rawan bencana, dan potensi dampaknya. Kurangnya sistem peringatan dini yang efektif untuk memberikan peringatan kepada masyarakat sebelum terjadi bencana.

Potensi Kabupaten Cianjur dalam Penanganan Bencana Alam

Potensi sumber daya alam yang melimpah, seperti air, tanah, dan hutan, dapat dimanfaatkan untuk mendukung upaya rehabilitasi dan rekonstruksi pasca-bencana. Potensi energi terbarukan, seperti energi surya dan mikro hidro, dapat dikembangkan untuk mendukung penyediaan energi alternatif saat terjadi gangguan pasokan energi akibat bencana.

Potensi Sumber Daya Manusia

Keberadaan berbagai organisasi masyarakat, relawan, dan komunitas yang peduli terhadap isu bencana dapat menjadi modal

sosial yang kuat dalam penanganan bencana. Potensi tenaga ahli dan peneliti dari berbagai perguruan tinggi dan lembaga penelitian dapat dilibatkan dalam pengembangan teknologi dan strategi mitigasi bencana.

Potensi Kearifan Lokal

Kearifan lokal masyarakat dalam membangun rumah tahan gempa dan mengelola lingkungan secara berkelanjutan dapat diintegrasikan dalam program-program mitigasi bencana. Tradisi gotong royong dan solidaritas sosial yang kuat di masyarakat dapat menjadi modal penting dalam proses pemulihan pasca-bencana.

Potensi Kebijakan dan Regulasi menjadi dasar adanya kebijakan dan regulasi pemerintah daerah tentang penanggulangan bencana dapat menjadi landasan hukum untuk pelaksanaan program-program mitigasi dan penanganan bencana. Peluang untuk mengembangkan kebijakan dan regulasi yang lebih komprehensif dan adaptif terhadap perubahan iklim dan risiko bencana.

Pemanfaatan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) untuk meningkatkan efektivitas sistem peringatan dini, koordinasi penanganan bencana, dan penyebaran informasi kepada masyarakat. Pengembangan aplikasi dan *platform* digital untuk memfasilitasi pelaporan bencana, pemetaan risiko, dan pengelolaan data bencana.

Untuk memaksimalkan potensi dan mengatasi tantangan tersebut, Kabupaten Cianjur perlu meningkatkan investasi dalam mitigasi bencana, meningkatkan kesadaran dan kesiapsiagaan masyarakat, memperkuat koordinasi antar instansi, dan memanfaatkan teknologi secara optimal.





@ seas 2025

BAB 4. PERJALANAN RUANG DAN WAKTU GEOLOGI PULAU JAWA (PALEOGEOGRAFI)

Dalam hitungan jutaan tahun, Pulau Jawa terlahir melalui proses yang memukau, seolah segala kekuatan alam bersatu untuk menciptakan sebuah pulau yang megah dan beragam.

Timeline geologi pembentukan Pulau Jawa seolah buku tebal yang mengisahkan perjalanan sejarah terbentuknya bumi, di mana setiap halaman menggambarkan proses geologi yang menakjubkan. Perjalanan geologi Pulau Jawa adalah kisah epik yang tertulis di atas kanvas waktu, di mana setiap lapisan batuan menggambarkan bab-bab sejarah bumi.

4.1 Timeline Pulau Jawa –Tektonik Sesar Cimandiri

Tektonik adalah cabang geologi yang mempelajari struktur dan gerakan kerak bumi serta proses-proses yang membentuk dan memodifikasi permukaan bumi. Konsep dasar tektonik melibatkan pergerakan lempeng-lempeng besar yang menyusun kerak bumi, yang dikenal sebagai lempeng tektonik. Pergerakan ini dapat menyebabkan berbagai fenomena geologi seperti gempa bumi, gunung berapi, dan pembentukan pegunungan. Pemahaman tentang tektonik sangat penting untuk menjelaskan dinamika bumi dan sejarah geologinya.

Memahami konsep tektonik merupakan aspek fundamental dalam geologi dan ilmu kebumiharian. Konsep ini mencakup berbagai fenomena seperti pergerakan lempeng, pembentukan gunung, dan aktivitas seismik. Bagi praktisi yang bekerja di bidang terkait, pemahaman yang mendalam tentang tektonik sangat penting untuk analisis risiko, mitigasi bencana, dan pengembangan infrastruktur yang aman.

4.2 Apa itu Teori Tektonik Lempeng?

Teori Tektonik Lempeng adalah penjelasan ilmiah tentang bagaimana permukaan bumi kita terbentuk dan bergerak. Bumi bagian atas yang keras dan padat dibagi menjadi beberapa bagian besar yang disebut Lempeng Tektonik. Lempeng-lempeng ini adalah potongan besar dari kulit bumi yang saling bergerak satu sama lain.

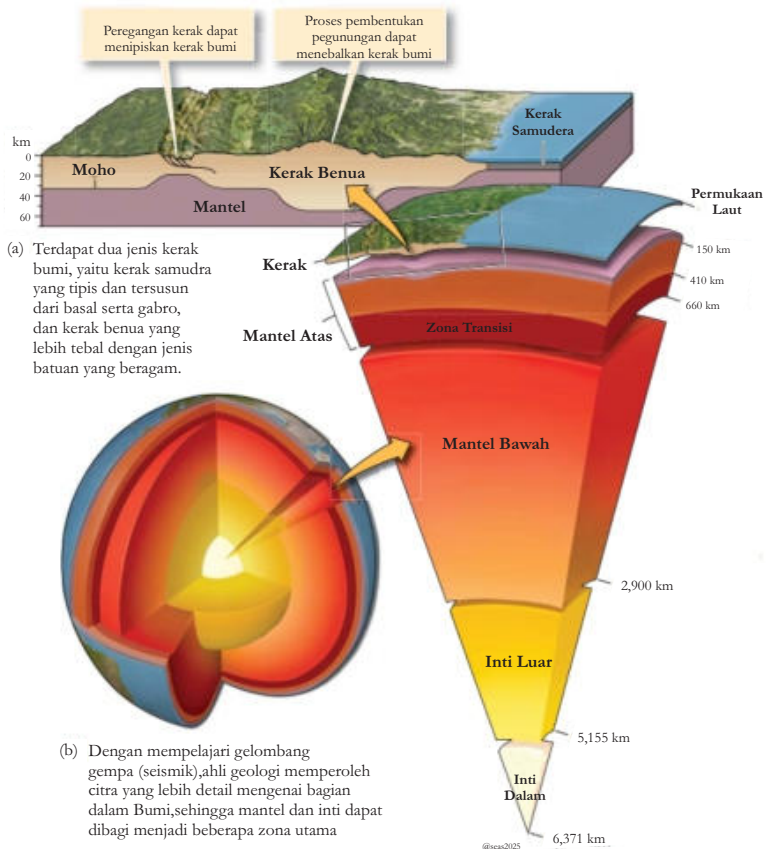
Lapisan luar Bumi terbagi menjadi lempeng-lempeng raksasa yang disebut Lempeng Tektonik. Selama jutaan tahun, lempeng-lempeng ini bergerak, saling bertabrakan, saling tumpang tindih, dan saling bergeser, proses ini menghasilkan area dasar laut yang baru, membangun gunung-gunung, menyebabkan gempa bumi, dan membentuk gunung berapi.

Interior Bumi

Mari kita jelajahi struktur interior Bumi dengan cara yang sederhana dan mudah dimengerti, sehingga kita bisa lebih menghargai kompleksitas planet yang kita tinggali. Ilustrasi interior bumi dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Inti Dalam (Inner Core):

Inti dalam adalah bagian terdalam dari Bumi, bagaikan bola besi yang sangat panas. Terbuat dari bahan logam seperti besi dan



Gambar 4.1 Ilustrasi lapisan bumi (Modifikasi dari Marshak, 2013).

nikel, suhunya bisa mencapai tingkat yang menakutkan, antara 5.000 hingga 7.000 derajat Celsius! Meskipun panasnya luar biasa, inti ini tetap berada dalam keadaan padat karena tekanan yang tinggi di sekitarnya, layaknya sebuah kelereng yang terjebak dalam cangkang yang sangat kuat.

Inti Luar (Outer Core):

Di atas inti dalam, ada inti luar yang juga terbuat dari besi dan nikel, tetapi kali ini dalam bentuk cair. Suhu di sini masih sangat panas, sekitar 4.000 hingga 5.000 derajat Celsius. Inti luar ini bergerak, dan pergerakan cairan inilah yang menciptakan medan magnet Bumi, seperti magnet raksasa yang melindungi kita dari radiasi berbahaya dari luar angkasa.

Mantel Bawah (Lower Mantle):

Setelah melewati inti luar, kita memasuki mantel bawah, yang terdiri dari batuan silikat kental dan panas. Suhunya mencapai antara 1.500 hingga 4.000 derajat Celsius. Mantel bawah berfungsi seperti mesin besar yang menggerakkan lempeng tektonik Bumi, memicu fenomena seperti gempa bumi dan pembentukan gunung, serta berperan penting dalam siklus geologis Bumi.

Zona Transisi (Transition Zone):

Zona transisi berada di antara mantel bawah dan mantel atas. Di sini, batuan mengalami transformasi dengan semakin tingginya tekanan dan suhu. Jadi, zona ini berfungsi sebagai jembatan yang menghubungkan dua bagian penting dari mantel, menciptakan kondisi yang unik bagi batuan yang ada di sana.

Kerak (Crust):

Terakhir, kita sampai di kerak Bumi, yang merupakan lapisan paling luar dan tempat kita tinggal. Kerak ini sangat tipis dibandingkan dengan lapisan lainnya, terbuat dari batuan padat, dan dibagi menjadi dua jenis: kerak benua yang membangun

daratan, dan kerak samudera yang membentuk dasar lautan. Ketebalan kerak benua bisa mencapai 30-50 km, sedangkan kerak samudera lebih ramping, sekitar 5-10 km.

Jadi, secara keseluruhan, interior Bumi terdiri atas beberapa lapisan yang berbeda, masing-masing memiliki karakteristik dan fungsi unik. Inti dalam dan luar berperan menciptakan medan magnet, sementara mantel dan kerak berperan dalam pergerakan lempeng tektonik dan pembentukan permukaan Bumi yang kita kenal dan tinggali saat ini. Ini adalah gambaran indah dan rumit tentang dunia yang tersembunyi di bawah kaki kita!

Kerak bumi yang kita pijak telah mengalami bentuk dan perubahan seiring waktu geologi dalam jutaan tahun. Salah satu penjelasan mengenai pembentukan bumi yang kita pijak yaitu Teori *Wilson Cycle*. Teori *Wilson Cycle* adalah sebuah konsep menarik dalam geologi yang menjelaskan bagaimana kerak Bumi terbentuk, dipisahkan, dan akhirnya dihancurkan melalui serangkaian proses tektonik. Teori ini dinamai sesuai dengan nama geolog Kanada, J. Tuzo Wilson, yang pertama kali memaparkan ide ini pada tahun 1960-an. Mari kita uraikan lebih lanjut mengenai teori ini dan bagaimana kaitannya dengan perkembangan konsep tektonik lempeng.

Wilson Cycle menggambarkan siklus geologi yang melibatkan dinamika pembentukan, pemisahan, dan penghancuran benua serta lautan. Siklus ini terdiri dari beberapa tahap yang saling terkait, antara lain:

Rifting/Pemekaran: Ini adalah awal dari siklus, yaitu proses saat kerak benua mulai retak dan terpisah karena aktivitas tektonik yang disebabkan oleh peningkatan suhu dan tekanan di dalam Bumi. Kita bayangkan bagaimana kerak Bumi yang kuat ini mulai 'tersakiti' dan membentuk celah!

Pemisahan: Setelah terjadi *rifting*, dua bagian kerak benua yang terpisah (*drifting*) akan menghasilkan lautan baru di antara

mereka. Selama proses ini, sering kali terjadi aktivitas vulkanik yang mengeluarkan lava dan membentuk dasar laut baru, layaknya menyaksikan lahirnya sesuatu yang baru dari perut Bumi.

Pembangunan Lautan: Seiring berjalannya waktu, lautan yang terbentuk akan semakin melebar. Aktivitas vulkanik di punggung tengah samudera akan terus menghasilkan kerak samudera baru, sehingga memperluas wilayah lautan.

Subduksi: Pada tahap ini, lempeng samudera yang satu bisa bertabrakan dengan lempeng benua atau lempeng samudera lainnya, di mana salah satu lempeng akan terdesak ke bawah lempeng lainnya. Proses ini dikenal sebagai subduksi, yang tidak hanya menghasilkan gempa bumi, tetapi juga membentuk pegunungan yang megah.

Kompresi dan Penutupan Lautan: Dengan subduksi, lautan yang telah terbentuk sebelumnya bisa tertutup, dan kerak benua akan bertabrakan, menghasilkan bentuk-bentuk geologi yang mengesankan, seperti rangkaian pegunungan yang tinggi.

Erosi dan Pengikisan: Setelah pegunungan terbentuk, waktu memegang peranan penting. Proses erosi dan pengikisan akan mengubah bentuk dan struktur Bumi, mungkin membuat pemandangan kita di permukaan tampak semakin berbeda dari waktu ke waktu.

Hubungan dengan Tektonik Lempeng

Teori *Wilson Cycle* sangat berhubungan erat dengan konsep tektonik lempeng yang menjelaskan bahwa kerak Bumi terdiri dari lempeng-lempeng yang bergerak di atas lapisan mantel. Beberapa peristiwa penting mengenai hubungan ini adalah:

Gerakan Lempeng: *Wilson Cycle* menceritakan bagaimana lempeng-lempeng berinteraksi melalui pemisahan dan tabrakan. Jadi, pergerakan inilah yang melekat pada seluruh siklus geologi yang terjadi.

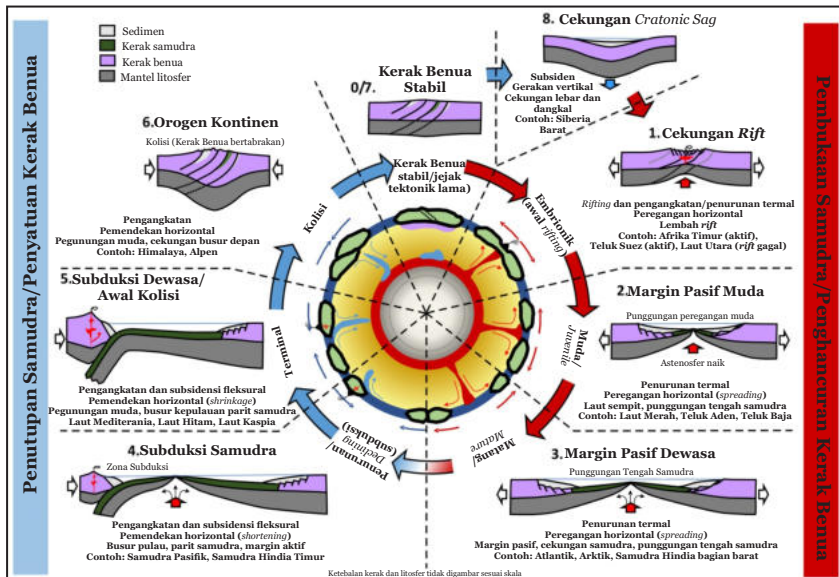
Aktivitas Geologi : Proses-proses di dalam *Wilson Cycle* seperti *rifting*, subduksi, dan pembentukan pegunungan merupakan hasil dari interaksi lempeng-lempeng tektonik tersebut. Jadi, aktivitas geologis yang kita lihat sehari-hari tidak terpisahkan dari siklus ini.

Siklus Geologi : *Wilson Cycle* menggambarkan perjalanan panjang pembentukan dan penghancuran kerak Bumi, selaras dengan pemahaman kita akan dinamika Tektonik Lempeng yang menjadi pilar dari ilmu geologi modern.

Secara keseluruhan, teori *Wilson Cycle* memberikan wawasan yang sangat berarti dalam memahami bagaimana kerak Bumi terbentuk dan berubah seiring perjalanan waktu melalui proses geologi yang kompleks.

Proses-proses ini mencakup pembentukan dan pengrusakan benua, pergerakan lempeng tektonik, serta siklus pembentukan gunung berapi dan lautan. Konsep seperti subduksi dan pergeseran benua yang diusulkan dalam teori ini menjelaskan bagaimana daratan dapat bersatu dan terpisah kembali, menciptakan berbagai bentuk geologi yang kita amati saat ini. Seperti terlihat pada Gambar 4.2. Dengan memahami siklus ini, kita dapat lebih baik memprediksi perubahan geologi di masa depan dan implikasinya terhadap lingkungan dan kehidupan di Bumi.

Pada Gambar 4.3 memperlihatkan ilustrasi lapisan interior Bumi yang terbagi menjadi beberapa bagian utama, yaitu kerak, mantel, dan inti. Setiap lapisan memiliki komposisi dan karakteristik fisik yang berbeda. Selain itu, gambar ini juga menggambarkan proses pembentukan batuan yang terjadi di dalam lapisan-lapisan tersebut, termasuk proses magmatik, sedimentasi, dan metamorfosis. Modifikasi dari sumber Marshak (2013) ini memberikan pemahaman yang lebih jelas mengenai dinamika internal Bumi dan bagaimana lapisan-lapisan tersebut berinteraksi dalam membentuk berbagai jenis batuan yang ada di permukaan.



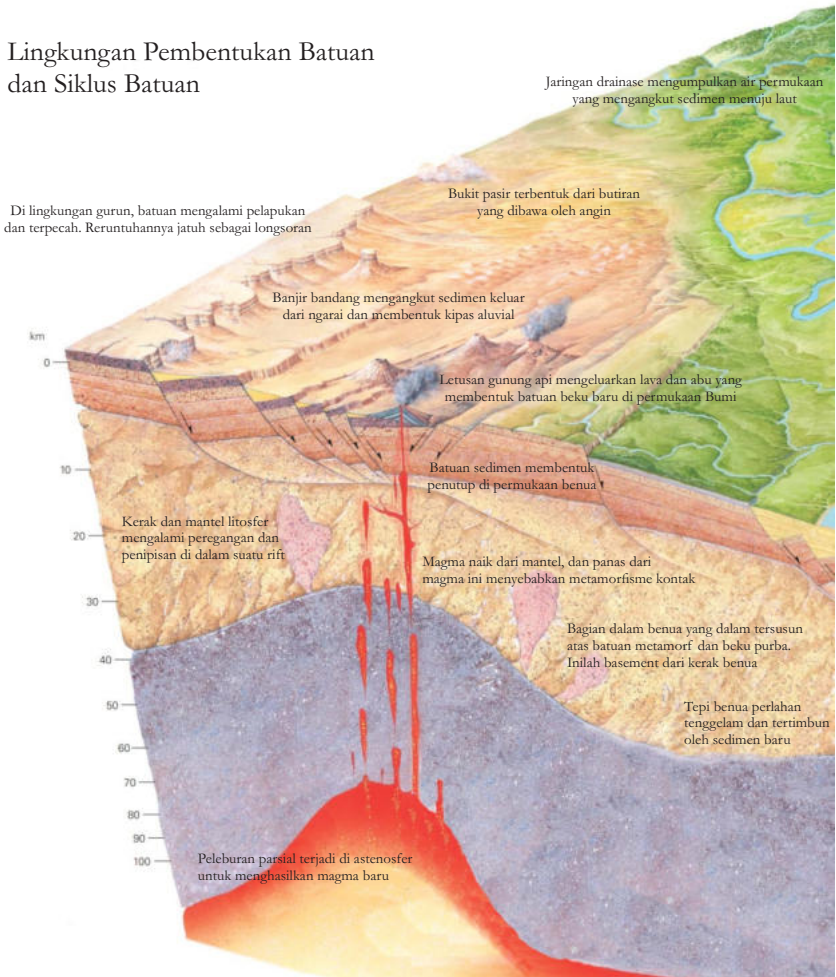
Gambar 4.2 Urutan proses pembentukan arsitektur bumi menurut siklus Wilson (Modifikasi dari Wilson, dkk, 2019).

Bagaimana Lempeng Bergerak?

Lempeng tektonik bergerak lambat, sekitar beberapa sentimeter per tahun, karena adanya arus konveksi di lapisan mantel di bawahnya yang panas dan cair. Gerakan ini menyebabkan lempeng saling bertemu, berpisah, atau bergeseran, yang menyebabkan berbagai fenomena alam seperti gempa bumi, gunung berapi, dan pembentukan pegunungan.

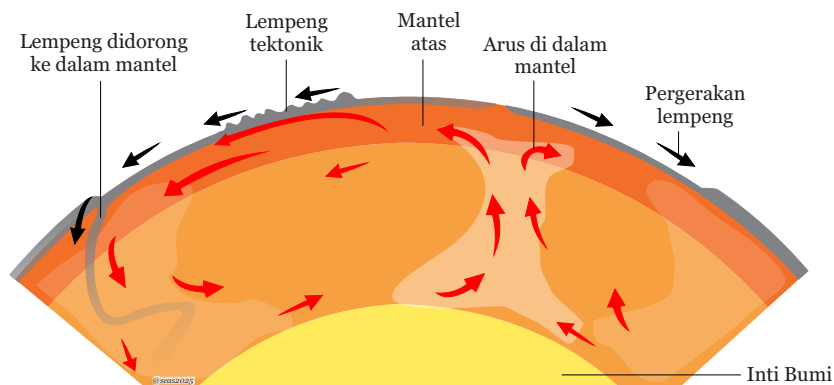
Permukaan bumi tampak diam, tetapi sebenarnya merupakan kumpulan lempeng yang selalu bergerak. Lempeng-lempeng ini bergerak karena arus – konveksi (*convection current*) yang berasal dari kedalaman bumi. Lempeng yang berada di bawah laut jauh lebih tipis dan kurang padat dibandingkan dengan yang berada di bawah daratan di mana mereka saling menekan satu sama lain lempeng samudera dipaksa turun di bawah lempeng kontinen (Gambar 4.4).

Lingkungan Pembentukan Batuan dan Siklus Batuan



Gambar 4.3 Ilustrasi lapisan interior bumi dan pembentukan batuan (Modifikasi dari Marshak, 2013).

Lempeng tektonik saling bertemu untuk membentuk permukaan Bumi. Mereka bergerak secara konstan dan dapat mengubah fitur planet kita, tergantung pada bagaimana mereka bertemu. Di tempat mereka saling mendorong, terbentuk gunung dan gunung berapi. Di tempat mereka saling menjauh, daerah dasar laut yang baru terbentuk.



Gambar 4.4 Pergerakan mantel yang terjadi di dalam bumi.

Tidak ada yang tahu secara pasti mengapa Lempeng Tektonik bergerak, tetapi para ilmuwan menduga bahwa kemungkinan besar mereka bergeser di atas arus konveksi di lapisan mantel di bawahnya. Arus konveksi - ini diduga bergerak dalam siklus yang stabil—menaik saat area dipanaskan oleh proses di pusat bumi (selanjutnya siklus ini disebut siklus *Wilson/Wilson Cycle*), kemudian turun lagi saat didinginkan dengan mendekati permukaan.

Jenis Gerakan Lempeng:

Mendekat (konvergen): Lempeng saling mendekat dan bertumbukan, membentuk pegunungan atau mencari jalur gempa.

Berpisah (*divergen*): Lempeng saling menjauh, misalnya di dasar lautan yang menyebabkan terbentuknya pusat-pusat *seafloor spreading*.

Geseran horizontal (transform): Lempeng bergeser satu sama lain secara horizontal, menyebabkan gempa besar, seperti yang terjadi di sepanjang sesar mendatar San Andreas di California.

Mengapa Tektonik Lempeng Penting?

Teori ini membantu kita memahami sebab-sebab terjadinya gempa bumi, letusan gunung berapi, dan pembentukan berbagai fitur geografis. Dengan memahami pergerakan lempeng, kita bisa lebih siap menghadapi bencana alam dan mempelajari proses kejadian bumi secara ilmiah.

Menurut teori Tektonik Lempeng, bumi ini tidak padat dan diam. Sebaliknya, ia tersusun dari lempeng-lempeng besar yang mengapung dan berjalan sangat lambat di atas lapisan mantel yang cair dan panas di bawahnya. Pergerakan ini membuat gunung-gunung dan pegunungan yang kita lihat setiap hari sebenarnya sedang **"berjalan" sangat perlahan, seperti awan** (Qur'an, An-Naml ayat 88) yang bergerak di langit.

Kebanyakan gempa bumi terjadi di tempat lempeng tektonik saling bergeseran, yang disebut sesar. Beberapa sesar bergerak dengan gerakan perlahan yang sangat bertahap. Di wilayah lain, suatu bagian dari sesar bisa tetap terkunci selama bertahun-tahun, dekade, atau berabad-abad sebelum akhirnya melepaskan tenaga dalam beberapa detik. Gempa bumi disebabkan oleh getaran tanah setelah terjadinya sesar semacam ini. Semakin dangkal lokasi terjadinya sesar, semakin kuat getaran yang dirasakan di permukaan tanah.

Pulau Jawa, yang terletak di bagian tengah Indonesia, adalah salah satu daerah yang sangat dipengaruhi oleh aktivitas tektonik. Sesar Cimandiri, yang merupakan salah satu sesar aktif di wilayah ini, memainkan peran penting dalam pembentukan geologi Pulau Jawa. Sesar ini membentang dari Teluk Palabuhanratu hingga ke wilayah Kabupaten Bandung Barat dan sekitarnya.

Aktivitas tektonik di sepanjang Sesar Cimandiri telah menghasilkan sejumlah fenomena geologi penting, termasuk gempa bumi yang berdampak signifikan pada infrastruktur dan kehidupan penduduk setempat. Selain itu, pergerakan lempeng

di bawah Pulau Jawa juga berkontribusi pada pembentukan pegunungan dan gunung berapi yang tersebar di sepanjang pulau ini.

Keberadaan gunung berapi aktif seperti Gunung Merapi, Gunung Semeru, dan Gunung Bromo merupakan bukti nyata dari dinamika tektonik di Pulau Jawa. Aktivitas vulkanik ini tidak hanya membentuk lanskap pulau, tetapi juga mempengaruhi ekosistem dan kehidupan masyarakat sekitar. Oleh karena itu, studi tektonik di Pulau Jawa sangat penting untuk memahami risiko gempa bumi dan letusan gunung berapi serta untuk merencanakan mitigasi bencana yang efektif.

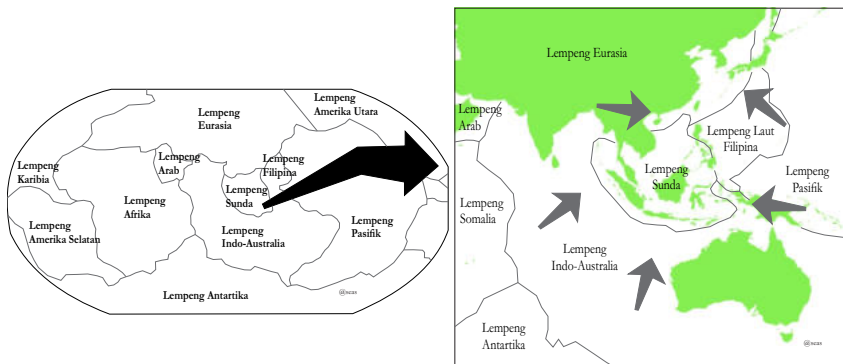
Permukaan bumi terbagi menjadi beberapa bagian, bagian-bagian ini disebut lempeng tektonik. Lempeng-lempeng tektonik ini dapat berupa Lempeng Tektonik benua dan samudera. Di dunia ini, terdapat tujuh lempeng besar sesuai dengan nama benua lempeng tersebut yaitu; Lempeng Pasifik, Lempeng Antartika, Lempeng Amerika Utara, Lempeng Amerika Selatan, Lempeng Afrika, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Indo-Australia. Ada juga lempeng yang lebih kecil yang kita sebut lempeng mikro. Lempeng-lempeng ini dahulu merupakan bagian dari lempeng yang lebih besar (Gambar 4.5).

Lempeng-lempeng ini bergerak perlahan dan terapung di seluruh permukaan mantel bumi, mereka bergerak dengan kecepatan dan arah yang berbeda, seperti es batu di dalam air lempeng-lempeng tersebut bergerak mengikuti peredaran magma di dalam bumi. Pada kenyataannya, lempeng-lempeng ini saling bertubrukan satu dengan yang lainnya, ada yang menelusup melewati lempeng lain bahkan ada juga lempeng-lempeng ini saling menjauh. Proses tubrukan dan menjauh ini disebabkan oleh arus konveksi yang terjadi dari perut bumi, itulah sebabnya dinamika ini seperti mesin penggerak.

Jika ada dua lempeng dengan berat yang berbeda berbenturan satu sama lain, lempeng yang lebih berat dapat menelusup ke

bawah lempeng yang lebih ringan. Proses geologi ini dinamakan tunjaman atau subduksi. Akibat proses subduksi ini menyebabkan adanya zona yang rawan gempa bumi karena tumbukan ke dua lempeng tersebut, mengakibatkan pelepasan energi seperti halnya di daerah selatan Pulau Jawa.

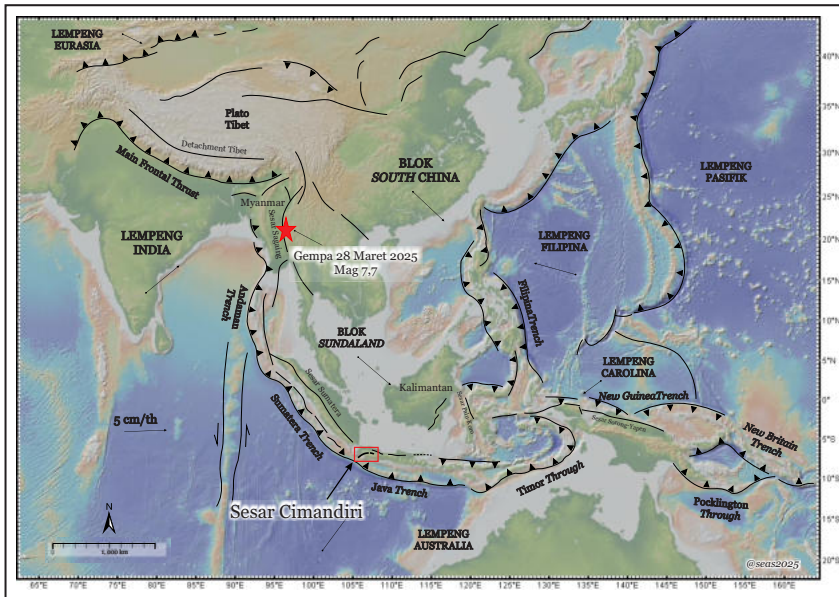
Adapun Lempeng Tektonik yang penting kaitannya dengan wilayah Indonesia ada empat yaitu, Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik, Lempeng Filipina, dan Lempeng Indo-Australia. Selain empat lempeng tersebut, ada bagian dari Lempeng Eurasia yang disebut sebagai Lempeng Sunda sebagai alas sebagian besar bumi Nusantara di bagian barat atau yang lebih dikenal dengan sebutan Tektonik Indonesia Barat. Lempeng Sunda atau nama lainnya *Sundaland* adalah kempeng mikro berukuran kecil dan jika kita melihatnya secara lebih dekat, posisi lempeng tersebut tampak terjepit di antara Lempeng Indo-Australia, Lempeng Filipina, dan Lempeng Pasifik (Gambar 4.5). Meskipun disebut lempeng mikro, titik pertemuan antara Lempeng Sunda dan Lempeng Indo-Australia merupakan daerah tektonik yang penting di Indonesia. Di daerah ini, Lempeng Indo-Australia mengalami



Gambar 4.5 Lempeng-lempeng tektonik di dunia. Wilayah Indonesia terletak di Lempeng Mikro Sunda bagian kecil dari Lempeng Eurasia. Posisi Lempeng Sunda diapit oleh Lempeng indo-Australia, Lempeng Laut Filipina, dan Lempeng Pasifik. Gambar modifikasi dari “Kekayaan Tektonik di Indonesia (Puzzle)”, *Georisk Project Kerjasama Indonesia – Jerman, Badan Geologi (2014)*.

subduksi atau tumbukan ke bawah Lempeng Sunda. Gerakan subduksi/tumbukan ini menyebabkan terjadinya sebagian besar gempa bumi di Indonesia.

Lempeng Sunda yang didefinisikan sebagai lempeng mikro tunggal masih disebut sebagai bagian dari Lempeng Eurasia (Gambar 4.6). Di sepanjang pantai barat Pulau Sumatera dan pantai selatan Pulau Jawa, Lempeng Indo-Australia mensubduksi ke bawah Lempeng Sunda dan membentuk *Sunda Megathrust*. Di daerah ini, kedua lempeng mengait satu sama lain. Ketika masing-masing lempeng bergerak ke arah yang berbeda, batuan terus menekuk sampai kekuatannya menjadi sangat luar biasa



Gambar 4.6. Topografi dan sesar aktif utama (*major structure*) di Asia Timur dan Tenggara serta keterdapatan Lempeng Mikro Sunda (*Sundaland*) dalam zona konvergen tiga lempeng besar Eurasia, Filipina, dan Indo-Australia. Panah hitam menandakan pergerakan relatif masing-masing lempeng. Tanda Bintang merah merupakan pusat gempa Myanmar 28 Maret 2025 Magnitudo 7,7. Sedangkan kotak merah merupakan Zona Sesar Cimandiri. Batas lempeng dan sesar utama diambil dari Metcalfe (2011) dan peta dasar dari www.geomapapp.org / CC BY Ryan dkk., 2009.

dan mengeluarkan energi yang sangat kuat tiba-tiba pecah. Proses inilah yang kemudian menimbulkan gempa bumi.

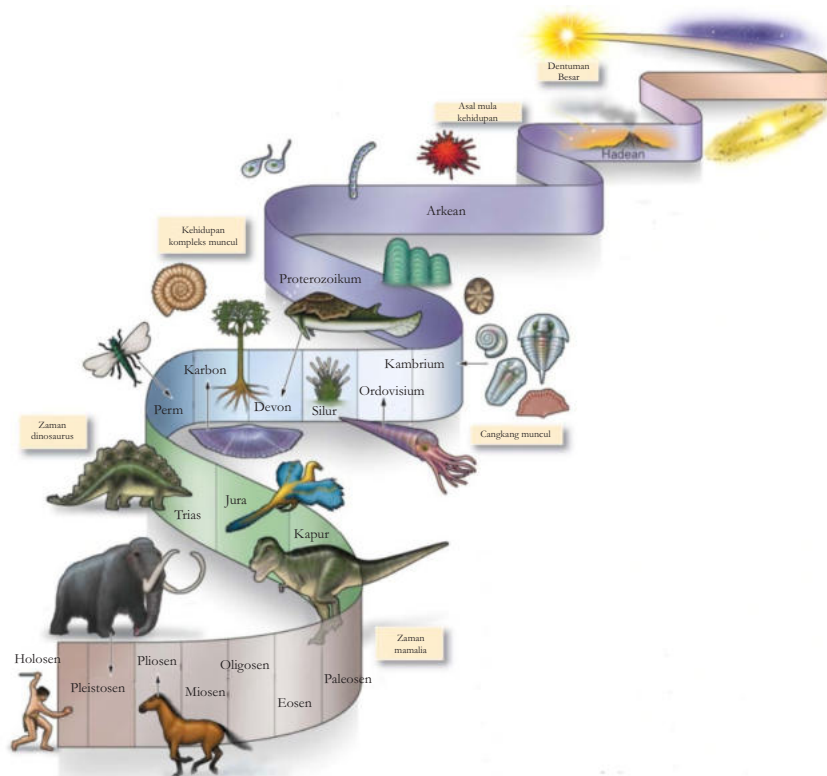
Dalam tatanan tektonika Indonesia, wilayah yang dilalui Sesar Cimandiri terletak di sistem tektonik Indonesia Bagian Barat, wilayah Indonesia Bagian Barat ini dipengaruhi oleh dua lempeng yaitu Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Sunda. Pergerakan tektonik ke dua lempeng ini menimbulkan fenomena di permukaan bumi, seperti retakan, lipatan, lekukan, dan sesar-sesar di wilayah Indonesia Bagian Barat termasuk di daerah Sukabumi, Cianjur, Bandung dan sekitarnya. Sesar-sesar yang terbentuk tersebut juga dapat menimbulkan gempa bumi yang dikenal dengan sesar aktif.

Selanjutnya wilayah yang dilalui oleh Sesar Cimandiri biasa disebut Priangan Barat (Sukabumi, Cianjur, dan Bandung) terletak di bagian barat Pulau Jawa tepatnya di Provinsi Jawa Barat, Pulau Jawa ini merupakan pulau yang sebagian besar terbentuk dari aktivitas vulkanik. Gunung-gunung api berderet membentuk jajaran dan membentang dari timur hingga barat dibagian tengah pulau ini dan terdapatnya dataran endapan aluvial di bagian utaranya yaitu daerah Pantura Jawa. Bentuk Pulau Jawa dalam skala waktu geologi dapat terlihat pada akhir zaman Pliosen dan awal zaman Pleistosen bawah yaitu sekitar 700.000 tahun lalu. Adanya aktivitas tektonik di dalam bumi yang dipengaruhi oleh gerak-gerak Lempeng Tektonik menyebabkan terbentuknya rangkaian gunung berapi besar dan masih aktif sampai saat ini termasuk Gunung Gede-Pangrango di sebelah utara daerah Cianjur.

Sejarah geologi pembentukan atau ***Timeline Pulau Jawa*** tidak terlepas dari pembentukan Lempeng mikro Sunda (*Sundaland*) seperti dibahas sebelumnya. *Timeline* tersebut berlangsung sejak jutaan tahun lalu karena adanya proses geologi, dan bentuk *Sundaland*, khususnya Pulau Jawa berada pada posisi dan bentuk

berbeda-beda yang digambarkan dalam peta paleogeografi *Sundaland* (Gambar 4.9).

Bumi yang kita pijak ini telah mengalami evolusi (Gambar 4.7) dalam skala waktu geologi, yang menggambarkan perkembangan berbagai bentuk kehidupan dari awal pembentukan Bumi hingga saat ini. Ilustrasi ini mencakup periode-periode geologi penting, seperti Arkean, Proterozoik, dan Fanerozoik, serta peristiwa-peristiwa besar seperti munculnya organisme bersel satu, perkembangan hewan dan tumbuhan kompleks, serta kepunahan massal yang mempengaruhi biodiversitas. Modifikasi dari sumber Marshak (2013) ini memberikan wawasan tentang



Gambar 4.7 Evolusi sejarah kehidupan di bumi dalam skala waktu geologi (Modifikasi dari Marshak, 2013).

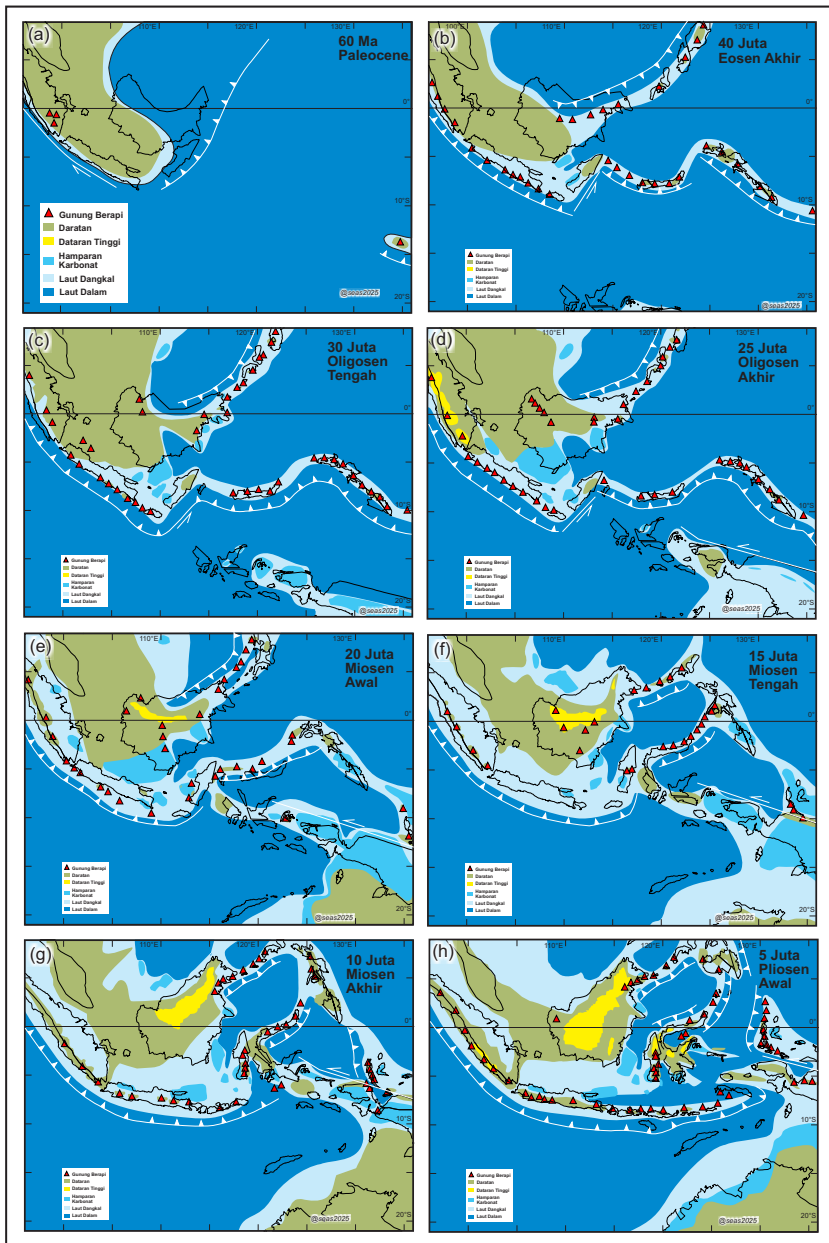
bagaimana kehidupan di Bumi telah berevolusi dan beradaptasi terhadap perubahan lingkungan selama miliaran tahun.

Evolusi sejarah Bumi tersebut dapat digambarkan dengan paleogeografi. Adapun penjelasan singkat dari paleogeografi secara regional Pulau Jawa (Gambar 4.8) sebagai berikut; selama Kapur Akhir dan Kenozoikum Awal terdapat kerak samudra proto-Laut Cina Selatan di sebelah utara tanjung *Sundaland*, dengan batas pasif (tidak adanya kegiatan subduksi) di sisi selatannya (Gambar 4.9a sampai h). Di sebelah selatan dan timur terdapat kerak samudera lempeng Australia. Pada saat ini kepulauan Nusantara belum terbentuk secara utuh.

Ilmu geologi adalah kunci ajaib yang membuka gerbang waktu, membawa kita menjelajahi lapisan sejarah bumi yang terkurung dalam batuan. Dengan ilmu geologi, kita bisa bepergian melintasi zaman, seolah-olah mengarungi ribuan tahun hingga jutaan tahun lalu dan menyaksikan metamorfosis bumi dari singkapan batuan. Gerakan tektonika di Sesar Cimandiri bagaikan tarian dinamis, dengan lempeng-lempeng yang berputar, bergeser, dan berjalan seperti awan yang menakjubkan namun penuh risiko. Ketika Sesar Cimandiri meluncurkan energinya, bumi seolah berseru, menciptakan gempa yang bisa mengubah peta dan nasib ribuan manusia dalam sekejap.

4.3 Tektonika Kepulauan Indonesia

Tektonik Lempeng merupakan teori yang menjelaskan dinamika kulit bumi terluar yang dikenal sebagai litosfer. Menurut teori ini, litosfer terdiri dari tujuh lempeng utama dan beberapa lempeng kecil yang sering disebut sebagai Super-benua Pangea, yang dalam bahasa Yunani berarti "semua daratan." Lempeng-lempeng kulit bumi ini memiliki ketebalan antara 10 hingga 50 kilometer dan bergerak satu sama lain dengan kecepatan sekitar 2 sentimeter per tahun. Terdapat tiga jenis gerakan pada batas antarlempeng, yakni konvergensi, divergensi, dan sesar transformasi.



Gambar 4.9. Paleogeografi Lempeng Mikro Sunda (*Sundaland*). Gambar paleogeografi modifikasi dari Hall (2002, 2009 dan 2012).

Kepulauan Indonesia terbentuk dari kumpulan lempeng-lempeng tektonik mikro yang disatukan oleh konvergensi tiga lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Hindia-Australia dari arah tenggara, Lempeng Eurasia dari arah utara, dan Lempeng Samudera Pasifik-Filipina dari arah timur. Konvergensi tepian lempeng utama di Indonesia membentuk sistem busur kepulauan vulkanik dan palung laut dalam yang aktif, yang sering disebut sebagai Busur Sunda - Busur Banda. Busur-busur ini menunjukkan morfologi berupa tinggian bawah laut pada bagian luar, palung, tinggian busur luar, cekungan busur luar, busur vulkanik, dan cekungan busur belakang.

Namun demikian, hingga saat ini, berbagai tulisan yang membahas tektonika Indonesia menunjukkan adanya perbedaan antara Indonesia bagian barat dan Indonesia bagian timur, yang mengarah pada pemahaman mengenai adanya ketertiban dan ketidakteraturan geodinamika di kedua wilayah tersebut. Jika diteliti dengan lebih teliti, kepulauan Indonesia secara tektonik dapat dibagi menjadi tiga wilayah lempeng tektonik, yaitu Indonesia Barat, Indonesia Tengah, dan Indonesia Timur.

Di Indonesia Barat, Paparan Sunda berperan sebagai inti benua, dicirikan oleh tektonik subduksi Lempeng Samudera Hindia yang berada di bawah Lempeng Eurasia, dengan sistem subduksi frontal di selatan Jawa dan subduksi miring diagonal di sebelah barat Sumatera. Sistem subduksi ini membentang dari sebelah selatan Sumba hingga Burma di utara, melalui Jawa, Sumatera, Tinggian Andaman-Nicobar, hingga Tinggian Indo-Burma.

Indonesia Tengah dipisahkan dari Indonesia Barat oleh Selat Makassar di sebelah barat, palung-palung Busur Nusa Tenggara-Banda di sebelah selatan, Kepulauan Halmahera-Sangihe di sebelah timur, serta Laut Sulawesi di sebelah utara. Indonesia Tengah diperkaya dengan kehadiran fragmen-fragmen benua mikro dan fragmen-fragmen kerak samudera yang saling berpapasan dan berinteraksi, seperti yang dicirikan oleh Sulawesi

dan Busur Banda. Di sisi lain, Indonesia Timur dengan Paparan Aru berfungsi sebagai inti benua yang didominasi oleh tektonik benturan antara Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik-Filipina, dan Lempeng Samudera Hindia-Australia.

4.4 Sejarah Geologi dan Perkembangan Tektonik Pulau Jawa dilihat dari Bidang Ilmu Paleogeografi

Paleogeografi adalah studi tentang sejarah geografis dan lingkungan bumi dari waktu ke waktu, terutama berkaitan dengan perubahan posisi benua, lautan, dan iklim. Pulau Jawa, yang terletak di bagian tengah Indonesia, memiliki sejarah geologi yang kaya dan kompleks yang dipengaruhi oleh berbagai proses tektonik.

Asal-usul dan Pembentukan Pulau Jawa :

Pulau Jawa adalah bagian dari busur kepulauan Sunda yang terbentuk akibat subduksi lempeng Indo-Australia di bawah lempeng Eurasia. Proses ini dimulai pada periode Mesozoikum, sekitar 200 juta tahun yang lalu, ketika lempeng Indo-Australia mulai bergerak ke arah utara dan menekan lempeng Eurasia. Subduksi ini menghasilkan aktivitas vulkanik yang intens dan pembentukan busur kepulauan yang kini dikenal sebagai Indonesia.

Pada periode Paleogen (66-23 juta tahun yang lalu), Pulau Jawa mulai muncul sebagai daratan yang terpisah dari benua Asia. Aktivitas tektonik yang berlangsung terus menerus menyebabkan peningkatan dan penurunan permukaan tanah, mengubah bentuk dan ukuran pulau dari waktu ke waktu. Pada periode Neogen (23-2,6 juta tahun yang lalu), Pulau Jawa mengalami peningkatan aktivitas vulkanik dan tektonik yang menghasilkan pegunungan dan dataran tinggi.

Era Vulkanik dan Pembentukan Gunung Berapi:

Pulau Jawa dikenal karena keberadaan gunung berapi aktifnya, seperti Gunung Merapi, Gunung Semeru, dan Gunung Bromo. Aktivitas vulkanik ini telah berlangsung selama jutaan tahun, dengan periode letusan yang bervariasi. Pada era Pleistosen (2,6 juta - 11.700 tahun yang lalu), aktivitas vulkanik mencapai puncaknya, menghasilkan beberapa gunung berapi besar yang masih aktif hingga saat ini.

Gunung-gunung berapi ini tidak hanya membentuk lanskap pulau tetapi juga mempengaruhi ekosistem dan kehidupan masyarakat sekitar. Letusan gunung berapi menghasilkan material vulkanik yang menyuburkan tanah, menjadikannya cocok untuk pertanian. Namun, letusan juga dapat menyebabkan kerusakan signifikan pada infrastruktur dan kehidupan penduduk setempat.

Sesar Cimandiri dan Aktivitas Tektonik:

Sesar Cimandiri merupakan salah satu sesar aktif di Pulau Jawa yang membentang dari Teluk Palabuhanratu hingga wilayah Bandung. Aktivitas tektonik di sepanjang sesar ini telah menghasilkan sejumlah fenomena geologi penting, termasuk gempa bumi yang berdampak besar pada infrastruktur dan kehidupan penduduk.

Pergerakan lempeng di bawah Pulau Jawa berkontribusi pada pembentukan pegunungan dan gunung berapi yang tersebar di seluruh pulau. Aktivitas tektonik ini juga mempengaruhi pola aliran sungai, formasi batuan, dan struktur geologi lainnya.

Paleogeografi dan Perkembangan Ekosistem:

Perubahan paleogeografi Pulau Jawa selama jutaan tahun telah mempengaruhi perkembangan ekosistem di pulau ini. Aktivitas tektonik dan vulkanik menciptakan berbagai habitat, dari dataran rendah yang subur hingga pegunungan yang tinggi. Keanekaragaman hayati di Pulau Jawa sangat dipengaruhi oleh sejarah geologinya.

Studi paleogeografi juga penting untuk memahami risiko gempa bumi dan letusan gunung berapi serta untuk merencanakan mitigasi bencana yang efektif. Pemahaman tentang sejarah geologi dan perkembangan tektonik Pulau Jawa dapat membantu dalam upaya konservasi dan pengelolaan sumber daya alam.

Paleogeografi Pulau Jawa adalah perjalanan panjang yang mencerminkan dinamika tektonik dan vulkanik yang kompleks. Dari pembentukan awal akibat subduksi lempeng hingga era vulkanik yang menghasilkan gunung berapi aktif, sejarah geologi pulau ini telah membentuk lanskap dan ekosistem yang unik. Studi paleogeografi tidak hanya memberikan wawasan tentang masa lalu bumi tetapi juga membantu dalam memahami dan menghadapi tantangan geologi di masa depan.

Penjelasan Gambar 4.9:

- a. Paleogeografi pada 60 juta tahun lalu - Paleosen. Sebagian besar *Sundaland* muncul ke permukaan dan mungkin ada bagian interior yang relatif tinggi. Ada busur vulkanik di tepi timur *Sundaland* di Sulawesi Barat dan Sumba.

Sejarah Geologi Pulau Jawa pada Zaman Paleosen (60 Juta Tahun Lalu)

Pada zaman Paleosen sekitar 60 juta tahun lalu, Pulau Jawa dan wilayah sekitarnya merupakan bagian dari *Sundaland*, sebuah paparan benua yang luas. Sebagian besar *Sundaland* muncul ke permukaan dengan bagian interior yang relatif tinggi. Aktivitas tektonik di *Sundaland* pada periode ini menghasilkan busur vulkanik yang terletak di tepi timur paparan benua, termasuk di Sulawesi Barat dan Sumba.

Proses subduksi yang terjadi di sepanjang batas lempeng tektonik menyebabkan pembentukan gunung berapi dan pegunungan di wilayah tersebut. Pengangkatan dan penurunan permukaan tanah akibat aktivitas tektonik ini turut membentuk lanskap awal Pulau Jawa dan sekitarnya.

Seiring waktu, berbagai proses geologi seperti erosi, sedimentasi, dan aktivitas vulkanik terus menerus mengubah bentuk dan struktur wilayah ini, menciptakan fondasi bagi perkembangan geologi yang lebih lanjut di wilayah Jawa.

Paleogeografi pada masa ini memegang peranan penting dalam pembentukan ekosistem dan lanskap geologi yang beragam di Pulau Jawa. Studi mengenai perubahan paleogeografi di masa lalu memberikan pemahaman yang lebih baik tentang dinamika geologi dan risiko bencana alam di masa sekarang serta membantu dalam upaya mitigasi bencana dan pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan. Sekitar 45 juta tahun lalu, Australia mulai bergerak ke utara dan batas subduksi terbentuk di sekitar *Sundaland*. Sebagian besar *Sundaland* muncul dan beberapa sungai besar mengalir ke selatan dan timur dengan mengendapkan sedimen klastik di sebagian besar Jawa dan Kalimantan Tenggara (Gambar. 4.9a).

- b. Paleogeografi pada 40 juta tahun lalu - Eosen Akhir. Subduksi dilanjutkan di sekitar sebagian besar *Sundaland* pada Eosen Tengah dan cekungan sedimen baru diisi terutama oleh sedimen terestrial. Selat Makassar telah menjadi celah laut- (*oceanic rift*) yang signifikan di tepi timur *Sundaland*, mengisolasi Sulawesi Barat. Dari Eosen Akhir, aktivitas vulkanik di Sumatera berada di tepi benua *Sundaland*, sedangkan di Jawa aktivitas vulkanik lepas pantai dan bawah laut, atau terkait dengan pulau-pulau kecil agak jauh dari benua (Gambar 4.9b). Busur Sunda mungkin dipengaruhi aktivitas vulkanik dari segmen margin Sulawesi Barat dan berlanjut ke timur melalui Sulawesi Utara hingga busur Filipina Timur hingga Halmahera. Sejak Eosen, Selat Makassar merupakan pembatas utama ke arah timur antara benua *Sundaland* dan daerah-daerah yang muncul di Sulawesi Barat. Sepanjang periode ini terdapat celah samudra yang lebar dan perairan dalam yang memisahkan *Sundaland* dan Sulawesi Barat dari *Sula Spur* dan batas utara Australia di New Guinea di mana

terdapat pengendapan karbonat laut dangkal yang tersebar luas (Gambar 4.9 (c), (d)). Pasti ada palung yang dalam di sepanjang tepi timur *Sundaland* yang membentang hingga ke Pasifik Barat.

Adanya kompleks melange di Teluk Ciletuh, yaitu zona pencampuran antara batuan kerak samudera dengan batuan kerak benua yang terdiri dari batuan metamorf, vulkanik, dan batuan beku, menunjukkan kondisi geologi yang unik dan rumit di Jawa Bagian Barat. Kompleks ini diduga sebagai bagian zona penunjaman ke arah Jawa Tengah hingga menerus ke arah Meratus (Kalimantan).

- c. Paleogeografi wilayah pada 30 juta tahun lalu. Meskipun sebagian besar *Sundaland* muncul, kemungkinan topografi jauh lebih rendah dibandingkan dengan sebelumnya di Kenozoikum. Sungai-sungai mengangkut sedimen klastik yang didaur ulang ke cekungan internal dan tepi benua. Di *Sunda Shelf* terdapat danau-danau air tawar besar, yang tidak terhubung dengan lautan, yang ditunjukkan dalam warna yang berbeda dari lautan dengan salinitas normal.

Pada kala Oligosen Awal ditandai oleh ketidakselarasan pada puncak Gunung Walat berupa batupasir kwarsa (Effendi *dkk*, 2011), yang menunjukkan suatu tektonik pengangkatan (*uplift*) diseluruh daerah Jawa Bagian Barat. Proses geologi berlangsung terus hingga kala Oligosen Akhir diawali dari transgresi muka laut dari tenggara ke arah barat laut dan menyebabkan *Bogor Trough* yang berkembang di tengah Jawa Bgian Barat yang memisahkan paparan Sunda utara dan selatan. Semenjak Kala Oligosen Awal peristiwa pengangkatan berlangsung hingga Miosen Awal bersamaan dengan aktivitas vulkanik yang menghasilkan struktur lipatan dan sesar dengan arah barat daya – timur laut. Salah satu sesar besar di Jawa Bagian Barat adalah Sesar Cimandiri yang berjenis sesar naik pada kala Miosen Awal dan pada Pliosen

Akhir mengalami pensesaran mendatar (Dardji *dkk.*, 1994; Clements *dkk.*, 2009; Effendi *dkk.*, 2011; Supartoyo *dkk.*, 2013; Marliyani *dkk.*, 2016).

- d. Paleogeografi wilayah pada 25 juta tahun lalu. Di *Sunda Shelf*, danau-danau (ditunjukkan dengan warna yang berbeda) secara bergantian terhubung dengan laut dan bersifat payau. *Sula Spur* akan bertabrakan dengan busur vulkanik Lengan Utara Sulawesi yang mengakibatkan penempatan dan pengangkatan ophiolit, serta menjadi bagian pertama dari benua Australia yang menghubungkan Australia dan Asia Tenggara, meskipun tidak ada koneksi darat yang berkelanjutan.

Proses geologi yang terjadi pada saat itu melibatkan pengurangan signifikan aliran air dari Pasifik ke Samudra Hindia, yang memberikan dampak pada pola sedimentasi dan pembentukan lanskap di sekitar Pulau Jawa. Selain itu, sebagian besar *Wallacea*, wilayah di antara Sulawesi dan *Bird's Head*, merupakan lokasi deposisi karbonat laut dangkal dan kemungkinan telah muncul di beberapa area.

- e. Paleogeografi wilayah pada 20 juta tahun lalu. Ada intrusi laut yang signifikan ke atas *Sunda Shelf* dan area luas pembentukan karbonat di seluruh wilayah dikerak dangkal yang lebar. Borneo menjadi sumber penting sedimen klastik yang mulai mengalir ke cekungan lepas pantai yang dalam di utara, timur, dan tenggara. Kemungkinan aliran air dari Pasifik ke Samudra Hindia berkurang secara signifikan dari 20 juta tahun yang lalu hingga setelah 10 juta tahun yang lalu. Sebagian besar *Wallacea* antara Sulawesi dan Kepala Burung adalah lokasi deposisi karbonat laut dangkal dan mungkin telah muncul di beberapa area.

Sejarah Geologi Pulau Jawa pada 20 Juta Tahun Lalu:

Pada sekitar 20 juta tahun yang lalu, wilayah Pulau Jawa masih menjadi bagian dari paparan benua besar yang

dikenal sebagai *Sundaland*. Paleogeografi pada masa ini menunjukkan adanya intrusi laut yang signifikan ke atas *Sunda Shelf* dan area luas pembentukan karbonat di seluruh wilayah kerak dangkal yang lebar. Kalimantan mulai menjadi sumber penting sedimen klastik yang mengalir ke cekungan lepas pantai di utara, timur, dan Tenggara.

Perubahan-perubahan ini memberikan fondasi penting bagi perkembangan geologi Pulau Jawa. Aktivitas tektonik dan vulkanik yang intens terus membentuk lanskapnya, menciptakan berbagai fitur geologi yang menjadi ciri khas Pulau Jawa hingga hari ini.

- f. Paleogeografi wilayah pada 15 juta tahun lalu. Segera setelah 15 juta tahun lalu, zona subduksi Palung Jawa mulai menyebar ke timur saat ia merobek sepanjang batas benua-laut di selatan *Sula Spur* dan Kepala Burung. *Rollback* dari engsel subduksi menyebabkan perpanjangan besar di Sulawesi dan memfragmentasi *Sula Spur*.
- g. Paleogeografi wilayah pada 10 juta tahun lalu. Penarikan mundur subduksi sudah berlangsung dengan baik dan perpanjangan di Sulawesi menyebabkan aktivitas vulkanik, penurunan di Teluk Bone, dan pembentukan kerak samudera di Laut Banda Utara. Borneo sekarang merupakan area yang sangat muncul dan terangkat. *Wallacea* mungkin memiliki palaeogeografi yang jauh lebih kompleks daripada yang ditunjukkan karena *Sulu Spur* terfragmentasi. Perhatikan bahwa fragmentasi ini bukan hasil pemotongan fragmen dari Kepala Burung tetapi didorong oleh mundurnya engsel subduksi ke dalam teluk Banda.

Sekitar 10 juta tahun lalu, bentukan rupa bumi *Sundaland* sudah mulai terlihat (Gambar 4.9 (g)), sedangkan kepulauan di sebelah timur dari *Sundaland* belum terbentuk seutuhnya. Proses geologi berlangsung hingga terjadi lagi reorganisasi lempeng-lempeng bumi.

- h. Paleogeografi wilayah pada 5 juta tahun lalu. Cekungan oseanik dalam yang baru telah terbentuk di seluruh Wallacea. Penyebaran oseanik di Laut Banda Utara telah berhenti tetapi telah dimulai di Laut Banda Selatan. Pendalaman Laut Flores diduga terjadi. Pada saat yang sama, elevasi yang substansial dan cepat dimulai di Sulawesi, saat *rollback* dimulai di Palung Sulawesi Utara yang mendorong pembentukan kompleks inti di leher dan Lengan Timur, tetapi Teluk Goontalo akan tenggelam ke kedalaman saat ini hingga 2 km di bawah permukaan laut. Peninggian hampir dimulai di Timor ketika busur vulkanik Banda bertabrakan dengan margin kontinental Australia di Timor. Lima juta tahun terakhir telah melihat perubahan signifikan dalam paleogeografi serta pengangkatan dan penurunan yang dramatis. Seram dan Timor adalah dua pulau terbesar di wilayah Banda yang muncul dalam interval ini.

Sejarah Geologi Pulau Jawa dari 5 Juta Tahun Lalu hingga Sekarang

Periode waktu 5 juta tahun terakhir memainkan peran penting dalam pembentukan geologi Pulau Jawa. Berbagai aktivitas tektonik dan vulkanik telah mengubah lanskapnya secara signifikan, membentuk fitur-fitur yang kita kenal saat ini.

Periode Awal (5 juta tahun lalu)

Pada periode ini, Jawa mengalami peningkatan aktivitas vulkanik dan aktivitas tektonik intensif di sepanjang Palung Jawa. Peninggian signifikan di Sumatera dan Jawa dimulai, dengan Pegunungan Barisan di Sumatra mulai terangkat secara progresif.

Proses Tektonik dan Vulkanik

Aktivitas tektonik di Jawa terutama ditandai oleh aktivitas sesar

dan penunjaman. Sesar Cimandiri, misalnya, merupakan salah satu sesar besar di Jawa Barat yang berjenis sesar naik pada kala Miosen Awal dan mengalami pensesaran mendatar pada Pliosen Akhir. Sesar ini membentang dari Teluk Palabuhanratu ke timur melalui Lembah Cimandiri hingga ke Cianjur dan Bandung Barat.

5 Juta Tahun Lalu - Pliosen

Pada masa ini, terjadi peningkatan elevasi yang signifikan dan cepat di Sulawesi, yang mendorong pembentukan kompleks inti di leher dan Lengan Timur. Teluk Gorontalo mengalami penurunan hingga 2 km di bawah permukaan laut. Sementara itu, peninggian hampir dimulai di Timor ketika busur vulkanik Banda bertabrakan dengan margin kontinental Australia di Timor.

Periode 5 Juta Tahun Terakhir

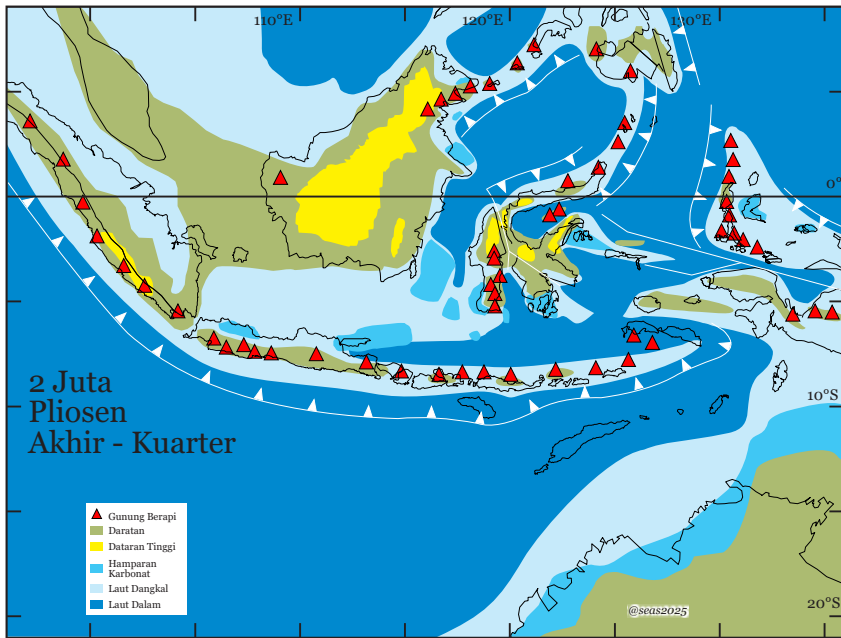
Lima juta tahun terakhir telah melihat perubahan signifikan dalam paleogeografi serta pengangkatan dan penurunan yang dramatis. Seram dan Timor adalah dua pulau terbesar di wilayah Banda yang muncul dalam interval ini. Di bagian Jawa, khususnya Jawa Timur, proses pengendapan laut berlanjut hingga akhir Pliosen atau bahkan Pleistosen.

Paleogeografi Pulau Jawa dan Wilayah Indonesia dari Kurun Waktu Kuartar hingga Saat Ini

Seperti dijelaskan sebelumnya, paleogeografi adalah ilmu yang mempelajari kondisi dan perubahan permukaan bumi pada masa lalu. Memahami paleogeografi Indonesia, khususnya wilayah Pulau Jawa, sejak periode Kuartar sekitar 2 juta tahun lalu hingga masa kini sangat penting untuk mengungkap evolusi geografis, iklim, dan proses geologi yang membentuk wilayah ini (Gambar 4.10).

Periode Kuartar dan Kondisi Geografis Awal

Kurun waktu Kuartar, yang meliputi Pleistosen dan Holosen,



Gambar 4.10 Paleogeografi wilayah Nusantara dari kurun Kuartar (2 juta tahun lalu) sampai sekarang modifikasi dari Hall (2002, 2009 dan 2012).

merupakan periode paling baru dalam sejarah bumi. Pada awalnya, sekitar 2 juta tahun lalu, kawasan Indonesia, termasuk Pulau Jawa, mengalami kondisi geografis yang sangat berbeda dengan sekarang. Pada masa ini, daratan utama Asia dan Australia mulai menunjukkan peningkatan interaksi melalui proses tektonik yang aktif. Pulau Jawa, sebagai bagian dari rangkaian busur kepulauan aktif, telah mengalami perubahan besar dalam posisi dan bentuknya akibat aktivitas tektonik yang intens.

Perubahan Paleogeografi selama Pleistosen

Selama periode Pleistosen, yang dikenal sebagai zaman Glasial dan Interglasial, terjadi fluktuasi iklim yang signifikan. Menurut Hall (2002, 2009 dan 2012) perubahan iklim ini menyebabkan kenaikan dan penurunan muka air laut yang drastis, sehingga banyak daerah yang saat ini menjadi daratan terendam laut,

sementara wilayah lain menjadi daratan terbuka. Pulau Jawa pada waktu ini mulai terbentuk dari proses akresi vulkanik aktif dan tektonik lempeng yang mendorong material material vulkanik ke permukaan. Daerah dataran rendah mulai terbentuk di sekitar cekungan dan lembah-lembah hasil tektonik ini.

Periode Holosen dan Kondisi Sekarang

Sejak sekitar 11.000 tahun yang lalu, masa Holosen menandai periode interglasial yang relatif hangat dan stabil. Pada masa ini, proses tektonik di wilayah Indonesia, termasuk Pulau Jawa, terus berlangsung, membentuk topografi yang kita kenal saat ini. Banyak gunung berapi aktif seperti Gunung Merapi dan Gunung Semeru terbentuk dari aktivitas vulkanik yang berkelanjutan. Pergerakan Lempeng Indo-Australia dan Eurasia menyebabkan deformasi kerak bumi, menciptakan fitur-fitur geologi khas Indonesia seperti sesar, cekungan sedimen, dan gunung berapi.

Pengaruh Tektonik dan Aktivitas Vulkanik

Dinamika tektonik yang berlangsung di kawasan ini sangat berpengaruh terhadap perkembangan paleogeografi Indonesia. Proses subduksi Lempeng Indo-Australia di bawah Lempeng Eurasia menyebabkan pembentukan kawasan busur vulkanik dan gunung berapi aktif. Selain itu, aktivitas sesar dan deformasi kerak bumi menghasilkan struktur geologi yang kompleks dan berkontribusi terhadap kejadian gempa bumi dan letusan gunung berapi.

Dari kurun waktu Kuartar hingga saat ini, wilayah Pulau Jawa dan Indonesia mengalami perubahan signifikan yang dipengaruhi oleh aktivitas tektonik, vulkanisme, dan fluktuasi iklim. Perubahan ini membentuk topografi, iklim, serta ekosistem yang ada sekarang. Studi paleogeografi seperti yang diulas oleh Hall (2002, 2009 dan 2012) sangat penting dalam memahami proses evolusi wilayah ini, serta segera mempersiapkan semua perangkat mitigasi bencana alam wilayah yang di lalui oleh Sesar Cimandiri di masa



Pantai Teluk Ciletuh, Sukabumi

@seas 2025



BAB 5. APA ITU SESAR AKTIF? APAKAH SESAR CIMANDIRI AKTIF?

Sesar Cimandiri adalah detak jantung bumi yang tak pernah berhenti, selalu aktif dan dinamis, mengguncang ketenangan saat energi terakumulasi siap meledak. Sesar Cimandiri bagaikan raksasa tertidur yang siap terbangun, mengubah keadaan secara tiba-tiba ketika ia bergerak dengan kekuatan yang tak terduga. Ketika Sesar Cimandiri bergerak, dunia bergetar, menciptakan gempa yang dapat mengguncang seluruh wilayah dalam hitungan detik, memberi tahu kita bahwa ia adalah sesar yang aktif dan tak terduga.

Dengan penjelasan dan bukti yang tersaji di bab ini, layaknya sebuah petunjuk yang terang benderang menuntun jalan, menunjukkan bahwa Sesar Cimandiri adalah salah satu sesar yang sangat aktif dan dinamis. Seperti sebuah panggung yang selalu bergoyang dan bergejolak, aktivitasnya menjadi saksi bisu dari kekuatan alam yang tak pernah berhenti bergerak, mengingatkan kita akan kedahsyatan dan kehebatan proses geologi yang terus berlangsung di bawah kaki kita.

5.1 Pengertian Sesar Aktif

Sesar atau patahan aktif umumnya didefinisikan sebagai sesar yang telah bergerak di masa lalu dan akan tetap aktif di masa depan. Sesar ini diperkirakan akan menyebabkan deformasi dan potensi bencana jika terletak dekat dengan aktivitas manusia. Definisi dan klasifikasi sesar aktif merupakan dasar penting untuk mengevaluasi risiko.

Sesar aktif merupakan hasil dari deformasi litosfer atau kerak bumi yang disebabkan oleh aktivitas tektonik saat ini, yang mengakibatkan reaktivasi sesar lama atau munculnya pergerakan sesar baru. Sebagai sumber utama gempa bumi merusak, sesar aktif menandakan potensi risiko bahaya patahan/sesar dan bahaya kegempaan. Bahaya-bahaya tersebut meliputi retakan permukaan, longsor, tanah longsor, jatuhnya batu, longsor salju untuk di wilayah non-tropis dan mempunyai musim salju, danau tergenang, longsor lumpur, dan longsor pasir.

Penurunan tanah, retakan tanah, dan perubahan air tanah, serta pergeseran permukaan dan penurunan tanah yang disebabkan oleh sesar yang bergerak perlahan. Fenomena ini merupakan ancaman kerusakan serius bagi fasilitas transportasi penting, lokasi bendungan air pembangkit

tenaga listrik, pembangkit listrik tenaga nuklir, fasilitas pengolahan limbah nuklir, dan kawasan perkotaan padat penduduk, seperti yang telah dialami oleh beberapa kota di Indonesia maupun dunia.

Istilah "sesar atau patahan aktif" pertama kali diperkenalkan oleh Lawson (1908) setelah gempa bumi San Francisco Mw 7.9 pada tahun 1906. Pada awal abad ke-20, Wood (1916) dan Willis (1923) mendefinisikan sebuah sesar sebagai pergeseran aktif jika memiliki empat atribut dasar berikut:

1. Pergeseran permukaan pada periode seismotektonik saat ini.
2. Kemungkinan dan kecenderungan reaktivasi atau regenerasi pergeseran permukaan di masa depan.
3. Bukti geomorfologis aktivitas modern.
4. Kemungkinan aktivitas seismik yang menyertai.

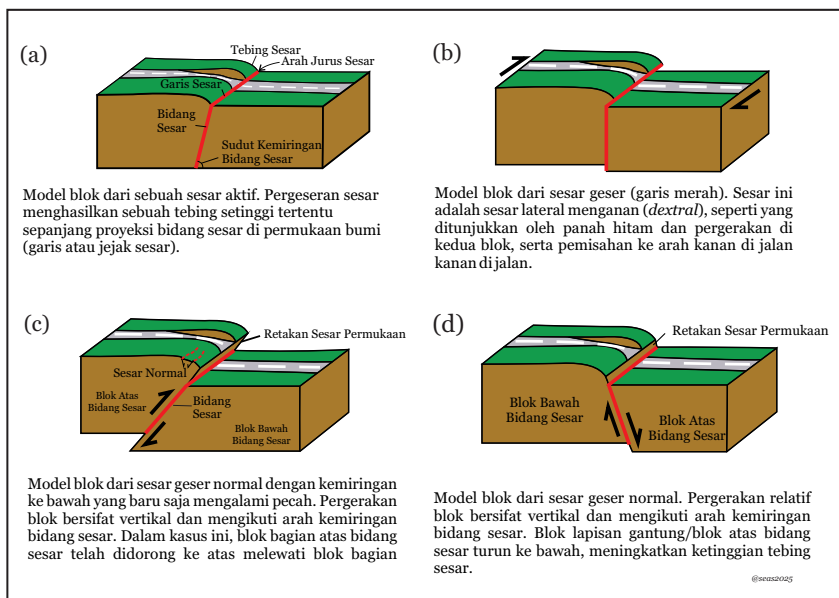
Sedangkan, Slemmons dan McKinney (1977) menyarankan bahwa sesar aktif harus memiliki salah satu dari tiga jenis bukti berikut: "geologi, historis, atau seismik/kegempaan". Secara spesifik, ketika terdapat bukti yang meyakinkan tentang aktivitas pada periode geologi modern dan sedimentasi modern, seperti kipas aluvium atau aluvium yang terpotong atau terdapat pergeseran permukaan pada periode historis, atau terdapat bukti distribusi aktivitas seismik/kegempaan sepanjang sesar.

Matsuda (1977) mendefinisikan sesar aktif sebagai "sesar yang telah aktif berulang kali pada periode Kuartar atau Kuartar akhir dan mungkin aktif kembali di masa depan". Peneliti lainnya, Allen dkk. (1974) menetapkan batas waktu 100.000 tahun untuk mengidentifikasi sesar aktif untuk pertama kalinya.

Menurut Keller dan Pinter (1996), sesar adalah retakan atau zona retakan sepanjang batuan yang saling bergerak. Gerakan ini dapat terjadi dengan cepat, dalam bentuk gempa bumi atau dapat terjadi perlahan, dalam bentuk *creep* atau rayapan. Sesar atau patahan dapat memiliki panjang mulai dari beberapa milimeter hingga ribuan kilometer. Sebagian besar sesar menghasilkan perpindahan berulang selama waktu geologi. Selama gempa bumi, batuan di satu sisi patahan tiba-tiba tergelincir relatif terhadap sisi lainnya. Permukaan sesar bisa horizontal atau vertikal atau pada sudut sembarang di antara keduanya.

Sebuah sesar dapat didefinisikan sebagai bidang struktur geologi atau sesar tunggal atau zona sesar dengan banyak sesar di area tertentu. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan oleh Anderson (1951 *dalam* Scholz, 1990), sesar terbentuk akibat tekanan maksimum dan minimum pada bidang batuan. Orientasi dan posisi stres menentukan jenis patahan, ada stres maksimum (σ_1), stres menengah (σ_2), dan stres minimum (σ_3). Sesar normal terbentuk di mana tegangan maksimum (σ_1) berada dalam posisi vertikal. Sesar geser terbentuk di mana tegangan menengah (σ_2) vertikal, sementara sesar balik terbentuk di mana tegangan minimum (σ_3) vertikal.

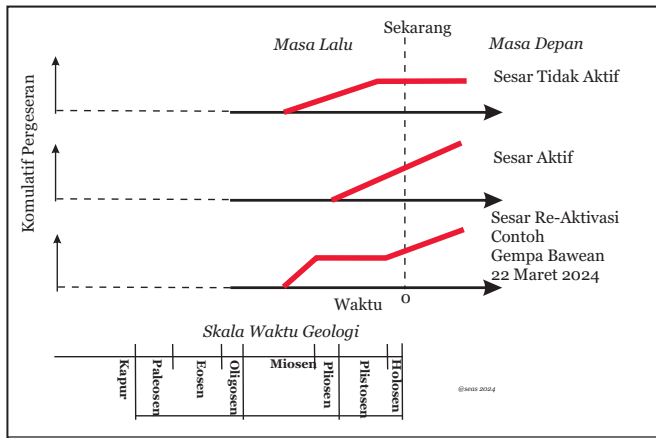
Pada Gambar 5.1 memperlihatkan model blok yang menggambarkan sebuah bidang yang mengalami pergeseran akibat aktivitas sesar aktif. Ilustrasi ini menunjukkan dislokasi vertikal dan horizontal yang terjadi di sepanjang garis sesar, menjelaskan bagaimana tekanan dan pergerakan lempeng tektonik dapat menyebabkan perubahan struktur geologi. Modifikasi gambar dari Langridge, *dkk.* (2014) ini membantu dalam memahami dinamika pergerakan kerak Bumi, serta potensi dampaknya terhadap lanskap dan risiko geologi seperti gempa bumi. Penggambaran ini penting untuk mempelajari perilaku sesar serta merencanakan mitigasi risiko yang mungkin ditimbulkan.



Gambar 5.1 Model blok dari sebuah bidang melalui sesar aktif. Dislokasi vertikal dan horizontal di sepanjang garis sesar. (Modifikasi dari Langridge, dkk, 2014).

Pada Gambar 5.2 menggambarkan pengertian sesar aktif, sesar tidak aktif, dan sesar re-aktivasi berdasarkan penarikan umur geologi. Ilustrasi ini memvisualisasikan perbedaan antara ketiga jenis sesar tersebut:

1. Sesar Aktif adalah sesar yang menunjukkan tanda-tanda aktivitas pergerakan baru-baru ini, biasanya dalam skala waktu geologi yang relatif singkat, dan berpotensi menimbulkan gempa bumi.
2. Sesar Tidak Aktif adalah sesar yang tidak menunjukkan pergerakan selama jangka waktu geologis yang panjang dan diperkirakan tidak akan bergerak lagi dalam waktu dekat.
3. Sesar Re-aktivasi adalah sesar yang sebelumnya tidak aktif tetapi mengalami pergerakan kembali akibat perubahan tekanan atau kondisi geologis yang baru.

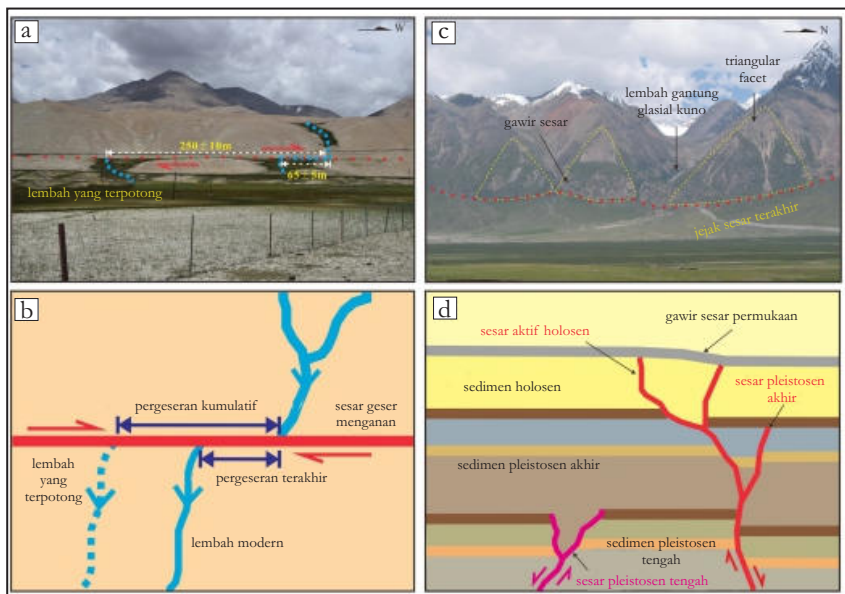


Gambar 5.2 Pengertian sesar aktif, sesar tidak aktif, dan sesar re-aktivasi berdasarkan penarikan umur geologi.

Ilustrasi ini penting untuk memahami dinamika stres dan pergerakan lempeng, serta implikasinya terhadap kegiatan geologi dan mitigasi risiko bencana.

Sesar aktif juga didefinisikan sebagai patahan yang telah bergerak dalam 10.000 tahun terakhir (Klasifikasi Dewan Pertambangan dan Geologi Negara Bagian California, 1973 dalam Keller dan Pinter, 1996). Sesar yang berpotensi aktif adalah sesar yang bergerak dalam 2 juta tahun terakhir, sementara sesar non-aktif adalah kondisi kebalikan dari sesar yang berpotensi aktif. Komisi Regulasi Nuklir AS (dalam Hunt, 1984; Keller dan Pinter, 1996) mendefinisikan sesar aktif sebagai sesar yang telah bergerak dalam 50.000 tahun terakhir atau telah bergerak dua kali dalam 500.000 tahun terakhir. Menurut Huzita, dkk. (1980) dan Keller dan Pinter (1996), sesar aktif adalah sesar yang bergerak pada zaman kuartar dan berpotensi bergerak di masa depan. Dari tiga definisi di atas, sesar aktif dapat didefinisikan sebagai sesar yang telah bergerak pada zaman kuartar dan diaktifkan kembali pada masa kini.

Ilustrasi sesar aktif kenyataan di lapangan dapat dilihat pada Gambar 5.3, yang merupakan diagram skematis yang menunjukkan tanda-tanda bentang alam dari sesar aktif serta



Gambar 5.3 Diagram skematis tanda-tanda bentangalam sesar aktif dan klasifikasi usia sesar aktif berdasarkan tanda-tanda pergeseran batuan di umur Kuartar. (a) Lembah sungai yang tergeser, (b) Morfologi/bentangalam segitiga faset pada zona sesar aktif, (c) pengamatan lembah yang terpotong dari pergeseran sungai, (d) penentuan usia sesar aktif berdasarkan usia endapan yang tergeser (Modifikasi dari Wu dan Hu, 2023).

klasifikasi usia sesar aktif berdasarkan tanda-tanda pergeseran batuan di umur Kuartar, memberikan pemahaman yang lebih nyata dan jelas dalam konteks kenyataan di lapangan. Modifikasi dari sumber Wu dan Hu (2023) ini sangat membantu dalam memahami interaksi kompleks antara aktivitas tektonik dan pembentukan bentang alam, serta pentingnya studi pada umur Kuartar dalam menentukan risiko geologi yang dapat terjadi di wilayah-wilayah tersebut.

Gambar 5.3 Diagram skematis tanda-tanda bentangalam sesar aktif dan klasifikasi usia sesar aktif berdasarkan tanda-tanda pergeseran batuan di umur Kuartar. (a) Lembah sungai yang tergeser, (b) Morfologi/bentangalam segitiga faset pada zona sesar aktif, (c) pengamatan lembah yang terpotong dari

pergeseran sungai, (d) penentuan usia sesar aktif berdasarkan usia endapan yang tergeser (Modifikasi dari Wu dan Hu, 2023).

Dalam buku ini, penulis hendak mendefinisikan secara sederhana bahwa sesar aktif adalah sesar yang bergerak dan terekam dalam batuan berumur Kuarter atau dalam rentang waktu 2,6 – 2,5 juta tahun lalu dan di masa depan berpotensi menimbulkan gempa bumi (Gambar 5.4).

Terminologi Aktivitas Sesar					
Umur Geologi			Tahun Yang Lalu	Aktivitas Sesar	
Masa	Zaman	Kala			
Kenozoikum	Kuarter	Holosen	11.700	Aktif	
		Pleistosen		Potensial Aktif	
	Neogen-Paleogen	Pra-Pleistosen	2.580.000	Sesar Teridentifikasi (Tidak aktif)	
			66.000.000		
	Pra-Kenozoikum		>4.567.000.000		
Umur Bumi					

Gambar 5.4 Klasifikasi jenis sesar/patahan berdasarkan aktifitas tektonik dan penanggalan umur dalam skala waktu geologi.

“Sesar aktif itu berbisik tentang masa lalu dan mengancam masa depan. Ia menantang kebijaksanaan kita untuk merencanakan wilayah dengan cermat, agar setiap bangunan dan setiap jiwa aman dari amarahnya.”

5.2 Sesar Cimandiri

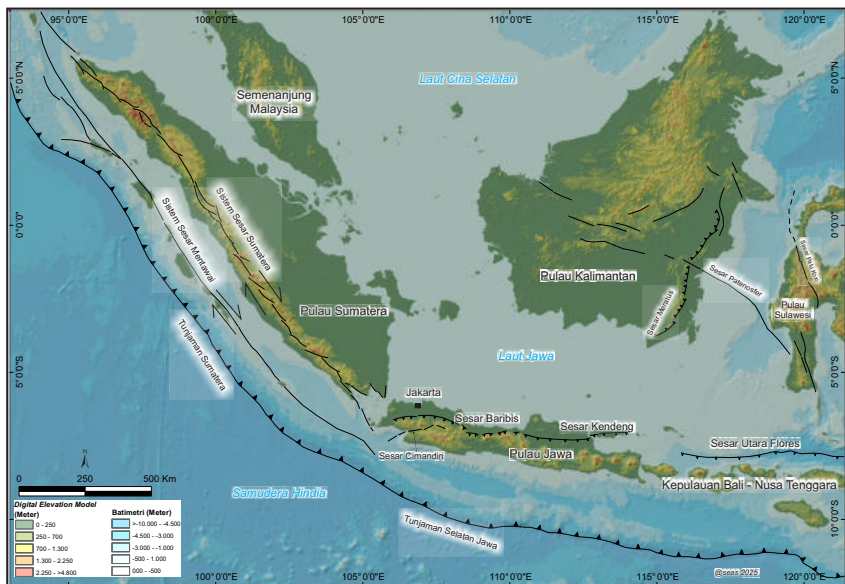
Dalam buku ini, batasan Sesar Cimandiri yang di bahas adalah sepanjang Sungai Cimandiri dimana hulu Sungai Cimandiri

tersebut dibagian Selatan dari kompleks Gunung Padang, Kabupaten Cianjur dan bermuara atau hilirnya di Teluk Palabuhanratu, Kabupaten Sukabumi seperti terlihat pada Gambar 1.1 (lihat Bab 1). Sedangkan sesar yang membentang di Kabupaten Cianjur sampai kabupaten Bandung Barat, penulis tidak membahas dan mendefinisikan sesar tersebut adalah Sesar Rajamandala. Sesar Cimandiri terletak di Sukabumi, Jawa Barat, yang berjalan dari arah Pelabuhan Ratu, melewati Sukabumi, Cianjur, dan Padalarang (Abidin *dkk*, 2009). Sesar Cimandiri terletak di sebelah timur zona transisi antara subduksi *frontal* Jawa dan subduksi miring Sumatra. Sesar ini dinamakan berdasarkan lokasinya di Lembah Cimandiri Timur oleh Martodjojo (1984) dalam Haryanto, *dkk*, 2017. Ada banyak penelitian geologi sebelumnya yang terkait dengan lokasi Sesar Cimandiri seperti Martodjojo (1984) dalam Haryanto, *dkk*, 2017, kinematika sesar berdasarkan struktur pendukung geologi oleh Dardji, *dkk*. (1994), kinematika sesar berdasarkan keberadaan batuan vulkanik tersier (Hall *dkk.*, 2007; Clements *dkk.*, 2009), aktivitas sesar berdasarkan data seismologis (Kertapati, 2006; Soehaimi *dkk.*, 2004 dan 2008), dan aktivitas sesar berdasarkan data geodetik (Abidin *dkk.*, 2008; Meilano *dkk.*, 2010; Rino, 2012). Penelitian sebelumnya tentang kinematika sesar menunjukkan hasil yang berbeda. Martodjojo (1984) dalam Haryanto, *dkk*, 2017 menemukan Sesar Cimandiri sebagai sesar normal yang sisi utara bergerak ke arah bawah relatif terhadap sisi selatan Sungai Cimandiri ke arah barat daya-timur laut. Sebaliknya, Dardji, *dkk*. (1994) menemukan ketiga jenis sesar sepanjang Zona Sesar Cimandiri dan membentuk sesar geser lateral kiri sepanjang garis sesar utama. Berbeda dengan kedua penelitian tersebut, Hall *dkk*. (2007) dan Clements *dkk*. (2009) menyimpulkan bahwa Sesar Cimandiri adalah sesar naik berdasarkan perbedaan munculnya puncak vulkanik sekitar pada usia Oligosen di sisi selatan Lembah Cimandiri.

Beberapa penelitian sebelumnya mendefinisikan Sesar Cimandiri sebagai sesar non-aktif sementara yang lain mendefinisikan

Sesar Cimandiri sebagai sesar aktif. Relokasi hiposenter gempa telah dilakukan oleh Hall *dkk.* (2007) dan Sakti (2012) yang mendefinisikan Sesar Cimandiri sebagai sesar non-aktif. Di sisi lain, Hall *dkk.* (2007); Clements *dkk.* (2009); Kertapati (2006); Soehaimi, *dkk.* (2004 dan 2007) mengklaim bahwa Sesar Cimandiri adalah sesar aktif. Banyak sesar dan lipatan dapat diamati di dekat Zona Sesar Cimandiri (Sukamto, 1975). Aktivitas Sesar Cimandiri dapat dilihat dari pengamatan GPS. Menurut Abidin, *dkk.* (2009), pergeseran horizontal Zona Sesar Cimandiri bervariasi secara spasial sekitar 0,5 – 1,7 cm/tahun. Sebagai sesar aktif, Sesar Cimandiri dapat dianggap sebagai sumber gempa bumi. Menurut Irsyam *dkk.* (2010) menyimpulkan bahwa magnitudo gempa maksimum yang dapat dihasilkan dari Sesar Cimandiri adalah Mw 7,2., kemudian Pusat Gempa Nasional (PUSGEN) tahun 2017 menyimpulkan Sesar Cimandiri terbagi menjadi 3 segmen, yaitu Segmen Cimandiri dengan panjang 23 kilo meter (km), Segmen Nyalindung-Cibeber dengan panjang 30 km, dan Segmen Rajamandala dengan panjang 45 km. Ketiga segmen tersebut menjadi data dan parameter untuk perhitungan sumber gempa dengan masing-masing segmen, yaitu, Segmen Cimandiri bisa menyebabkan gempa maximum 6,7 magnitud, Segmen Nyalindung – Cibeber diperkirakan menyebabkan gempa maximum magnitudo 6,5, sedangkan kemungkinan gempa yang dihasilkan oleh Segmen Rajamandala adalah 6,6 magnitud (Irsyam, *dkk.* 2017).

Pada Gambar 5.5 memperlihatkan sebaran struktur geologi utama (*major structure*) di wilayah Jawa Bagian Barat termasuk wilayah Sukabumi dan sekitarnya. Sebaran struktur geologi diperoleh diambil dari beberapa referensi diantaranya dari data seismik Malod, *dkk.* 1995. Sedangkan struktur geologi di darat diambil dari beberapa publikasi Soehaimi, *dkk.* 2004, dan Kertapati, 2006. Dari peta tersebut (Gambar 5.5) jelas memperlihatkan adanya korelasi antara episenter dan hiposenter gempa dengan struktur geologi yang berada di wilayah tersebut.

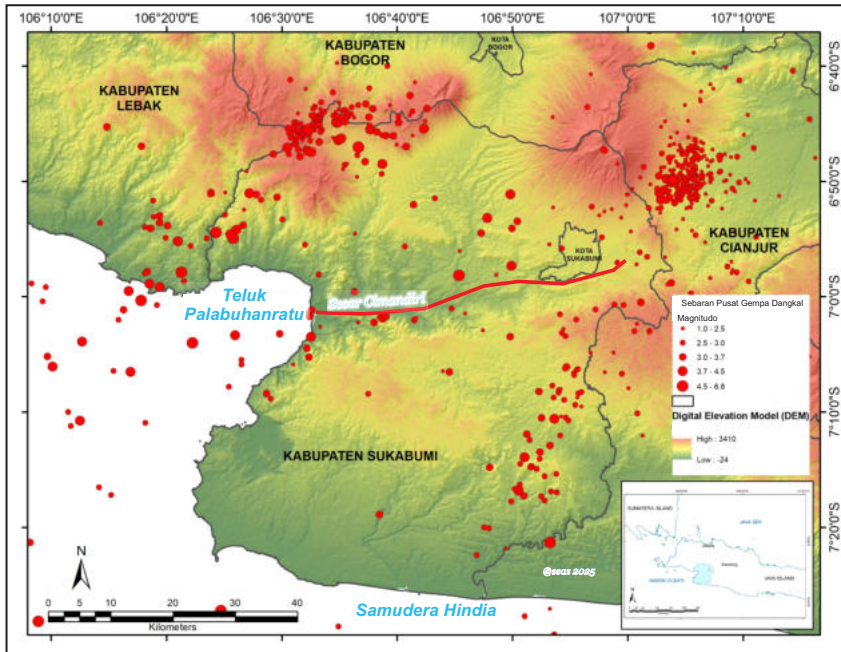


Gambar 5.5 Peta struktur geologi regional Indonesia Bagian Barat dan letak Sesar Cimandiri dibagian barat Pulau Jawa.

5.3 Kegempaan di Zona Sesar Cimandiri

Berdasarkan hasil pengumpulan data kegempaan dari GCMT dan BMKG tahun 2006 – 2024, terlihat bahwa sebaran kejadian gempa bumi tersebut merupakan gempabumi tektonik. Sebaran kegempaan tersebut berkaitan dengan aktivitas tumbukan antara Lempeng Benua Eurasia dan Lempeng Samudera Hindia – Australia yang membentuk zona penunjaman (zona subduksi) yang terletak di sebelah selatan Pulau Jawa. Beberapa gambar berikut menampilkan sebaran pusat gempabumi daerah Sukabumi dan sekitarnya yang tersebar di laut maupun di darat (Gambar 5.6).

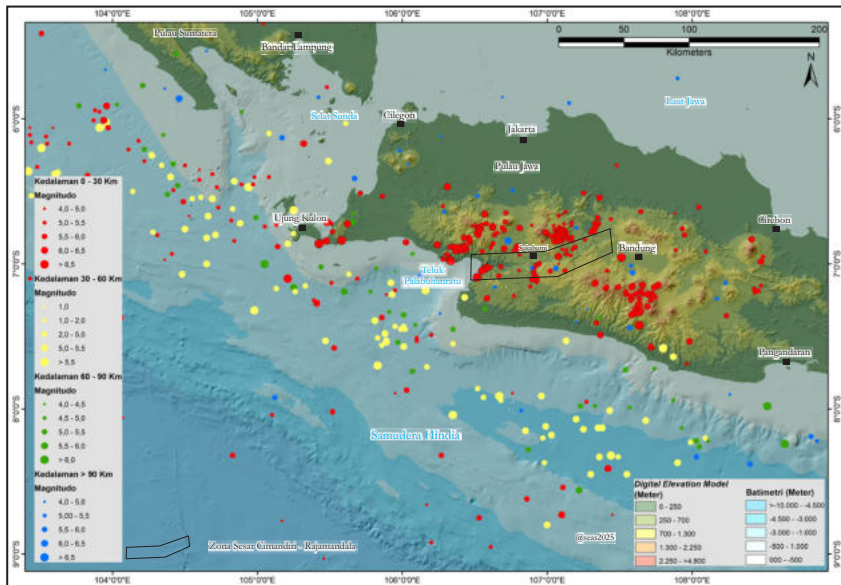
Berdasarkan hasil pengumpulan data kegempaan dari Global Centroid Moment Tensor (GCMT) dan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) tahun 1975 – 2024 (Gambar 5.7), terlihat bahwa sebaran kejadian gempa bumi tersebut merupakan gempabumi tektonik. Sebaran kegempaan tersebut



Gambar 5.6 Peta sebaran gempa dangkal kedalaman 0 – 33 km daerah Sukabumi dan sekitarnya (Sumber gempa dari BMKG periode 2009 – 2023).

berkaitan dengan aktivitas tumbukan antara Lempeng Benua Eurasia dan Lempeng Samudera Hindia – Australia yang membentuk zona penunjaman (zona subduksi) yang terletak di sebelah selatan Pulau Jawa (Gambar 5.5).

Dari peta sebaran kegempaan tersebut terlihat bahwa pola kejadian gempa bumi mempunyai kedalaman dangkal, menengah dan dalam. Gempa bumi yang terletak di Samudera Hindia dengan kedalaman dangkal berasosiasi dengan aktivitas zona subduksi. Demikian juga sebaran pusat gempabumi yang terletak di darat dengan kedalaman menengah dan di bagian utara Jawa Barat dengan kedalaman dalam berkaitan dengan aktivitas zona subduksi untuk gempa kedalaman menengah dan aktivitas sesar aktif untuk gempa kedalaman dangkal.



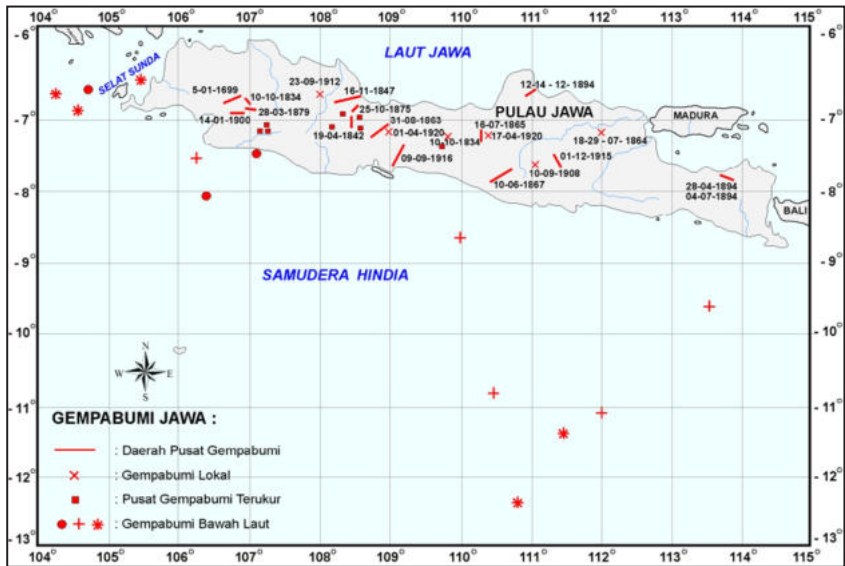
Gambar 5.7 Kegempaan di wilayah Pulau Jawa bagian Barat (Sumber gempa dari Global Centroid Moment Tensor (GCMT)).

Pada zona Sesar Cimandiri, Supendi, *dkk*, (2018) menyebutkan terdapat lebih dari 10 kejadian gempa yang berlangsung antara tahun 2009 dan 2015. Mayoritas mekanisme fokus gempa di sekitar sesar tersebut menunjukkan tipe sesar geser horizontal, tetapi di bagian selatan menunjukkan tipe sesar naik.

Gempa bumi merusak mengandung pengertian kejadian gempa bumi yang menimbulkan bencana berupa korban jiwa, kerusakan bangunan, kerugian harta benda dan kerusakan lingkungan. Mempelajari sejarah kejadian gempabumi merusak sangatlah penting, terutama untuk mengidentifikasi sumber gempabumi dan sejarah kejadiannya di sekitar daerah tersebut. Sayangnya tidak banyak sumber data yang mencatat sejarah kejadian gempabumi merusak di negara kita, termasuk di daerah penelitian. Data kejadian gempabumi merusak di daerah penelitian yang berhasil dikumpulkan bersumber dari dua data yaitu Visser (1922) dalam Kertapati (2006), dan Supartoyo dan

Surono (2008). Visser (1922) *dalam* Kertapati (2006) mencatat bahwa kejadian gempa bumi merusak tertua di Pulau Jawa terjadi pada tanggal 5 Januari 1699. Pusat gempa bumi berada di bagian utara Gunung Gede (terletak di utara Kota Sukabumi). Kejadian gempa bumi tersebut mengakibatkan longsoran di utara Gunung Gede, 40 bangunan rusak di Batavia, terasa hingga radius sekitar 300 km, dan terasa hingga Pulau Sumatera. Adapun sejarah kejadian gempabumi merusak tertua di daerah penelitian dicatat oleh Visser (1922) *dalam* Kertapati (2006) pada tanggal 14 Januari 1900. Pusat gempa bumi diperkirakan terletak di darat di bagian selatan Gunung Gede. Diperkirakan kejadian gempabumi tersebut berkaitan dengan aktivitas Sesar Cimandiri pada bagian timur. Kejadian gempabumi tersebut mengakibatkan kerusakan bangunan serius di Kota Sukabumi, retakan tanah di daerah Karang Tengah hingga Cibeber, dan meningkatnya aktivitas Gunungapi Gede (Kertapati, 2000). Peta sejarah kejadian gempabumi merusak di Pulau Jawa menurut (Kertapati, 2006) ditampilkan pada Gambar 5.8.

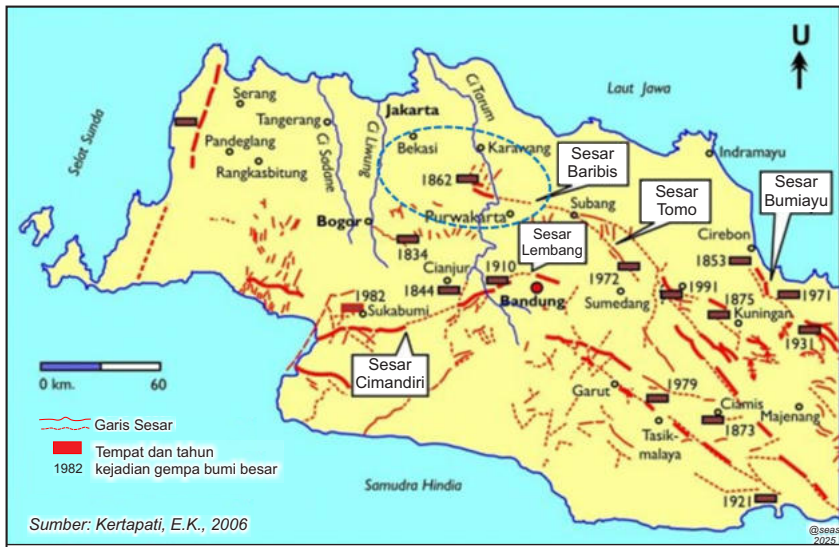
Data sejarah kejadian gempa bumi merusak lainnya bersumber dari Supartoyo dan Surono (2008) yang mencatat sebanyak 13 kejadian gempabumi merusak di Kabupaten Sukabumi sejak tahun 1900 hingga 2008 (tercantum dalam table 5.1). Sebagian besar kejadian gempabumi merusak tersebut pusat gempabuminya terletak di darat dan berkaitan dengan pergerakan sesar aktif. Sesar aktif tersebut diperkirakan adalah Sesar Cimandiri ataupun sesar aktif lainnya yang terdapat di wilayah Sukabumi. Wilayah-wilayah yang terletak dekat dengan sumber gempabumi akan mengalami guncangan lebih besar dibanding wilayah yang jauh dari sumber gempabumi, sehingga berpotensi untuk terjadi bencana. Selain mengakibatkan terjadinya korban meninggal maupun luka-luka, kejadian gempabumi merusak tersebut juga mengakibatkan terjadinya longsoran, retakan tanah, dan kerusakan sejumlah bangunan. Wilayah dengan permukiman padat seperti di Palabuhanratu, Cibadak, Sukabumi, dan sepanjang lembah Cimandiri pada umumnya tersusun oleh batuan berumur Kuarter



Gambar 5.8 Sejarah gempa bumi merusak di Pulau Jawa (Sumber; Wichmann, 1918 dalam Kertapati, 2006).

yang bersifat lunak, lepas, urai, belum kompak (*unconsolidated*), dan bersifat memperbesar guncangan gempa bumi (amplifikasi) sehingga rawan terhadap guncangan gempa bumi.

Beberapa kejadian gempa bumi merusak juga terjadi di wilayah Provinsi Jawa Barat (Gambar 5.9), kejadian gempa bumi merusak tersebut berhubungan dengan aktivitas sesar-sesar yang ada di wilayah tersebut. Pada gambar tersebut Sesar Cimandiri merupakan salah satu sesar yang membelah sisi barat Provinsi Jawa Barat, kemudian membentang dan bersambung dengan Sesar Rajamandala dan Sesar Lembang yang berdekatan dengan ibukota Jawa Barat, Bandung. Kemudian garis tersebut membentang di wilayah bagian Priangan Timur, Jawa Barat dengan historis gempa merusak seperti di wilayah Garut, Tasikmalaya, Ciamis, dan Majenang. Garis sesar tersebut seolah-olah membentuk Garis Tapal Kuda. Penulis mengusulkan pola sesar aktif “**Sesar Tapal Kuda**” di wilayah provinsi Jawa Barat dengan pertimbangan

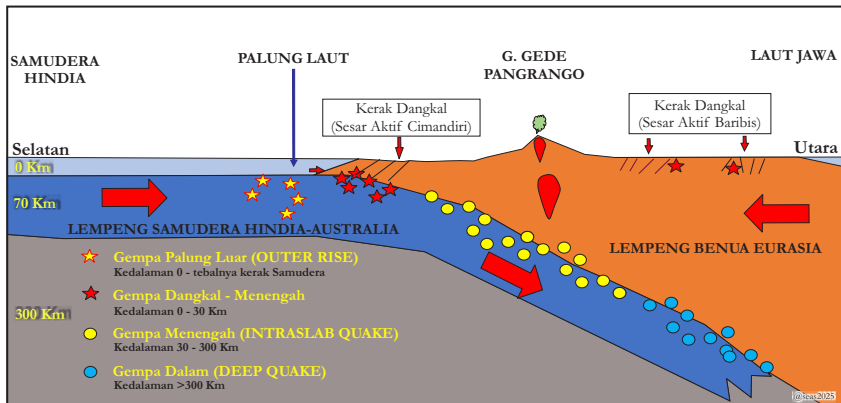


Gambar 5.9 Sejarah gempa bumi merusak di Pulau Jawa (Sumber; Kertapati, E.K., 2006).

kejadian gempa bumi merusak di sepanjang zona sesar tersebut. Di bagian utara Sesar Tapal kuda ini membentang pola Sesar Baribis, Sesar Tomo di sekitar Sumedang, dan Sesar Bumiayu. Di sepanjang zona tersebut, kejadian gempa bumi merusak pernah terjadi seperti gempa 1862 dalam lingkaran hijau putus-putus yang terletak antara Karawang dan Purwakarta (Gambar 5.9).

Untuk memperlihatkan kejadian gempa bumi dan sistem tektonik yang terjadi di zona Sesar Cimandiri dan Jawa Barat umumnya dapat dilihat pada Gambar 5.10. Gambar tersebut merupakan penampang 2 dimensi yang memperlihatkan zona subduksi atau tumbukan di selatan Pulau Jawa, Sesar Cimandiri, Gunung Gede Pangrango, Sesar Baribis, dan Laut Jawa di bagian utara.

Berdasarkan data kejadian gempabumi merusak tersebut, kejadian gempabumi tanggal 23 Juli 1962 telah mengakibatkan kerusakan sejumlah bangunan di daerah Citarik. Kejadian gempabumi tersebut kemungkinan berasosiasi dengan sesar di daerah Citarik.



Gambar 5.10 Penampang 2 dimensi Subduksi Selatan Jawa, Sesar Cimandiri, Gunung Gede-Pangrango, dan Sesar Baribis. Gempa bumi dangkal (bintang merah) pernah terjadi dan dirasakan di jalur Sesar Cimandiri dan Sesar Baribis.

Kejadian gempa bumi tanggal 9 Februari 1975 dan 12 Juli 2000 yang mengalami kerusakan bangunan di daerah Cibadak. Kedua kejadian gempabumi tersebut telah mengakibatkan korban luka-luka dan kerusakan sejumlah bangunan di daerah Cibadak. Kejadian gempabumi tersebut kemungkinan berasosiasi dengan sesar di daerah tersebut. Sesar terdekat di daerah tersebut adalah Sesar Walat. Kejadian gempabumi tanggal 10 Februari 1982 telah mengakibatkan kerusakan sejumlah bangunan di sepanjang lembah Cimandiri bagian timur. Kejadian gempabumi tersebut diperkirakan berasosiasi dengan Sesar Cimandiri di bagian timur. Gambar 5.11 dan Gambar 5.12 merupakan publikasi dari Kertapati dan Koesoemadinata (1983) yang telah merekam dampak kejadian gempa Gandasoli tahun 1982 tersebut. Pada saat survei pemetaan Sesar Cimandiri di tahun 2023, tim dari Pusat Survei Geologi – Badan Geologi Kementerian ESDM yang dilakukan oleh Penulis buku ini, melakukan wawancara kepada saksi hidup gempa Gandasoli, 10 Februari 1982 (Gambar 5.13). Data kejadian selengkapnya gempabumi merusak di wilayah Sukabumi dan sekitarnya mencakup di zona Sesar Cimandiri ditampilkan pada Tabel 5.1.

AFTERSHOCK STUDIES OF THE FEBRUARY 10, 1982,
SUKABUMI EARTHQUAKE, WEST JAVA, INDONESIA

by

Engkon KERTAPATI^I and RMS. Koesoemadinata^I

SUMMARY

9 Sprengnether MEQ-800 Seismograph network stations were deployed in NE Sukabumi to study aftershocks of the ($M_b = 5.5$) earthquake of February 10, 1982. The mainshock occurred around the village of Gandasoli Cimandiri valley, Sukabumi area, West Java, Indonesia, and caused a 10 km NW - SE surface rupturing which splayed to about 8 km wide.

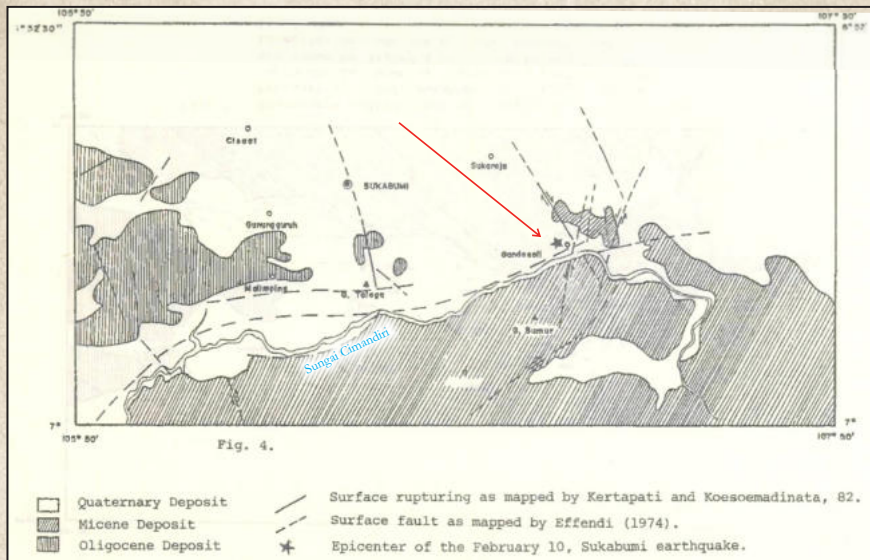
Magnitudes of 48 aftershocks are less than 2.5 in M_L scale, but most of them are well recorded. The epicenters of these events spread over an area of 12 km (E-W) by 11 km (N-S).

Focal mechanism solutions for selected aftershocks show that aftershocks were caused by normal faulting with component of strike slip faulting, reverse faulting with component of strike slip faulting, and normal faulting. This indicates reactivation of geologically mapped normal faults and strike slip faults in this area (Effendi, 1974 and Sujatmiko, 1972). Normal faults or Cimandiri lineaments (Suwiyanto, 1978) that splay off at the southern end of the zone of surface ruptures may also have been activated.

INTRODUCTION

The $M_L = 5.5$ Sukabumi earthquake of February 10, 1982, has taken place at the Gandasoli village, Sukabumi, West Java. 61 aftershocks were recorded by a 9 station sprengnether MEQ-800 seismograph network (Fig. 1) operated by Geological Research and Development Centre in the epicentral region for a period of 15 days (June 17, 1982 to June 23, 1982). The studies of these aftershocks have shown that the modes of aftershock faulting are very complex and often different from that of the mainshock. Longer and Bollinger (1979) has made use of local network data to determine secondary normal faulting pattern associated with the 1976 strike-slip earthquake ($M_S = 7.5$) in Guatemala. Arabasz et al. (1979) showed mixture of normal, strike-slip, and reverse fault sequence to the 1975 ($M_L = 6.0$) normal fault earthquake on Idaho - Utah border in the Basin and Range province of the western United States. Teleseismic data (surface and body wave) have also been used by Butter et al. (1979) to infer the triggering of thrust and normal fault events by the strike-slip earthquake of 1979 ($M_S = 7.7$) near Tangshan, China.

I. Geological Research and Development Centre, Directorate General of Mines Indonesia.



Gambar 5.12 Pusat gempa bumi Gandasoli 10 Februari 1982 dan sebaran sesar lokal di sekitar daerah pusat gempa (Sumber: Kertapati, E.K., dan Koesoemadinata, R.M.S., 1983).

Kesaksian Gempa Gandasoli 1982
Wawancara dilakukan tanggal 13 Maret 2023



Gambar 5.13 Wawancara saksi hidup gempa bumi Gandasoli 10 Februari 1982 (Sumber: Saputra, S.E.A., dkk, 2023).

Tabel 5.1 Sejarah gempa bumi merusak dan dirasakan di Zona Sesar Cimandiri (Sumber: Kertapati, E.K., 2006; Supartoyo, *dkk*, 2008, BMKG, 2019, Website Badan Geologi: <https://vsi.esdm.go.id/kajian-kejadian> dan Website BMKG: <https://www.bmkg.go.id/gempabumi/gempabumi-realtime>).

No.	Lokasi Gempa	Waktu Kejadian	Kedalaman (km)	Magnitudo	Koordinat Episenter Gempa (LS/BT)	Daerah Kerusakan & Skala MMI	Referensi
1.	Palabuhan-ratu	21 Agustus 2025, pukul 20:52:47 WIB	9	2,8	106,66 BT -7,04 LS		BMKG
2.	Sukabumi	8 Desember 2022, pukul 07:50:57 WIB	104	5,8	106,99 BT -7,11 LS	Cikembar, Nagrak, Simpenan, Parungkuda, Sukalarang, Sukaraja: IV MMI, 17 Bangunan rusak	Badan Geologi, 2023
3.	Cianjur	21 November 2022, pukul 13:21:10 WIB	10	5,6	107,05 BT -6,84 LS	Cugeunang, Cianjur: VIII MMI, 635 orang meninggal	Badan Geologi, BMKG
4.	Sukabumi	5 Juni 2021, pukul 12:47:42 WIB	3	3	106,97 BT -6,95 LS	Cireungas, Kebon Pedes, Kab. Sukabumi: IV MMI, 12 rumah rusak	Badan Geologi
5.	Sukabumi	27 April 2021, pukul 16:23:37 WIB	58	5	106,87 BT -7,86 LS	Bantargadung, Kab. Sukabumi: IV MMI, 12 bangunan rusak	Badan Geologi
6.	Sukabumi	22 Maret 2020, pukul 10:48 WIB	2	3,5	106,56 BT -7,07 LS	Sukamukti - Waluran: IV MMI	Badan Geologi
7.	Sukabumi	10 Maret 2020, pukul 17:18 WIB	10	5	106,62 BT -6,89 LS	Klapanunggal, Kabandungan, Kab. Sukabumi: VI MMI, 3 org meninggal, 50 rumah rusak di Kec. Pamijahan, Bogor; 202 rumah rusak di Kec. Kalapanunggal, Cidahu, Kabandungan. Terjadi retakan tanah	Badan Geologi
8.	Sukabumi	8 Januari 2019, pukul 16:54:45 WIB	10	5,4 SR	106,48 BT -7,85 LS	Lembursitu, Kota Sukabumi: IV MMI, 1 org luka-luka, 1 bangunan rusak di Kel. Cipanengah, Lembursitu, Kota Sukabumi, 1 bangunan roboh di Desa Rambay, Tegalbuleud, Kab. Sukabumi	Badan Geologi, BMKG
9.	Sukabumi	7 Juli 2018, pukul 12:23:45 WIB	6	4,6 SR	106,34 BT -6,98 LS	Kabandungan, Cikakak, Kab. Sukabumi: IV, 31 rumah rusak di Kab. Sukabumi (28 di Kec. Cika-kak, 2 di Kec. Kabandungan, 1 di Kec. Cisolak).	Badan Geologi, BMKG

10.	Sukabumi	18 Desember 2013, pukul 14:14:28 WIB	10,9	4,3	106,81 BT -6,87 LS	56 rumah rusak di Kec. Nagrak, III MMI	BMKG, 2019
11.	Sukabumi	18 Desember 2013, pukul 21:14:30 WIB	5	4,5 SR	106,85 BT -6,88 LS	Girijaya, Kec Nagrak, Caringin, Kec. Caringin, Kab. Sukabumi: V MMM, 2 rumah rusak berat, 18 rumah rusak sedang, 291 rumah rusak ringan di Desa Girijaya Kec. Nagrak, Desa Caringin dan Ciseupan Kec. Caringin.	Badan Geologi
12.	Sukabumi - Bogor	9 September 2012, pukul 01:27:15 WIB	10	4,8 SR	106,67 BT -6,7 LS	Pamijahan, Bogor & Kabandungan, Sukabumi: V MMI, 343 rumah rusak di Kec. Pamijahan (Desa Cibunian & Purwabakti), Bogor. 219 rumah rusak di Kec. Kabandungan (Desa Kabandungan, Cipeuteuy, Tugu Bandung), Sukabumi.	Badan Geologi
13.	Sukabumi	4 Juni 2012, pukul 18:18 WIB	24	6,1 SR	106,19 BT -7,99 LS	Cidolog, Kab. Sukabumi: V MMI, 2 org luka-luka. Kec. Cidolog 146 rumah rusak dengan 7 rumah rusak berat. Kec. Pabuaran 27 rumah rusak sedang dan 67 rumah rusak ringan. Kec. Sagaranten 2 rumah rusak berat. Kec. Ciemas 1 rumah rusak berat dan 5 rumah rusak ringan.	Badan Geologi
14.	Sukabumi	12 Juli 2000, pukul 08.10 WIB	33	5,1	106,9 BT -6,9 LS	Cibadak, Cikembar, Nagrak, Kab. Sukabumi: V-VI MMI, Di Sukabumi : 35 org luka-luka, 365 bangunan rusak berat & 633 bangunan rusak ringan di Sukaraja, Cibadak, Cikembar, Nagrak, Cicurug, Cidahu, Parakan Salak, Kadudampit, Cisaat, Cantayan, Sukalerang, Cirengkas, Caringin & Geger Bitung. Terjadi retakan tanah. RS Cibadak dindingnya retak. Di Bogor: 8 org luka-luka, 198 rumah rusak berat & 105 rumah rusak ringan di Kec. Cijeruk.	Badan Geologi

15.	Gandasoli – Sukaraja, Sukabumi	10 Februari 1982, pukul 09:17:50 WIB	25	5.5	106,98 BT -6,92 LS	Gandasoli, Sukaraja, Kab. Sukabumi: VI - VII MMI, Kerusakan berat hingga ringan pada bangunan, 4 org luka-luka. Getaran terasa di Sukabumi dan Bogor	Kertapati, E.K., 2006
16.	Cibadak, Sukabumi	9 Februari 1975,				Sukabumi: V, kerusakan di desa Ciheulang Tonggoh, Kec, Cibadak, Kab. Sukabumi	Kertapati, E.K., 2006; Badan Geologi, BMKG, Supartoyo, dkk, 2014
17.	Palabuhanratu, Sukabumi	26 November 1973				Pelabuhanratu, Citarik, dan Cidadap: V MMI	Kertapati, E.K., 2006; Supartoyo, dkk, 2014
18.	Sukabumi	2 November 1969				Campaka, Kab. Sukabumi: V MMI, Di Sukabumi beberapa bangunan roboh. Di Campaka beberapa bangunan retak pada dinding. Getaran terasa di Jabar hingga Bogor.	Kertapati, E.K., 2006; Supartoyo, dkk, 2014
19	Citarik, Sukabumi	23 Juli 1962				Citarik, Palabuhanratu: V MMI, Kerusakan bangunan & nendatan tanah di Citarik.	Supartoyo, dkk, 2014
20.	Banten - Cisolok	12 Mei 1923				Kerusakan di daerah Banten, Cisolok, Palabuhanratu: VII MMI	Kertapati, E.K., 2006; Supartoyo, dkk, 2014
21	Citarik, Sukabumi	23 Juli 1962				Citarik, Palabuhanratu, Sukabumi: VI MMI	Kertapati, E.K., 2006; Supartoyo, dkk, 2014
22.	Banten	12 Mei 1923				Banten: VII MMI	Kertapati, E.K., 2006; Supartoyo, dkk, 2014
23.	Campaka, Sukabumi - Cianjur	21 Januari 1912				Campaka, Cianjur dan sebagian daerah Sukabumi: VI MMI	Kertapati, E.K., 2006; Supartoyo, dkk, 2014
24.	Rajaman-dala	18 Desember 1910				Rajamandala	Kertapati, E.K., 2006; Supartoyo, dkk, 2014
25.	Sukabumi	14 Januari 1900				Sukabumi: VII MMI	Kertapati, E.K., 2006; Supartoyo, dkk, 2014

Bab 6. ANATOMI SESAR CIMANDIRI

“Anatomi Sesar Cimandiri adalah peta rahasia yang terukir di dalam bumi, menjelaskan struktur dan pergerakan yang membentuk wajah geologi Jawa Barat. Sesar Cimandiri dapat dianggap sebagai “labirin geologi” karena kompleksitas dan keterkaitan antara berbagai elemen geologinya. Sesar ini memiliki pola pergerakan yang rumit dan saling terhubung dengan struktur geologi di sekitarnya, yang mencakup litologi, stratigrafi, dan formasi geologi lainnya”.

Anatomi Sesar Cimandiri adalah sebuah studi yang mengamati karakteristik geologi dan aktivitas tektonik dari sesar Cimandiri, yang terletak di Pulau Jawa, Indonesia. Sesar ini diketahui memiliki peran signifikan dalam pembentukan morfologi wilayah sekitarnya serta menjadi objek pengamatan penting dalam penelitian mengenai bencana alam seperti gempa bumi.

Sesar Cimandiri merupakan salah satu bagian dari sistem sesar aktif yang memanjang di sepanjang Pulau Jawa bagian barat. Dengan panjang sekitar 100 km, sesar ini membentang dari Kabupaten Sukabumi hingga Kabupaten Cianjur, melintasi area dengan kepadatan penduduk yang cukup tinggi. Aktivitas seismik yang terkait dengan sesar ini menunjukkan potensi risiko gempa bumi yang dapat mempengaruhi kehidupan masyarakat di sekitarnya.

Studi mengenai anatomi sesar mencakup penelitian tentang struktur geologi, termasuk pembagian segmen-segmen sesar, jenis batuan, dan mekanisme pergeseran yang terjadi. Para penyelidik bumi atau “ditektif bumi” mengamati pola deformasi yang ada untuk memahami bagaimana energi terakumulasi dan dilepaskan selama pergerakan sesar. Hal ini penting untuk memprediksi kemungkinan kejadian gempa di masa depan.

Selain itu, pemahaman tentang sesar Cimandiri juga mencakup pengujian sejarah aktivitas seismik dan dampaknya terhadap lingkungan. Data dari pengukuran geodetik dan analisis geologi memberikan wawasan tentang sejarah gempa bumi di wilayah ini. Penelitian ini sangat berharga dalam usaha mitigasi bencana dan perencanaan tata ruang yang lebih baik, serta meningkatkan kesadaran masyarakat akan dampak bahaya gempa.

Secara keseluruhan, anatomi Sesar Cimandiri menawarkan gambaran yang mendalam tentang mekanisme alam yang kompleks dan menjadi pilar penting dalam upaya pengelolaan risiko bencana di Indonesia, terutama di wilayah yang rentan

terhadap gempa bumi. Penelitian yang terus-menerus dilakukan diharapkan dapat memberikan solusi yang efektif untuk meminimalkan dampak dari ancaman gempa ini.

Anatomi Sesar Cimandiri dapat dianalogikan seperti sebuah pipa besar yang mengalirkan air di dalam tanah. Dalam analogi ini, pipa mewakili sesar, sementara air yang mengalir menggambarkan energi dan tekanan yang terakumulasi akibat pergerakan kerak bumi.

Ketika pipa dalam keadaan stabil, air mengalir dengan lancar tanpa hambatan, mirip dengan kondisi sesar yang tidak aktif, di mana tidak terjadi gempa bumi. Namun, seiring waktu, tekanan dalam pipa semakin meningkat akibat akumulasi air yang tidak dapat mengalir dengan baik. Dalam konteks sesar, ini menggambarkan akumulasi *stress* atau tekanan yang dialami oleh batuan akibat berbagai faktor geologi, terjadi seiring waktu karena pergeseran lempeng tektonik yang terhambat.

Pada titik tertentu, jika tekanan dalam pipa menjadi terlalu tinggi dan tidak dapat dikendalikan, pipa tersebut dapat pecah, mengakibatkan air mengalir deras ke luar. Begitu juga dengan Sesar Cimandiri, ketika akumulasi *stress* mencapai batas yang kritis, energi yang terakumulasi akan dilepaskan secara tiba-tiba dalam bentuk gempa bumi.

Setelah pipa pecah, mungkin akan ada sisa air yang terus mengalir, namun pipa tersebut mengalami deformasi dan tidak bisa kembali ke bentuk semula, menciptakan kerusakan. Dalam hal ini, wilayah yang terdampak gempa akan mengalami perubahan morfologi dan struktur geologi, sebanding dengan bagaimana pipa yang pecah berfungsi setelah kejadian itu.

Seperti halnya pentingnya memantau pipa agar tidak terjadi kebocoran akibat tekanan yang berlebihan, studi terus-menerus dan pemantauan terhadap Sesar Cimandiri sangat vital. Hal ini bertujuan untuk memahami pola aktivitas seismik/kegempaan,

yang dapat menjadi langkah pencegahan dalam mengurangi risiko bencana bagi masyarakat yang tinggal di sekitarnya.

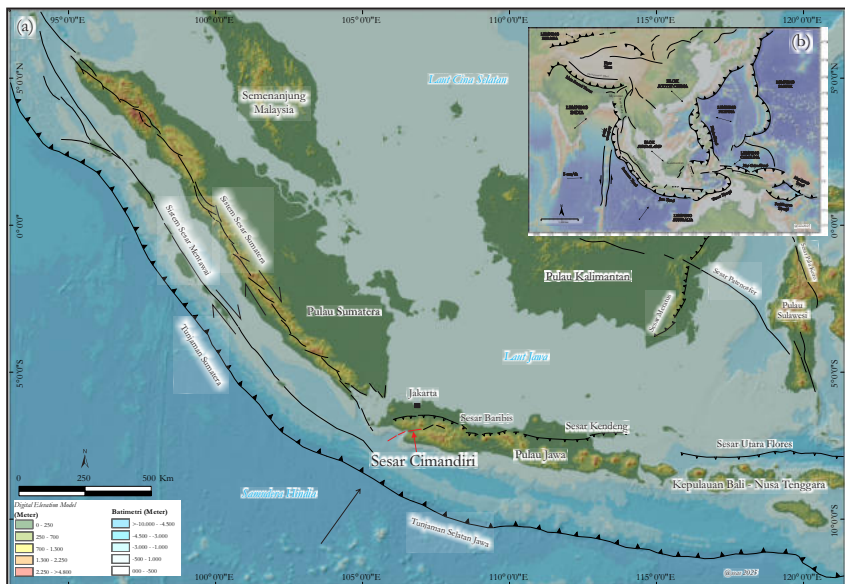
Dengan alat dan teknik yang tepat, kita dapat memprediksi kemungkinan "kebocoran" pada pipa tersebut, sehingga tindakan preventif dapat dilakukan untuk melindungi kehidupan dan harta benda. Ini adalah inti dari penelitian dan pemahaman terhadap anatomi Sesar Cimandiri, yang berfungsi untuk melindungi daerah rawan gempa di Indonesia tepatnya di wilayah jantung Provinsi Jawa Barat.

6.1 Tektonik Indonesia Bagian Barat

Indonesia bagian barat adalah kawasan yang sangat aktif secara geologi. Posisi wilayah ini berada di jalur di mana berbagai lempeng tektonik besar bumi bertemu dan saling bergerak, sehingga menyebabkan terbentuknya berbagai struktur kerak bumi yang aktif dan menghantarkan gempa besar. Wilayah ini meliputi Pulau Sumatera, Jawa, dan bagian dari Kalimantan (Gambar 6.1). Memahami bagaimana pergerakan di bawah permukaan tanah ini bekerja sangat penting agar kita bisa mengantisipasi bahaya gempa dan tsunami serta menjaga keamanan masyarakat dan pembangunan infrastruktur yang tahan terhadap bencana alam ini.

Pulau Sumatera terkenal karena sering terjadi gempa besar. Salah satu penyebabnya adalah keberadaan Sesar Sumatera, yaitu retakan besar di kerak bumi yang membentang sepanjang pulau ini dari utara ke selatan. Sesar ini adalah jalur pergerakan utama yang menyebabkan gempa besar terjadi.

Selain itu, di bagian barat Sumatera terdapat Sesar Mentawai yang mengikuti garis pantai. Sesar ini juga aktif bergerak dan menjadi jalur utama pergerakan bawah tanah di daerah itu. Gerakan pada Sesar Mentawai sering menyebabkan gempa bumi



Gambar 6.1. Peta struktur sesar besar di Pulau Sumatera dan Jawa. (a) Peta sebaran struktur atau sesar di Pulau Jawa dan Pulau Sumatera, Sesar Cimandiri berada di sebelah utara dari zona subduksi atau tunjangan Jawa. (b) Peta memperlihatkan sebaran lempeng tektonik di Asia.

yang cukup kuat dan bahkan bisa memicu tsunami jika terjadi pergeseran mendadak di bawah laut.

Pulau Jawa memiliki sistem sesar yang rumit dan sangat aktif. Di bagian utara pulau ini terdapat Sesar Baribis - Kendeng yang panjangnya membentang dari barat ke timur. Sesar ini memisahkan lempeng yang berbeda dan sering menjadi pusat aktivitas gempa di daerah itu.

Di bagian selatan Sesar Baribis, ada Sesar Cimandiri yang membentang dari Teluk Palabuhanratu hingga Sukabumi. Sesar ini juga termasuk aktif dan mampu menyebabkan gempa besar di daerah tersebut. Pergerakan tanah sepanjang Sesar Cimandiri menjadi perhatian karena berpotensi menimbulkan kerusakan besar jika terjadi gempa kuat.

Selain dari sesar-sesar utama, di bagian selatan Jawa, terdapat sistem tunjaman, yaitu struktur tektonik yang membentuk pergerakan kompleks di bawah permukaan laut dan tanah di kawasan ini. Sistem tunjaman ini merupakan tempat bertemunya dua lempeng bumi yang besar yang disebut subduksi atau tunjaman selatan Jawa.

Sistem ini turut mempengaruhi bagaimana tanah di Jawa bergerak dan bergerak, menambah kompleksitas aktivitas gempa di kawasan ini (lihat Gambar 5.9 di Bab 5). Wilayah Indonesia bagian barat sangat dinamis secara geologi, dengan banyak sesar dan struktur yang saling berinteraksi. Keberadaan sesar-sesar besar seperti Sesar Sumatera, Mentawai, Baribis-Kendeng, dan Cimandiri (Aribowo, dkk, 2022) menunjukkan bahwa wilayah ini sangat rentan terhadap gempa dan tsunami besar. Kejadian tsunami ini dimungkinkan terjadi di Teluk Palabuhanratu jika Sesar Cimandiri bergerak di bagian yang berada di Teluk tersebut. Pergerakan di bawah tanah ini dipengaruhi oleh tabrakan lempeng tektonik dan sistem tunjaman di bagian selatan Jawa. Memahami pola ini sangat penting agar kita dapat melakukan langkah-langkah pencegahan dan pembangunan yang lebih aman serta mampu melindungi masyarakat dari bahaya bencana alam yang sangat nyata di wilayah ini.

Selain dari sesar-sesar utama, di bagian selatan Jawa, terdapat sistem tunjaman, yaitu struktur tektonik yang membentuk pergerakan kompleks di bawah permukaan laut di kawasan ini. Sistem tunjaman ini merupakan tempat bertemunya dua lempeng bumi yang besar yang disebut subduksi atau tunjaman selatan Jawa.

Sistem tunjaman di selatan Jawa merupakan jantung dari aktivitas tektonik yang terjadi di wilayah ini (Gambar 6.1). Sebagai pertemuan dari dua lempeng besar bumi, yaitu Lempeng Australia dan Lempeng Eurasia, proses ini memegang peran utama dalam membentuk kondisi geologi serta risiko bencana

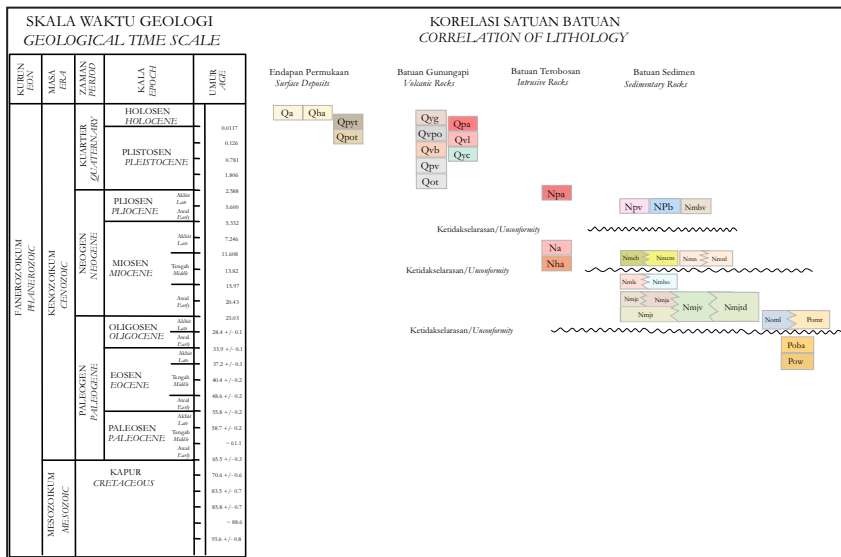
alam berupa gempa bumi (terkenal dengan istilah “*mega-Thrust*”) di bagian barat Pulau Sumatera dan selatan Pulau Jawa. Memahami mekanisme ini tidak hanya penting bagi para ilmuwan geologi, tetapi juga bagi masyarakat dan pemerintah agar dapat melakukan langkah-langkah pencegahan dan pengurangan risiko yang lebih baik di masa depan.

Indonesia merupakan salah satu wilayah paling dinamis di dunia secara geologi, yang dipengaruhi oleh pergerakan tiga lempeng tektonik utama: Lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Interaksi dari ketiga lempeng ini, terutama proses subduksi di mana satu lempeng menyelam di bawah yang lain, menyebabkan terbentuknya berbagai sesar dan struktur geologi di kepulauan Indonesia. Pendekatan ilmiah modern menjelaskan bahwa proses ini berperan besar dalam membentuk garis sesar aktif yang ada di Pulau Jawa.

Di Indonesia, Lempeng Indo-Australia secara perlahan menujam ke arah utara, menyelam di bawah Lempeng Eurasia. Proses ini dikenal sebagai *subduksi*, dan berlangsung dengan arah yang tegak lurus terhadap Pulau Jawa. Akibatnya, tekanan dan gaya tarik dari proses subduksi ini menimbulkan sesar-sesar aktif di wilayah tersebut, baik sesar besar yang disebut *major fault* maupun sesar kecil yang disebut *minor fault*.

Salah satu contoh utama dari sesar aktif di Jawa adalah Sesar Cimandiri, yang berada di wilayah Sukabumi. Sesar ini terbentuk akibat aktivitas subduksi Lempeng Indo-Australia di bawah Lempeng Eurasia, dan mulai terbentuk sekitar zaman Miosen, sekitar 5 juta tahun yang lalu (Anugrahadi, 1993). Sesar Cimandiri memiliki arah timurlaut – baratdaya dan memotong bagian barat Pulau Jawa.

Keberadaan sesar ini diabadikan dalam peta geologi (Gambar 6.2, 6.3, dan 6.4) yang merupakan hasil modifikasi data lapangan dan penggabungan peta geologi dari berbagai sumber seperti Efendi dkk., (2011), Sujatmiko (2003), Rab Sukamto (1975).



Gambar 6.3 Gambar korelasi batuan di sepanjang Zona Sesar Cimandiri.

Keterangan: Explanation:	
Endapan Permukaan <i>Surface Deposits</i> - Qa: Aluvium / Alluvium - Qha: Aluvium & endapan pantai / Alluvium & Coastal Deposits - Qpyt: Endapan unduk muda / Young terrace deposits - Qpot: Endapan unduk tua / Old Terrace Deposits	Batuan Sedimen <i>Sedimentary Rocks</i> - Npv: Breksi tufan / Tuffaceous breccia - Npb: Breksi tufan, lava, batupasir / Tuffaceous breccia, lava, sandstone - Nmbv: Formasi Becer / Becer Formation - Nmb: Formasi Candanli - Anggona Bojanglempang / Candanli Formation - Bojanglempang Member - Nmc: Formasi Candanli - Anggona Bojanglempang / Candanli Formation - Bojanglempang Member - Nnm: Formasi Nyidilang - Batupasir glikolitik / Nyidilang Formation - Glikolitik member - Nmn: Formasi Nyidilang - Anggona Batupasir / Nyidilang Formation - Limestone member - Nml: Formasi Langlong / Langlong Formation - Nmba: Formasi Bojanglempang / Bojanglempang Formation - Nmj: Formasi Jampang - Anggona Cikarang / Jampang Formation - Cikarang member - Nnja: Formasi Jampang - Anggona Cikarang / Jampang Formation - Cikarang member - Nnjr: Formasi Jampang - Anggona Cikarang / Jampang Formation - Cikarang member - Nnjt: Formasi Jampang - Anggona Cikarang / Jampang Formation - Cikarang member - Nnjm: Formasi Jampang - Anggona Cikarang / Jampang Formation - Cikarang member - Nnmj: Formasi Jampang - Anggona Cikarang / Jampang Formation - Cikarang member - Nnmjv: Formasi Jampang - Anggona Cikarang / Jampang Formation - Cikarang member - Nnm: Formasi Jampang - Anggona Cikarang / Jampang Formation - Cikarang member - Pomr: Formasi Rajamandala - Napal tufan / Rajamandala Formation - Tuffaceous sand member
Batuan Gunungapi <i>Volcanic Rocks</i> - Qyg: Endapan breksi & lahar / Breccia and Lahar Deposits - Qpa: Andesit / Andesite - Qvl: Lava gunungapi / Volcanic Lava - Qyc: Batuan gunungapi - breksi / Breccia - Qvp: Endapan batuan gunungapi tua / Old Volcanic Deposits - Qvb: Breksi gunungapi / Volcanic Breccia - Qqv: Breksi gunungapi / Volcanic Breccia - Qot: Hasil gunungapi tua / Old Volcanic Product	Batuan Terobosan <i>Intrusive Rocks</i> - Npa: Andesit / Andesite - Na: Andesit / Andesite

Gambar 6.4 Penjelasan simbol litologi dan deskripsi batuan yang tertera pada Gambar (a) dan (b).

Data tersebut memberikan gambaran yang jelas tentang posisi dan jalur Sesar Cimandiri, yang dalam peta tersebut ditunjukkan sebagai jalur aktif yang memotong wilayah Sukabumi.

Sesar Cimandiri termasuk kategori sesar aktif yang mampu menyebabkan gempa besar dan menimbulkan risiko tsunami di daerah Teluk Palabuhanratu jika terjadi pergeseran mendadak. Pemahaman akan pola pergerakan dan posisi sesar ini tak hanya penting untuk ilmu pengetahuan, tetapi juga sangat vital untuk area yang rawan gempa seperti Sukabumi dan sekitarnya. Peta geologi dan data lapangan membantu para ilmuwan dan pihak berwenang dalam melakukan peta risiko bencana serta pengembangan kawasan yang lebih aman.

Dalam kerangka evolusi geologi Bumi, Sesar Cimandiri diyakini sebagai bagian dari Cekungan Bogor. Cekungan (atau basin) adalah daerah yang lebih rendah dari sekitarnya dan berfungsi sebagai tempat di mana material sedimen—yakni endapan dari batuan yang telah hancur dan terbawa—berkumpul dan mengendap dari waktu ke waktu. Dengan kata lain, cekungan merupakan tempat yang mana bahan-bahan pelapukan berupa endapan akan tertumpuk, membentuk lapisan-lapisan batuan yang memberi rekaman penting untuk memahami sejarah geologi wilayah tersebut.

Daerah sekitar Sesar Cimandiri menunjukkan endapan-endapan yang tergolong muda secara umur, berupa breksi yang berasal dari akhir zaman Miosen (sekitar 5 sampai 10 juta tahun lalu). Endapan ini termasuk bagian dari Formasi Cimandiri, yang tersebar di sepanjang tepi utara dari area paguyuban pegunungan di bagian selatan Jawa Barat. Formasi Cimandiri ini membentang di kawasan lembah yang berada di bagian utara dari rangkaian pegunungan tersebut dan menandai batas selatan dari Cekungan Bogor (Sukamto, 1975).

Menurut penelitian Sukamto, (1975), sifat batuan sedimen di sebelah utara Sesar Cimandiri berbeda dari batuan di sebelah

selatan sesar. Bagian utara dikenal sebagai Lembah Cimandiri, yaitu wilayah Palabuhanratu hingga Sukabumi, sementara bagian selatan dikenal sebagai Blok Jampang Kulon. Perbedaan karakteristik batuan dan struktur ini menegaskan bahwa batas antara kedua wilayah tersebut merupakan tempat terletaknya Sesar Cimandiri, sebagai jalur batas struktural yang memisahkan dua blok geologi yang berbeda.

Sebagai bagian dari dinamika tektonik aktif bumi, Sesar Cimandiri adalah bagian dari sistem besar yang menggerakkan Lempeng Tektonik. Sistem ini akan terus bergerak dan menghasilkan energi secara terus menerus. Saat energi ini terkumpul cukup besar, batuan di sepanjang sesar akan kehilangan kekuatannya dan pecah, menghasilkan getaran yang kita rasakan sebagai gempa bumi.

Sebagai manusia yang hidup di atas bumi ini, kita harus belajar hidup harmonis dengan kekuatan alam yang aktif ini. Dengan memahami pola dan karakteristik Sesar Cimandiri, kita bisa lebih siap menghadapi risiko gempa dan meminimalkan kerusakan yang mungkin terjadi.

Sesar Cimandiri bukan hanya sekadar struktur tektonik, tetapi juga bagian dari sistem besar yang berkaitan erat dengan evolusi cekungan dan sejarah geologi wilayah Jawa Barat. Sebagai bagian dari bumi yang selalu bergerak, keberadaan dan karakteristik sesar ini mengingatkan kita akan pentingnya mengenali kekuatan alam dan beradaptasi dengan dinamika bumi yang aktif. Selalu hidup dalam harmoni dengan bumi, karena bumi ini adalah rumah kita yang berenergi besar dan terus bergerak. Selanjutnya kita sebagai manusia harus hidup harmonis dengan motor penggerak yang aktif, *living harmony on the active earth!*.

Bagaimana manusia hidup harmonis dengan Sesar Cimandiri dapat di baca pada Bab 8.

6.2 Geologi Zona Sesar Cimandiri

Peta geologi adalah menggambarkan susunan dan struktur lapisan batuan di permukaan bumi. Dengan mempelajari peta geologi, kita dapat memahami sejarah geologi suatu wilayah, proses pembentukan bumi, serta potensi sumber daya alam seperti minyak, gas, mineral, dan bahan bangunan. Dan tak kalah penting potensi bencana geologi di daerah yang dimaksud. Salah satu ciri khas dari peta geologi adalah susunan batuan yang biasanya digambarkan dari yang berumur muda ke yang tua, mengikuti urutan waktu terbentuknya. Pada umumnya, peta geologi disusun dalam lapisan-lapisan yang menampilkan urutan umur satuan-batuan. Batuan yang paling atas dan terbentuk paling akhir disebut batuan muda, sedangkan yang berada di bagian paling bawah dan terbentuk paling awal disebut batuan tua. Gambar 6.2, 6.3, dan 6.4 merupakan peta geologi sepanjang zona Sesar Cimandiri. Urutan ini membantu para geolog dalam memahami proses deformasi, tektonik, dan evolusi wilayah tersebut dari masa ke masa.

Sebagai contoh, gambaran berikut bisa kita lihat dalam peta geologi yang umum ditemukan,

Batuan Muda (Holosen dan Pleistosen), batuan ini biasanya berupa tanah baru yang terbentuk dari endapan alluvium di sungai, pasir pantai, atau lumpur dari proses sedimentasi terbaru. Contoh gambar adalah dataran aluvial di sekitar sungai besar yang terlihat berwarna cerah dan tersusun dari kerikil dan pasir halus.

Batuan Sedimen Tua (Miosen dan Zaman Lebih Lama), lapisan batuan ini terdiri atas batupasir, batukapur, atau batulanau yang terbentuk dari pengendapan bahan organik dan mineral selama jutaan tahun.

Batuan beku atau batuan metamorf merupakan batuan yang terbentuk dari proses pendinginan magma atau metamorfosis batuan sebelumnya sering ditemukan di dasar peta sebagai batuan tua yang membentuk komunitas batuan dasar.

Urutan batuan dari muda ke tua bukan hanya sekadar gambaran waktu, tetapi juga petunjuk besar tentang bagaimana bumi berkembang dan berubah melalui waktu panjang. Misalnya, lapisan batuan muda yang menutupi batuan tua bisa menunjukkan adanya proses sedimentasi di masa terakhir, sedangkan keberadaan batuan metamorf yang kompleks mengisyaratkan adanya tekanan dan suhu tinggi yang terjadi di masa lalu.

Selain itu, peta geologi juga membantu dalam pencarian sumber energi dan mineral, penentuan daerah rawan gempa, serta pembangunan infrastruktur yang aman dan sesuai dengan kondisi geologi setempat.

Peta geologi adalah jendela menuju jejak-jejak sejarah bumi yang tersusun dari batuan muda sampai tua. Dengan memahami susunan ini, kita tidak hanya mengerti tentang masa lalu bumi, tetapi juga bagaimana kita bisa memanfaatkan kekayaan alam secara bijaksana dan bertanggung jawab. Melalui gambar-gambar contoh batuan yang lengkap, kita dapat lebih mudah membayangkan proses alam yang panjang dan kompleks yang membentuk dunia tempat kita tinggal.

Berbagai gambar batuan yang ditemukan di sepanjang daerah zona Sesar Cimandiri, yang menunjukkan setiap jenis batuan dari berbagai formasi, dapat kita lihat pada Gambar 6.5 hingga Gambar 6.16. Gambar-gambar ini membantu kita memahami keberadaan dan karakteristik batuan yang membentuk zona sesar aktif tersebut. Melalui pengamatan langsung di lapangan dan gambar ini, kita bisa melihat secara nyata bagaimana batuan berbeda yang tercatat di peta geologi menggambarkan sejarah panjang proses geologi di wilayah ini.

Gambar 6.5 menunjukkan singkapan endapan berteras di hilir Sungai Cimandiri, tepatnya di daerah Palabuhanratu. Foto ini diambil oleh Sukahar Eka Adi Saputra pada tahun 2007. Singkapan ini memperlihatkan lapisan batuan yang tersusun secara berteras atau bertingkat, yang merupakan hasil dari proses sedimentasi dan



Gambar 6.5. Singkapan endapan teras di hilir Sungai Cimandiri, area Palabuhanratu (Foto: Sukahar Eka Adi Saputra, 2007).

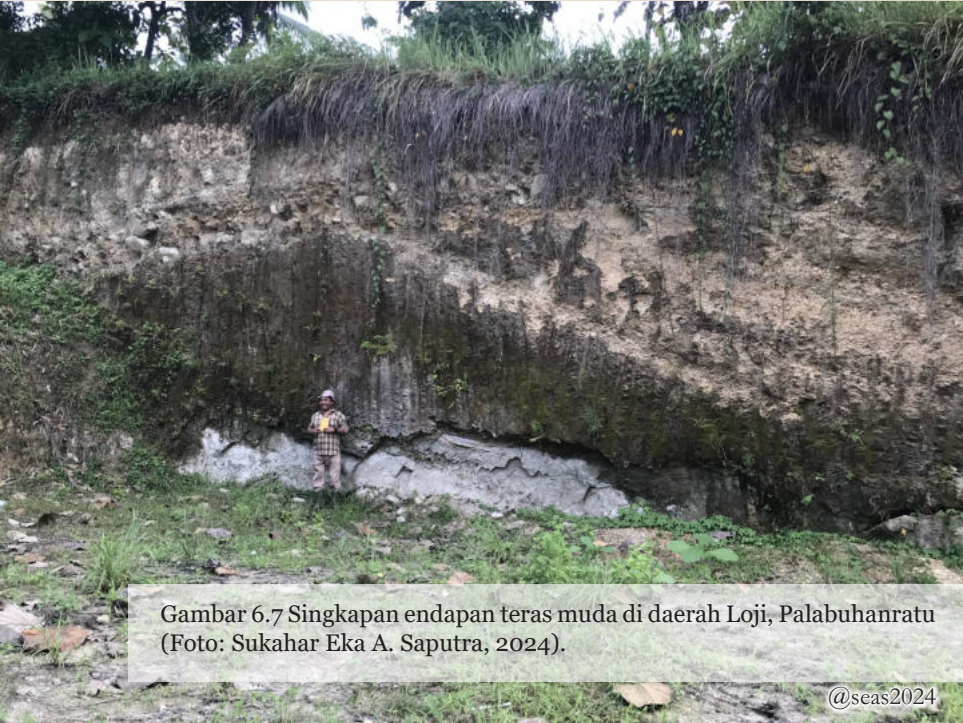


Gambar 6.6. Singkapan teras di Hulu Sungai Cimandiri, Area Cireungas – Kabupaten Sukabumi. (a) Foto bentang alam yang menampilkan teras sungai, (b) temuan arang kayu (*charcoal*) yang digunakan sebagai penunjuk umur lapisan pengendapan batuan, (c) teras yang terbentuk di hulu Sungai Cimandiri. Umur radiokarbon (C-14) pada sampel arang kayu tersebut adalah 17.798 ± 549 tahun sebelum kini (*Before Present/BP*), berdasarkan laporan Saputra, S.E.A., dkk., 2024. (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2024).

deformasi geologi yang terjadi di kawasan tersebut. Pengamatan terhadap gambar ini membantu kita memahami karakteristik batuan endapan yang ada di wilayah tersebut dan peranannya dalam sejarah geologi daerah Palabuhanratu di sepanjang Sesar Cimandiri.

Singkapan teras di hulu Sungai Cimandiri (Gambar 6.6), tepatnya di wilayah Cireungas, Kabupaten Sukabumi. Foto ini diambil oleh Sukahar Eka A. Saputra pada tahun 2024. Singkapan ini menunjukkan formasi batuan yang membentuk dataran bertingkat, yang biasanya terbentuk akibat proses erosi dan sedimentasi selama zaman geologi tertentu. Selain itu, ditemukan juga potongan arang kayu (*charcoal*) di sekitar area singkapan ini, yang sangat penting karena dapat digunakan sebagai bahan untuk menentukan umur batuan dan lapisan tanah di lokasi tersebut melalui teknik penanggalan radiokarbon. Umur radiokarbon ($C-14$) pada sampel arang kayu tersebut adalah 17.798 ± 549 tahun sebelum kini (BP), berdasarkan laporan Saputra, dkk., (2024). Temuan arang ini membantu para ilmuwan memahami usia dari formasi batuan dan aktivitas manusia di masa lalu saat batuan tersebut terbentuk atau pernah digunakan oleh manusia zaman dulu. Pengamatan gambar ini menjelaskan tentang karakteristik batuan di kawasan hulu Sungai Cimandiri, serta menunjukkan aktivitas tektonik dan proses deformasi yang pernah terjadi di daerah tersebut, semua ini turut berperan dalam membentuk lanskap kawasan Sukabumi dan memberi petunjuk penting tentang sejarah geologi dan kehidupan manusia di sana.

Singkapan pada Gambar 6.7 memperlihatkan lapisan batuan yang tergolong baru terbentuk dalam skala waktu geologi, terbentuk dari proses sedimentasi terbaru yang terjadi di daerah tersebut. Bentuknya yang berteras atau bertingkat menunjukkan bahwa endapan ini terbentuk melalui proses pengendapan material dari air, seperti pasir, kerikil, dan lumpur, yang kemudian mengendap dan mengeras seiring waktu. Pengamatan terhadap gambar ini membantu kita memahami karakteristik batuan yang terbentuk



Gambar 6.7 Singkapan endapan teras muda di daerah Loji, Palabuhanratu (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2024).

@scas2024

di masa terakhir dan bagaimana aktivitas geologi serta proses sedimentasi masih berlangsung di kawasan Palabuhanratu dan sekitarnya. Singkapan ini juga memberi petunjuk tentang dinamika lingkungan dan perubahan lanskap yang terjadi secara terus menerus di wilayah ini.

Singkapan batuan pada Gambar 6.8 menampilkan singkapan batu pasir tufan yang merupakan bagian dari Formasi Besar, terletak di daerah Nyalindung, Kabupaten Sukabumi. Tipe batu ini terbentuk dari lava dan material vulkanik yang mengendap dalam jumlah besar, biasanya terkait dengan aktivitas gunung berapi di masa lalu.

Bagian (a) dari gambar menunjukkan mahkota longsor yang terbentuk dari batuan ini, yang memperlihatkan bagian atas tanah yang bergelombang dan tergerus akibat proses pelapukan dan longsor. Pada bagian (b), terlihat jejak sesar pada mahkota longsor, menandai adanya aktivitas tektonik yang mempengaruhi stabilitas batuan dan memicu pergerakan tanah di kawasan



Gambar 6.8 Singkapan batupasir tufan bagian dari Formasi Besar di daerah Nyalindung, Kabupaten Sukabumi. (a) mahkota longsor, (b) jejak sesar di mahkota longsor (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2023). (c) dan (d) longsor di tempat yang sama, pada zona sesar Segmen Nyalindung (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2023, 2024).

tersebut. Selanjutnya, bagian (c) dan (d) menunjukkan longsor di tempat yang sama, tepatnya di zona Sesar Cimandiri bagian timur, yang terjadi pada tahun 2024. Dari gambar ini, kita bisa melihat bagaimana struktur sesar dan aktivitas tektonik terus mempengaruhi kondisi tanah dan batuan di daerah ini. Kejadian longsor ini menjadi bukti bahwa daerah ini sangat aktif secara geologi dan rentan terhadap bencana tanah seperti longsor saat terjadi aktivitas tektonik dan cuaca ekstrem.

Pengamatan dari gambar ini sangat penting untuk memahami hubungan antara batuan geologi, deformasi tektonik, dan risiko bencana di wilayah Sukabumi, serta untuk memperkuat upaya mitigasi bencana di kawasan tersebut.

Singkapan batuan breksi dan lahar yang merupakan produk dari aktivitas Gunung Gede (Gambar 6.9), di lokasi bekas galian pasir

Singkanan batuan breksi dan lahar dari Gunung Gede terdiri dari batupasir tufan yang dimanfaatkan tambang pasir



Gambar 6.9 Singkanan batuan breksi dan lahar produk Gunung Gede di bekas galian pasir Cimangkok, Kabupaten Sukabumi (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2023).

Cimangkok, Kabupaten Sukabumi. Batuan breksi ini terbentuk dari fragmen batuan yang besar dan runcing, yang dihasilkan dari proses eksplosif atau pelepasan energi besar selama letusan gunung berapi. Sementara itu, lahar adalah aliran lava berbentuk cair yang sangat panas dan mengalir menuruni lereng gunung berapi saat terjadi aktivitas vulkanik. Singkanan ini menunjukkan bukti kuat bahwa wilayah ini pernah mengalami aktifitas vulkanik yang cukup besar dari Gunung Gede, yang membentuk formasi batuan yang kasar dan berlapis.

Keberadaan batuan breksi dan lahar di lokasi ini tidak hanya memberikan gambaran tentang kekerasan dan tipe batuan yang terbentuk selama letusan, tetapi juga membantu para geolog memahami sejarah aktivitas gunung berapi di kawasan Sukabumi. Penemuan ini penting untuk penilaian risiko dan pengelolaan kawasan yang rawan bencana vulkanik di daerah tersebut serta sebagai salah satu jejak nyata dari sejarah geologi yang aktif di kawasan Gunung Gede.

Gambar 6.10 menunjukkan Goa Lalay, sebuah objek wisata menarik yang terletak di daerah Palabuhanratu. Goa ini terbentuk di atas batuan beku, yang merupakan batuan keras hasil dari pendinginan magma saat masih berada di bawah permukaan bumi.



Gambar 6.10 Goa Lalay salah satu objek wisata yang terbentuk pada batuan beku di daerah Palabuhanratu (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2024).

Keunikan Goa Lalay tidak hanya terletak pada bentuk dan struktur batuan beku yang bertahan selama ribuan tahun, tetapi juga pada keindahan di dalamnya yang memikat pengunjung. Di dalam goa ini, kita bisa melihat formasi batuan alami yang menyerupai lorong-lorong misterius dan arsitektur alam yang menakjubkan. Goa ini selain menjadi tempat wisata yang indah, juga menunjukkan jejak proses geologi yang sangat panjang: saat magma mendingin dan mengeras menjadi batu keras, membentuk struktur yang tahan terhadap erosi dan waktu.

Keberadaan Goa Lalay memperlihatkan bahwa wilayah Palabuhanratu bukan hanya kaya akan keindahan alamnya, tetapi juga menyimpan cerita tentang aktivitas vulkanik masa lalu yang penting untuk dipelajari. Menikmati keindahan Goa ini bukan hanya sekadar berwisata, tetapi juga sebagai pengalaman belajar tentang keajaiban proses pembentukan batuan dan geologi bumi yang aktif dan selalu berubah seiring waktu.

Pada Gambar 6.11 menampilkan keindahan bentang alam komplek batuan beku Jayanti yang terletak di utara Sungai Cilandir sebelum memasuki Teluk Palabuhanratu.

Pada bagian (a), terlihat pola perbukitan memanjang yang terbentuk dari batuan beku yang mengalami pengangkatan dan erosi, membentuk apa yang dikenal sebagai *shutter ridge*



Gambar 6.11 Bentang alam kompleks batuan beku Jayanti di utara Sungai Cimandiri. (a) Bentang alam membentuk pola perbukitan memanjang (*shutter ridge*) sebagai penanda morfologi/bentang alam zona sesar besar seperti halnya Sesar Cimandiri. (b) dan (c) Tekstur batuan beku di perbukitan Jayanti (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2024).

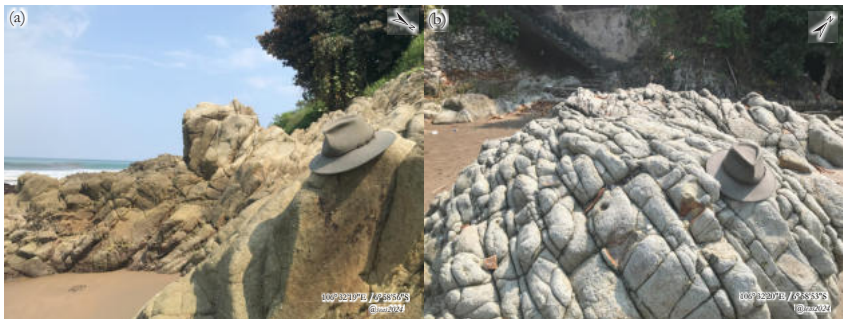
atau bukit memanjang. Pola ini menjadi penanda utama dari zona sesar besar seperti Sesar Cimandiri, karena pergerakan sesar tersebut menyebabkan batuan yang tertarik dan menonjol sehingga menciptakan bentuk bentang alam khas ini.

Sementara itu, bagian (b) dan (c) menunjukkan tekstur batuan beku yang ada di kawasan ini. Tekstur batuan ini biasanya keras dan berkristal halus atau kasar, tergantung pada proses pendinginan magma saat membeku. Tekstur ini penting karena membantu para geolog memahami bagaimana batuan terbentuk, apakah dari pendinginan cepat di permukaan atau pendinginan perlahan di bawah tanah.

Keindahan dan keunikan bentang alam Gunung Jayanti tidak hanya memperkaya pesona alam di zona Sesar Cimandiri, tetapi juga menjadi bukti nyata aktivitas tektonik dan proses geologi

masa lalu yang membentuk zona sesar besar di wilayah ini. Melalui bukti-bukti alam ini, kita bisa belajar bahwa proses pergerakan bumi sangat berpengaruh dalam membentuk *landscape* yang indah dan unik, sekaligus menjadi kawasan yang penting untuk dipahami secara geologi.

Tepat di tengah-tengah Teluk Palabuhanratu, ditemukan singkapan batuan beku seperti terlihat pada Gambar 6.12. Batuan ini merupakan bagian dari Satuan Lava Gunungapi, yang diberi kode Qv1 dalam peta geologi (lihat Gambar 6.2, 6.3, dan 6.4). Keberadaan singkapan ini menunjukkan bahwa daerah Pantai Palabuhanratu pernah menjadi pusat aktivitas vulkanik di zaman purba. Tekstur dan bentuk batuan ini membantu para geolog memahami proses letusan gunung berapi serta tingkat kekerasan dan usia batuan yang terbentuk.



Gambar 6.12 Singkapan batuan beku di daerah Pantai Palabuhanratu. Singkapan ini merupakan bagian dari Satuan Lava Gunungapi (Qv1), (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2024).

Batuan Beku dan Zona Sesar Besar: Petunjuk Baru dalam Menyingkap Sejarah Bumi di Zona Sesar Cimandiri

Di bumi ini, keberadaan batuan beku seringkali diartikan sebagai tanda aktivitas vulkanik masa lalu yang intens. Tapi, apa arti sebenarnya jika batuan beku muncul di kawasan zona sesar besar, seperti di zona Sesar Cimandiri?

Pada umumnya, batuan beku merupakan hasil dari magma yang mendingin dan mengeras di bawah tanah atau di permukaan bumi. Kemunculan batuan ini biasanya berkaitan dengan aktivitas gunung berapi, letusan besar, atau proses pembekuan magma yang keluar dari kerak bumi. Tapi, banyak kajian menunjukkan bahwa di zona sesar terutama yang besar dan aktif batuan beku juga bisa muncul karena proses lain yang tak langsung berkaitan dengan letusan gunung berapi permukaan.

Di zona Sesar Cimandiri, misalnya, ditemukan beberapa singkapan batuan beku di daerah Teluk Palabuhanratu (Gambar 6.10, 6.11, dan 6.12). Penemuan ini cukup menarik karena biasanya zona sesar besar terkenal sebagai jalur patahan yang menyebabkan pergerakan tektonik dan gempa bumi, bukan sebagai tempat utama terbentuknya batuan beku. Apakah sebenarnya makna dari kemunculan batuan beku di kawasan ini? Untuk menjawab pertanyaan ini diperlukan penelitian lebih lanjut, di sinilah tantangan bagi para penyelidik bumi untuk bisa menguak lebih dalam geologi di Zona Sesar Cimandiri.

Mungkin saja, kehadiran batuan beku di zona sesar bukan kebetulan, melainkan petunjuk bahwa di masa lalu, di bawah permukaan bumi, terjadi proses pendinginan magma yang cukup ekstrem dan aktif di dekat sesar besar ini. Bisa jadi, magma yang terkumpul dan mendingin di kedalaman menyebabkan terbentuknya batuan beku yang kemudian tersingkap karena aktivitas sesar yang merobek permukaan bumi, diperkirakan kurang lebih 6 km di bawah permukaan seperti terlihat dari pembahasan sub judul “Menelusuri Jejak Rahasia di Dunia Bawah Tanah Sesar Cimandiri” dengan metode geofisika gaya berat (Natsir, *dkk*, 2007)

Lebih dari itu, keberadaan batuan beku di zona sesar bisa membuka peluang untuk mengembangkan hipotesis baru dalam ilmu geologi. Misalnya, kita bisa berhipotesis bahwa zona Sesar Cimandiri pernah menjadi wilayah aktivitas magmatik yang cukup intens,

bukan hanya sebagai jalur pergerakan sesar. Jika benar, ini akan mengubah pandangan kita tentang sejarah geologi daerah ini: dari sekadar zona aktif yang menyebabkan gempa, menjadi kawasan yang pernah mengalami periode magmatik aktif yang signifikan.

Hipotesis baru ini sangat penting karena bisa memberikan wawasan berbeda tentang evolusi tektonik kawasan tersebut. Mungkin saja, dalam jangka waktu tertentu, aktivitas tektonik dan magmatik (*oceanic rifting*) saling berinteraksi dan mempengaruhi satu sama lain di zona ini. Misalnya, pergerakan lempeng dan pelepasan energi dari sesar besar bisa memicu naiknya magma dari kedalaman, yang kemudian membeku dan membentuk batuan beku.

Dalam skenario ini, penelitian dan pemetaan batuan beku di zona sesar besar seperti Cimandiri tidak hanya penting sebagai bukti jejak masa lalu, tetapi juga sebagai jalan untuk menyusun teori baru yang menyatukan peristiwa tektonik, vulkanik, dan deformasi bumi secara lebih komprehensif.

Kemunculan batuan beku di zona Sesar Cimandiri bukanlah sekadar kejadian kebetulan, melainkan petunjuk penting yang dapat membuka pemikiran baru dalam ilmu geologi. Kehadiran batuan ini berpotensi menjadi bukti bahwa di masa lampau, kawasan ini pernah mengalami aktivitas magmatik yang cukup besar, yang mungkin terkait dengan proses tektonik dan deformasi di zona sesar besar. Dengan memperhatikan temuan ini, para ilmuwan berkesempatan menyusun hipotesis baru yang dapat memperkaya pemahaman kita tentang sejarah geologi dan proses dinamika bumi di wilayah ini, sebuah langkah penting dalam menguak misteri bumi yang selalu aktif dan berubah.

Pada Gambar 6.13 menunjukkan singkapan batu lempung yang di dalamnya terdapat sisipan batu pasir dan napal, yang merupakan bagian dari Formasi Nyalindung berumur sekitar 15 juta tahun lalu. Lokasi singkapan ini adalah di Sungai Cimandiri, Desa Cibat, Kecamatan Cikembar.



Gambar 6.13. Singkapan batulempung dengan sisipan batupasir dan napal bagian dari Formasi Nyalindung, di Sungai Cimandiri, Desa Cibatu, Kecamatan Cikembar, (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2024).

Apa yang membuat gambar ini menarik dan unik? Pertama, keberadaan batu lempung menunjukkan bahwa daerah ini pernah terjadi proses pengendapan di lingkungan basah, seperti delta, laguna, atau dasar laut dangkal, jutaan tahun yang lalu. Sisipan batu pasir dan napal menambah kisah bahwa kondisi lingkungan saat itu tidak tetap; kadang berair asin dan berpasir, kadang basah dan lembut, tergantung situasi dan proses sedimentasi yang terjadi.

Selain itu, singkapan ini menjadi satu bukti nyata dari bagaimana bumi kita menyimpan berbagai cerita dari masa lalu dalam lapisan batuan. Batu lempung ini sangat halus dan lembut, sementara sisipan pasir menunjukkan adanya perubahan kondisi lingkungan yang mendadak atau berfluktuasi saat batuan terbentuk. Napal

yang hadir menambahkan unsur perlambang lingkungan yang sangat basah dan lembab.

Mengamati dan mempelajari singkapan seperti ini penting karena memberi kita gambaran tentang sejarah geologi kawasan Sesar Cimandiri, sekaligus memperkaya pengetahuan tentang proses sedimentasi, perubahan iklim, dan lingkungan masa lalu bumi kita. Tak hanya menjadi sebuah fragmen batuan, singkapan ini adalah saksi bisu dari perjalanan panjang bumi, yang mengingatkan kita bahwa di balik keindahan alam, tersimpan kisah panjang tentang sejarah kehidupan dan evolusi bumi yang menunggu untuk diungkap.

Pada Gambar 6.14 memperlihatkan dari batuan yang berasal dari Formasi Cimandiri, kelompok batuan yang berumur Miosen Tengah (sekitar 5 – 11 juta tahun lalu). Pada bagian (a), terlihat singkapan batupasir yang menyisip di antara lapisan batu lempung. Bayangkan, batupasir ini adalah bukti bahwa di masa lalu, daerah ini pernah mengalami pengendapan material yang kasar dan bergranit, seperti pasir yang terbawa oleh ombak atau sungai di dekat pantai. Kehadiran batu pasir di dalam batulempung menunjukkan bahwa kondisi lingkungan saat itu sering berubah—mulai dari lembab dan tenang, ke kondisi yang lebih kering dan berangin, yang memungkinkan batupasir terbentuk dan tersusun di lapisan batu lempung halus.

Nah, bayangkan juga jejak yang terlihat di bagian (b) sebuah garis yang menunjukkan jalur pergerakan batuan sepanjang waktu! Jejak ini adalah jejak sesar, yang menunjukkan bahwa gerakannya relatif barat timur. Bayangkan bumi seperti sebuah mesin besar yang sedang bergerak dan tersusun dari banyak bagian yang saling bergesekan. Kalau kita memperhatikan garis ini, kita bisa tahu bahwa energi besar sedang dilepaskan lewat pergeseran bumi ini.

Mengamati singkapan batu pasir dan jejak sesar ini penting banget karena mereka memberi kita cerita langsung tentang bagaimana bumi ini berubah dan bergerak selama jutaan tahun.



Gambar 6.14. Singkapan batuan Formasi Cimandiri. (a) Singkapan batupasir sisipan batulempung bagian dari Formasi Cimandiri dan (b) jejak sesar dengan arah gerak sesar relatif barat-timur. (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2024).

Seperti membongkar *puzzle* besar, setiap singkapan dan garisnya menolong kita memahami proses alami yang membentuk landscape yang kita lihat hari ini, dan juga memperingatkan kita akan kekuatan alam yang terus bergerak dan aktif di kawasan ini. Jadi, setiap batu dan jejak di sini bukan cuma bagian dari bumi, tapi juga cerita yang menunggu kita untuk membacanya!

Pada Gambar 6.15 memperlihatkan hasil pengamatan jejak sesar di daerah Cireungas, yang menampilkan bukit-bukit di sekitar hulu Sungai Cimandiri (lihat juga Gambar 6.40).

Pada bagian (a), kita bisa melihat salah satu perbukitan yang mengalami longsoran, yang menunjukkan bahwa area ini sering terkena gerakan tanah dan pergeseran tanah secara alami. Longsoran ini tidak terjadi begitu saja, melainkan lebih terkait dengan aktivitas sesar yang aktif memotong dan menggerakkan batuan di kawasan tersebut.

Di bagian (b), terdapat jejak sesar yang ditandai dengan lingkaran merah. Jejak ini menunjukkan garis yang berarah relatif dari Timur Laut ke Barat Daya, yang terlihat jelas di tebing bukit seperti di foto bagian (a). Jejak ini adalah bukti nyata bahwa tanah dan batuan di kawasan ini pernah mengalami pergeseran signifikan akibat aktivitas tektonik. Jejak sesar ini menegaskan keberadaan Sesar Cimandiri, yang sebelumnya sudah diidentifikasi melalui peta geologi (Gambar 6.2).

Pengamatan ini sangat penting karena keberadaan jejak sesar menunjukkan bahwa kawasan Cireungas dan sekitarnya adalah wilayah yang masih aktif secara tektonik, yang terus mengalami pergeseran dari waktu ke waktu. Keberadaan sesar ini menjadi salah satu faktor utama dalam memahami potensi risiko gempa bumi di daerah ini. Dengan mengetahui lokasi dan arah pergerakan sesar, kita dapat melakukan pengelolaan risiko lebih baik dan meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat terhadap bencana gempa.

Secara keseluruhan, data geologi ini mengingatkan kita bahwa bumi ini selalu bergerak, dan jejak pergerakan tersebut bisa kita lihat dan pelajari langsung dari jejak-jejak yang tertinggal di alam.

Mari kita lihat Gambar 6.16 yang memperlihatkan singkapan batuan breksi yang termasuk ke dalam Formasi Jampang, sebuah satuan batuan yang penting dalam sejarah geologi kawasan ini.



Gambar 6.15. Pengamatan jejak sesar di daerah Cireungas. (a) Salah satu perbukitan di bagian hulu Sungai Cibandiri yang terjadi longsor., (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2024). (b) jejak sesar (lingkaran merah) berarah relative timurlaut-baratdaya pada tebing bukit seperti di foto (a), jejak sesar tersebut pendukung keberadaan Sesar Cireungas (lihat peta geologi, Gambar 6.2). Credit foto; Budiyanto, 2023.



Gambar 6.16. Singkapan batuan breksi bagian dari Formasi Jampang. (a) Breksi vulkanik yang tersingkap di pinggir jalan dan menjadi dinding Lembah Sungai Cimandiri di daerah Mekarasih dekat dengan air terjun Cibubuay, (b) *Amygdaloidal*, yaitu jejak lubang-lubang gas (vesikel) yang terbentuk saat pendinginan telah terisi oleh mineral-mineral sekunder seperti kacang almond menandakan pembentukan batuan ini pernah terendapkan di lingkungan laut pada masa lampau dalam skala waktu geologi (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2024).

Pada bagian (a), terlihat batu breksi vulkanik yang tersingkap di pinggir jalan dan membentuk dinding alami di lembah Sungai Cimandiri, dekat area air Terjun Cibubuay di Mekarasih. Batuan

breksi vulkanik ini terbentuk dari fragmen batuan keras yang dihasilkan dari letusan gunung berapi, yang kemudian mengalami proses pengendapan dan pengerasan. Keberadaan batuan ini di lokasi terbuka menunjukkan bahwa aktivitas vulkanik di masa lalu sangat ekstrim dan membentuk lanskap kawasan sekitar.

Sementara itu, bagian (b) menunjukkan batuan dengan ciri *amygdaloidal*, yaitu batuan yang memiliki lubang-lubang kecil yang dulu berisi gas saat pendinginan magma berlangsung. Lubang-lubang ini, yang bentuknya seperti kacang *almond*, lalu diisi oleh mineral-mineral sekunder yang terbentuk dari proses hidrotermal setelah batuan mending. Keberadaan struktur ini menandakan bahwa batuan ini terbentuk di lingkungan laut, di mana magma keluar dari dasar laut dan mending saat berada di lingkungan dengan kondisi air yang tinggi.

Makna penting dari pengamatan ini adalah bahwa keberadaan batuan breksi dan *amygdaloidal* ini membawa kita pada pemahaman bahwa kawasan ini pernah menjadi daerah aktivitas vulkanik dan laut di masa lalu. Sejarah geologi ini membantu kita mengerti bagaimana proses magma dan aktivitas gunung berapi membentuk lanskap dan batuan di wilayah Jawa Barat. Selain itu, struktur lubang gas yang terisi mineral ini adalah bukti bahwa proses pendinginan lava tidak hanya meninggalkan jejak fisik, tetapi juga berkontribusi pada pembentukan mineral-mineral penting yang bisa jadi memiliki manfaat ekonomi.

Gambar 6.17 menampilkan singkapan batuan dari batugamping yang berasal dari Formasi Rajamandala. Pada bagian (a), terlihat batuan batugamping yang memiliki ciri khas sebagai batuan terumbu yang terbentuk di permukaan. Bentuknya yang khas menunjukkan bahwa batuan ini dulunya adalah bagian dari ekosistem terumbu karang di laut dangkal, di mana organisme laut seperti karang, alga, dan koral hidup dan membangun struktur yang keras dan berwarna-warni. Struktur ini mencerminkan proses biologis dan sedimen yang berlangsung selama jutaan tahun yang lalu. Sedangkan, bagian (b) memperlihatkan tekstur



Gambar 6.17. Batugamping Formasi Rajamandala. (a) Ciri khas batugamping terumbu bentukan di permukaan, (b) lebih detail dengan tekstur batugamping terumbu (Foto:Sukahar Eka A. Saputra, 2024).

detail dari batugamping terumbu ini. Di sini, kita bisa melihat pola dan struktur mineral yang membentuk batuan, termasuk fragmen kerang, koral, atau struktur internal yang menandakan proses pertumbuhan organisme laut di masa lampau. Tekstur memberi informasi tentang kondisi lingkungan laut saat batuan terbentuk, seperti kedalaman air, suhu, dan tingkat kehidupan biotiknya.

Pengamatan di singkapan ini menunjukkan bahwa daerah ini pernah menjadi bagian dari ekosistem laut yang kaya dan aktif. Keberadaan batuan terumbu ini tidak hanya memperkaya kisah geologi kawasan, tetapi juga menunjukkan bahwa masa lalu bumi di tempat ini penuh kehidupan dan aktivitas biologis.

Pada Gambar 6.18 bagian (a) dan (b), kita bisa melihat batuan lempung yang halus dan berlapis-lapis, tersingkap di lapangan. Batuan ini terbentuk dari endapan bahan organik dan mineral yang mengendap di lingkungan laut dangkal atau rawa selama zaman Oligosen, yaitu sekitar 23 hingga 28 juta tahun yang lalu. Struktur berlapis ini menunjukkan proses sedimentasi yang berlangsung secara perlahan dan berkesinambungan, mencerminkan kondisi lingkungan yang tenang dan stabil saat batuan ini terbentuk.

Keberadaan batulempung dalam Formasi Batuasih ini penting karena memberi petunjuk bahwa daerah tersebut pernah menjadi lingkungan basah dan dangkal, seperti delta atau dasar laut dengan aktivitas sedimen dari sungai dan arus laut pada masa itu.



Gambar 6.18. Batulempung bagian dari Formasi Batuasih (a) dan (b) (Sumber: Saputra, dkk, 2023, Foto: Wahyudiono, R.M., Rumiya, R., 2023).

Selain itu, batuan lempung ini sering digunakan sebagai bahan bangunan, bahan baku industri, atau sebagai bahan penelitian sejarah geologi kawasan tersebut.

Pengamatan singkapan ini sangat membantu kita memahami sejarah panjang bumi, yaitu sekitar 23 hingga 28 juta tahun yang lalu, serta proses pembentukan *landscape* dan keragaman geologi di daerah ini. Dengan mengetahui karakteristik batuan dan strukturnya, kita bisa lebih memahami bagaimana bumi terus berubah dan menyimpan jejak sejarahnya selama berjuta-juta tahun.

Gambar 6.19 menampilkan singkapan batuan batupasir kuarsa dari Formasi Walat. Formasi ini merupakan formasi batuan yang berumur paling tua di wilayah Sukabumi dan sekitarnya. Umur Formasi Walat ini Oligosen (sekitar 28 juta tahun lalu).

Pada bagian (a), terlihat jalan yang menuju ke lokasi penambangan pasir kuarsa, menunjukkan bahwa batuan ini menjadi sumber bahan industri, karena pasir kuarsa dikenal karena kandungan silika yang tinggi dan penggunaannya dalam industri kaca dan keramik. Batu pasir ini terbentuk dari butiran pasir yang berkilauan dan keras, yang mengendap di lingkungan laut dangkal selama waktu yang panjang.



Gambar 6.19. Singkapan batuan batupasir kuarsa, Formasi Walat. (a) Jalan menuju penambangan pasir kuarsa, (b) jejak sesar naik minor, (c) konglomerat terdapat pada bagian bawah Formasi Walat (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2023).

Di bagian (b), terlihat jejak sesar naik minor, yang menunjukkan adanya pergerakan tektonik yang menyebabkan batuan mengalami pergeseran dan pencengkungannya. Jejak mengindikasikan bahwa wilayah ini secara tektonik telah mengalami deformasi akibat tekanan dari aktivitas Lempeng Bumi. Jika ada kegempaan dengan mekanisme fokal mekanisme sesar naik di sekitar Formasi Walat ini, itu berarti Sesar Walat tersebut mengalami re-aktivasi, atau sesar tua aktif kembali.

Pada bagian (c), terlihat adanya konglomerat di bagian bawah formasi, yang terdiri dari batuan berukuran besar dan kerikil yang tersusun rapat. Konglomerat ini menunjukkan bahwa dahulu daerah ini pernah mengalami aliran arus kuat dan pengendapan

bahan material berukuran besar, yang kemudian tertumpuk dan mengeras menjadi batuan keras seperti sekarang.

Secara keseluruhan, singkapan ini menggambarkan proses pembentukan batuan dalam formasi tersebut, dari konglomerat yang menandai endapan dasar, hingga batupasir kuarsa yang terbentuk dari pengendapan pasir silika, serta jejak aktivitas tektonik yang terus berlangsung. Semua ini memberi kita wawasan mengenai sejarah geologi kawasan ini, serta potensi sumber daya mineral yang dimilikinya.

6.3 Analisa Morfotektonik (Bentuk Permukaan Bumi dan Struktur Geologi)

Morfotektonik adalah salah satu metode yang digunakan untuk mempelajari patahan atau sesar aktif di bumi. Metode ini memanfaatkan data dari peta elevasi yang disebut *Digital Elevation Model* (DEM) dan pengamatan langsung di lapangan. Sesar aktif sendiri adalah retakan di kulit bumi yang masih bergerak dan berpotensi menyebabkan gempa bumi di masa depan. Para ahli geologi menganggap sesar sebagai aktif jika mereka menemukan bukti bahwa sesar tersebut pernah bergerak dalam 10.000 – 11.000 tahun terakhir, misalnya melalui adanya aktivitas gempa atau perubahan bentuk bentang alam di lapangan.

Dalam studi di kawasan Sesar Cimandiri, para penulis menggunakan berbagai data seperti DEMNAS, DEM biasa, dan IfSAR untuk mengidentifikasi berbagai bentuk permukaan yang terbentuk akibat aktivitas sesar. Beberapa fitur yang diamati meliputi gawir sesar (*fault scarp*), pergeseran sungai yang terpotong (*offset drainage channel*), teras sungai yang terbentuk di tepi lembah (*river terrace*), kipas aluvium yang muncul di depan/muka pegunungan dan diperkirakan terbentuk akibat aktivitas sesar (*alluvial fan*), faset segitiga di tepi bukit (*triangular facet*), jajaran bukit yang terbentuk di zona sesar (*shutter ridges*), serta titik-titik di mana ketinggian tiba-tiba berubah secara mendadak (*knick point*).

Selain itu, data tentang gerakan tanah dan tanah longsor (*landslide*) juga digunakan untuk melihat apakah pola tanah bergerak atau bergeser mengikuti aktivitas sesar di area tersebut. Sejarah gempa besar dan kerusakan akibat gempa juga dipetakan untuk mengetahui hubungan langsung antara aktivitas sesar dan kejadian gempa besar, memastikan bahwa garis-garis yang terlihat di peta memang merupakan sesar aktif.

Penyelidikan yang dituangkan ke dalam buku ini juga memperhatikan keberadaan mata air, termasuk mata air panas, karena biasanya mata air panas yang muncul di zona sesar menandai adanya aktivitas geotermal yang erat kaitannya dengan gerakan sesar di bawah tanah. Informasi tentang keberadaan mata air panas ini di dapat ketika survei pemetaan sesar aktif di Kabupaten Sukabumi di tahun 2024, yang mana para penulis sendiri yang melaksanakan survei pemetaan tersebut. Keterdapatan mata air sebagian sudah tersedia di peta geologi regional, seperti di daerah Sukabumi dan sekitarnya, termasuk di peta Lembar Jampang dan Balekamba serta peta Lembar Bogor, yang semuanya membantu mengidentifikasi lokasi aktifitas sesar dan potensi sumber panas bumi di kawasan tersebut.

Dengan memadukan berbagai data ini, para ahli dapat memahami jalur dan aktivitas Sesar Cimandiri, serta memperkirakan potensi gempa di masa depan agar masyarakat dan pemerintah dapat mengambil langkah pencegahan yang tepat. Jadi, morfotektonik bukan hanya tentang bentuk permukaan tanah, tetapi juga tentang memahami gerakan bawah tanah yang membentuk dan mengubah wajah bumi kita.

Buku ini merupakan juga hasil penyelidikan morfotektonik di zona Sesar Cimandiri dengan pembagian beberapa segmen. Kenapa harus dibagi per-segmen sesar aktif tersebut? Berikut jawabannya yang di tuangkan dalam Bab ini dilengkapi dengan bukti-bukti hasil penyelidikan di lapangan.

Penyelidikan sesar aktif harus dibagi menjadi beberapa segmen karena setiap bagian dari sesar bisa berbeda-beda dalam hal

tingkat aktivitas dan potensi menyebabkan gempa. Dimisalkan, seperti memotong sebuah tali panjang, sebagian bagian bisa tegang dan rawan putus, sementara bagian lainnya malah lebih longgar dan aman.

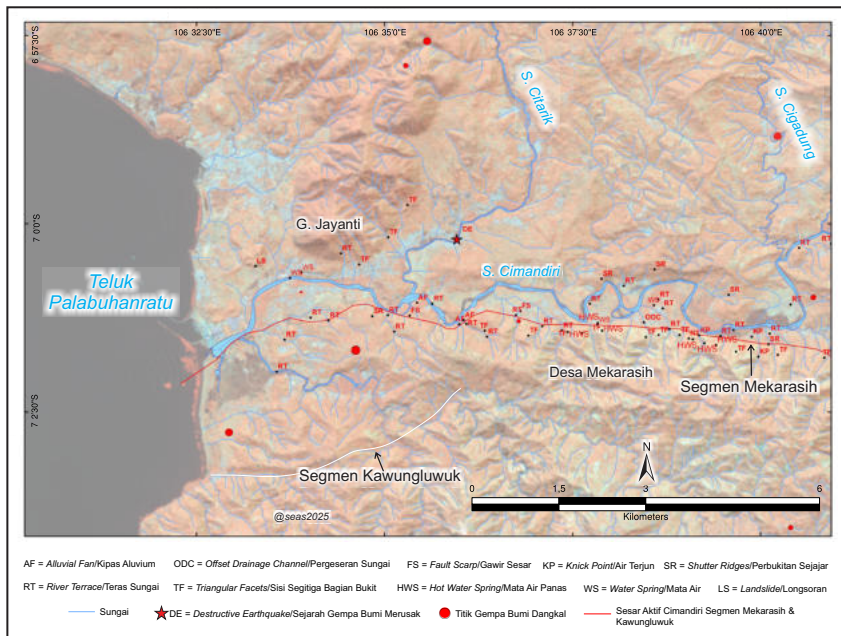
Begitu juga dengan sesar, tidak semua bagian bergerak dengan kecepatan, frekuensi, atau kekuatan yang sama. Ada bagian yang sangat aktif dan sering bergerak menyebabkan gempa besar, sementara bagian lain mungkin jarang bergerak dan lebih stabil. Kalau hanya melihat seluruh sesar sebagai satu kesatuan besar, kita akan kehilangan informasi penting tentang bagian mana yang sebenarnya berbahaya dan harus diwaspadai.

Dengan membagi sesar menjadi beberapa segmen, para penyelidik bumi bisa lebih fokus mempelajari dan memantau bagian mana yang paling aktif dan berisiko tinggi menimbulkan gempa besar di masa depan. Jadi, memecah sesar menjadi segmen-segmen ini membantu kita memahami risiko secara lebih tepat dan melakukan langkah pencegahan yang lebih efektif, terutama dalam perencanaan kota, pembangunan infrastruktur, dan mitigasi bencana. Singkatnya, membaginya menjadi segmen membuat kita lebih bijak dan waspada dalam menghadapi kekuatan bumi yang selalu aktif bergerak!

6.3.1 Sesar Cimandiri – Segmen Kawung Luwuk

Gambar 6.20 adalah peta yang menunjukkan berbagai bentuk permukaan bumi atau morfologi yang terbentuk akibat aktivitas dari Sesar Cimandiri bagian barat, tepatnya di daerah hilir Sungai Cimandiri sekitar Teluk Palabuhanratu.

Peta ini merupakan hasil dari penelitian yang dilakukan di dua bagian penting dari sesar ini, yaitu Segmen Kawung Luwuk dan Segmen Mekarasih. Melalui peta ini, kita bisa melihat berbagai fitur permukaan tanah yang menunjukkan adanya pergerakan dan deformasi batuan di masa lalu dan saat ini.



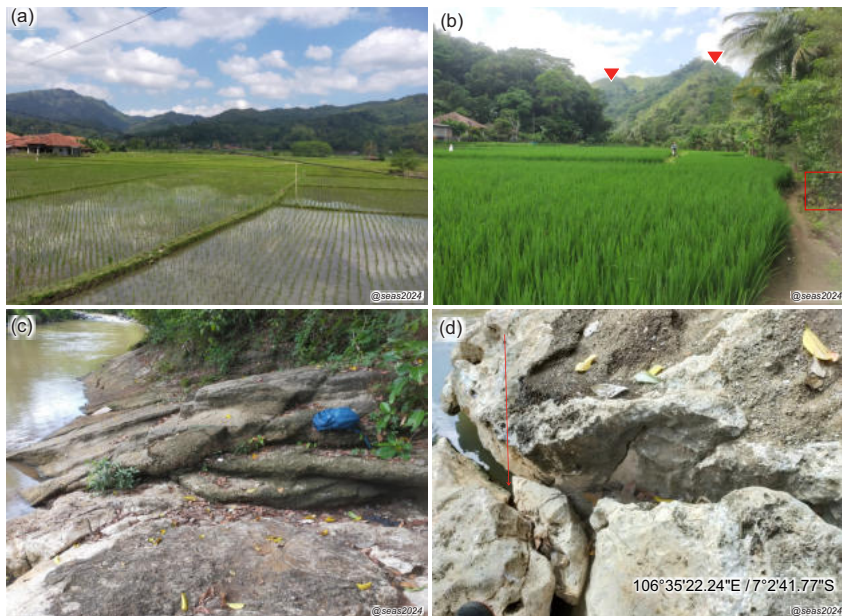
Gambar 6.20 Peta morfotektonik aspek pada Sesar Cimandiri bagian barat di daerah hilir Sungai Cimandiri sekitar Teluk Palabuhanratu. Peta ini merupakan hasil penyelidikan di Segmen Kawung Luwuk dan Segmen Mekarasih. Beberapa aspek morfotektonik terlihat di bagian legenda/keterangan peta.

Bagian legenda di peta menjelaskan berbagai aspek morfotektonik yang diamati, seperti gawir sesar (*fault scarp*), pergeseran sungai yang terpotong (*offset drainage channel*), teras sungai yang terbentuk di tepi lembah (*river terrace*), kipas aluvium yang muncul di depan/muka pegunungan dan diperkirakan terbentuk akibat aktivitas sesar (*alluvial fan*), faset segitiga di tepi bukit (*triangular facet*), jajaran bukit yang terbentuk di zona sesar (*shutter ridges*), serta titik-titik di mana ketinggian tiba-tiba berubah secara mendadak (*knick point*).

Fitur-fitur ini memberi tahu kita bahwa daerah sekitar Palabuhanratu dan sekitarnya adalah wilayah yang aktif secara tektonik, di mana sesar berperan besar dalam membentuk lanskap daerah tersebut.

Dengan mempelajari aspek morfotektonik ini, kita dapat memahami bagaimana aktivitas Sesar Cimandiri mempengaruhi bentuk muka bumi, serta pentingnya melakukan pemantauan agar wilayah ini tetap aman dari risiko gempa dan bencana alam lainnya di masa mendatang. Jadi, peta ini bukan sekadar gambaran visual, tetapi data tentang kekuatan bumi yang terus bergerak dan membentuk kawasan sekitar.

Mari kita lihat di Segmen Kawung Luwuk, di Gambar 6.21 menampilkan keindahan dan keunikan dari mata air yang ditemukan di Kawung Luwuk. Pada bagian (a) dan (b), terlihat bentuk permukaan tanah yang berbentuk segitiga, dikenal sebagai segitiga facet (*triangular facet*). Bentuk ini terbentuk karena proses tektonik yang menyebabkan bagian tepi lembah atau bukit menonjol dan terpenting karena menandai zona



Gambar 6.21. Mata air di Kawung Luwuk. (a) dan (b) bentangalam morfologi segmen Kawung Luwuk berupa segitiga facet (*triangular facet*). (c) dan (d) mata air panas yang muncul di sungai persis di bawah segitiga facet (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2025).

aktifnya sesar di daerah tersebut. Segitiga facet ini merupakan tanda bahwa batuan di daerah itu sedang mengalami pergeseran dan deformasi akibat aktivitas sesar yang terus berlangsung.

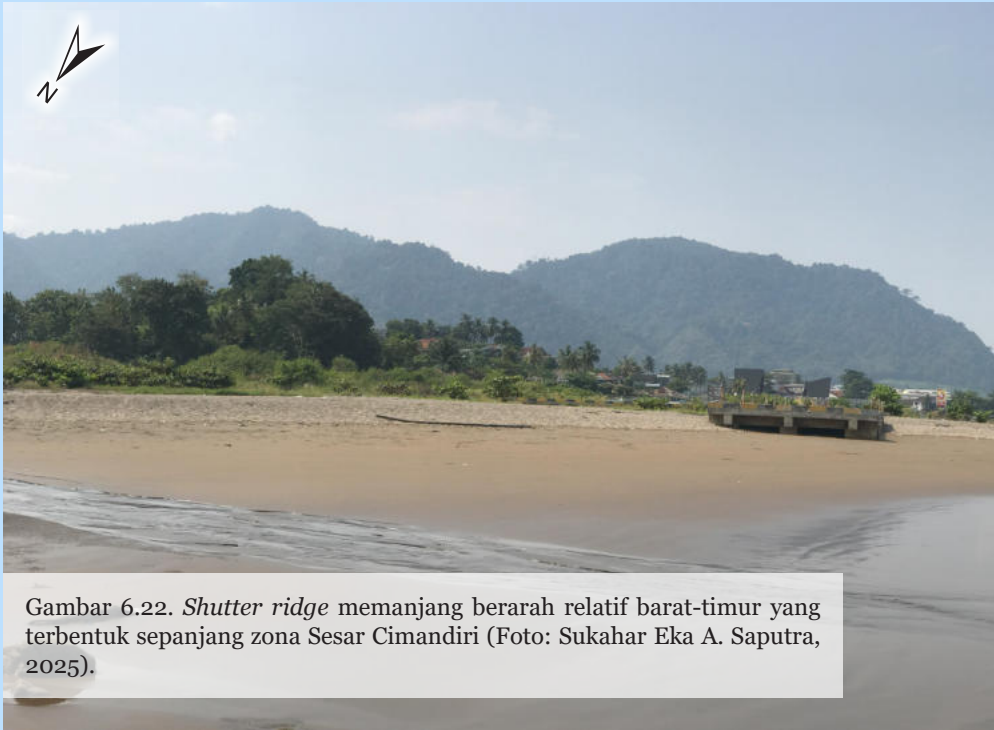
Di bagian (c) dan (d), terlihat mata air panas yang muncul di sungai tepat di bawah salah satu segitiga facet. Mata air panas ini merupakan sumber air yang mengalir dari bawah tanah dengan suhu tinggi, biasanya karena adanya aktivitas geotermal atau panas bumi di daerah tersebut. Munculnya mata air panas di lokasi ini menambah cerita bahwa kawasan Kawung Luwuk masih aktif secara geologi dan memiliki potensi energi panas bumi walau dalam skala kecil.

Melalui gambar ini, kita bisa belajar bahwa bentuk-bentuk permukaan yang unik seperti segitiga facet tidak hanya mempercantik panorama, tetapi juga memberi petunjuk penting tentang aktivitas tektonik dan sumber panas bumi yang tersembunyi di bawah tanah. Mata air panas yang muncul di bawah segitiga facet menunjukkan adanya hubungan langsung antara deformasi bumi dan geotermal, memperlihatkan bahwa bumi terus bergerak dan menyimpan energi yang bisa dimanfaatkan untuk masa depan.

6.3.2 Sesar Cimandiri – Segmen Mekarasih

Pada zona Sesar Cimandiri Segmen Mekarasih di daerah hilir Sungai Cimandiri pertemuan sungai tersebut dengan perairan Teluk Palabuhanratu terdapat beberapa unsur morfotektonik seperti terlihat pada Gambar 6.20. Beberapa aspek morfotektonik tersebut juga dijumpai di lapangan seperti diperlihatkan pada Gambar 6.22 sampai Gambar 6.27.

Salah satu unsur penting sesar morfotektonik dalam penyelidikan sesar aktif adalah *shutter ridge* seperti terlihat pada Gambar 6.22 menampilkan sebuah *shutter ridge* atau bukit memanjang yang terbentuk sepanjang zona Sesar Cimandiri, dengan arah relatif dari barat ke timur.



Gambar 6.22. *Shutter ridge* memanjang berarah relatif barat-timur yang terbentuk sepanjang zona Sesar Cimandiri (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2025).

Shutter ridge ini merupakan pola permukaan yang khas di daerah sesar aktif. Bentuknya berupa bukit atau jajaran perbukitan yang memanjang mengikuti jalur sesar, dan terbentuk akibat pergerakan bumi yang menyebabkan bagian tanah di satu sisi sesar menjadi naik ke atas sementara sisi lainnya tetap lebih rendah.

Keberadaan *shutter ridge* ini sangat penting karena menandai lokasi sesar aktif yang masih bergerak. Bentuk yang memanjang dan sejajar dengan zona sesar menunjukkan bahwa pergerakan tektonik di wilayah ini cukup kuat dan berperan besar dalam membentuk *landscape* daerah sekitar Palabuhanratu dan sekitarnya.

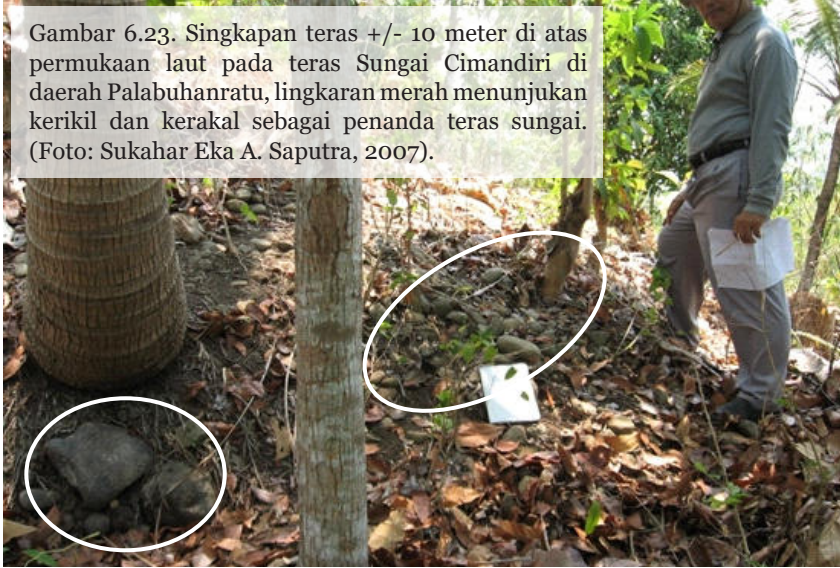
Gambar ini mengingatkan kita bahwa bumi terus bergerak dan bahwa struktur-struktur apik ini bukan hanya keindahan alam,



tetapi juga bukti nyata proses alami yang aktif dan berpengaruh terhadap risiko akibat aktivitas sesar di kawasan tersebut. Memahami dan memantau *shutter ridge* seperti ini sangat penting untuk pengurangan risiko bencana dan pengembangan wilayah yang aman di masa depan.

Gambar 6.23 memperlihatkan sebuah singkapan teras sungai purba yang berada sekitar 10 meter di atas permukaan laut, di tepi Sungai Cimandiri di daerah Palabuhanratu. Ciri utama dari singkapan ini adalah berupa *teras* atau dataran datar yang terbentuk dari endapan tanah dan batuan lepas yang menumpuk selama waktu yang cukup lama. Teras ini menunjukkan bahwa wilayah tersebut pernah mengalami proses pengendapan yang stabil dan berlangsung dalam jangka waktu panjang, sehingga membentuk permukaan datar yang cukup tinggi di atas permukaan laut saat ini.

Gambar 6.23. Singkapan teras +/- 10 meter di atas permukaan laut pada teras Sungai Cimandiri di daerah Palabuhanratu, lingkaran merah menunjukkan kerikil dan kerakal sebagai penanda teras sungai. (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2007).



Teras ini sangat penting karena memberikan petunjuk tentang sejarah geomorfologi kawasan tersebut. Berdasarkan lokasi dan ketinggiannya, para ilmuwan bisa memperkirakan bahwa area ini pernah menjadi bagian dari dataran yang lebih tinggi atau area yang tidak terlalu dekat dengan laut di masa lalu. Penyebab terbentuknya teras sungai purba yang berada di ketinggian sungai yang sekarang adalah proses tektonik Sesar Cimandiri. Keberadaan teras ini menandakan bahwa aktivitas sehari-hari dan pergerakan lempeng di zona Sesar Cimandiri secara perlahan mempengaruhi elevasi tanah, dan ini tercermin dalam bentuk jejak tanah yang tetap ada hingga saat ini. Jadi, hubungan utamanya adalah bahwa aktivitas sesar aktif menyebabkan perubahan posisi muka bumi secara perlahan, dan teras sungai ini adalah salah satu bukti nyata dari proses tersebut.

Gambar 6.24 ini menggambarkan dua hal penting yang saling terkait: pertama, jejak retakan yang terbentuk akibat gempa purba, dan kedua, hubungannya dengan aktivitas dari Sesar Cimandiri di segmen Mekarasih, yang berbatasan langsung dengan Teluk Palabuhanratu.



Gambar 6.24. (a) Salah satu retakan akibat gempa purba (*rupture*) pada satuan endapan pantai, (b) perbesaran dari (a) *rupture* ditunjukkan dengan garis merah putus-putus (Foto : Sukahar Eka A. Saputra, 2007).

Pada bagian (a), terlihat sebuah retakan besar di satuan endapan pantai. Retakan ini adalah jejak dari gempa besar yang terjadi di masa lalu, yang disebut sebagai *rupture*, yakni patahan panjang yang terbuka saat gempa purba-gempa besar yang terjadi ribuan tahun lalu dan meninggalkan bekas di permukaan bumi.

Perbesaran (b) menunjukkan detail dari retakan tersebut, ditandai dengan garis merah putus-putus. Retakan ini adalah bukti nyata bahwa di masa lalu, aktivitas tektonik di daerah ini sangat aktif dan mampu menciptakan pergerakan besar yang mampu memecah tanah dan batuan.

Nah, kaitannya dengan aktivitas Sesar Cimandiri, terutama di segmen Mekarasih, adalah bahwa jejak retakan dari gempa purba ini menunjukkan bahwa zona ini pernah mengalami pergerakan besar dan aktif secara tektonik. Segmen Mekarasih merupakan bagian dari zona Sesar Cimandiri yang terus bergerak dan berpotensi menimbulkan gempa besar di masa depan. Retakan yang terbentuk di masa lalu adalah gambaran bagaimana aktivitas sesar ini mampu memobilisasi energi besar dan mempengaruhi kondisi tanah dan permukaan bumi.

Pada Gambar 6.25 menunjukkan singkapan batuan breksi yang merupakan bagian dari Formasi Jampang serta keberadaan mata air panas Mekarasih. Pada gambar bagian (a), terlihat singkapan





Gambar 6.25 Singkapan batuan breksi bagian dari Formasi Jampang dan mata air panas Mekarasih. (a) Singkapan breksi dengan sesar memanjang berarah relatif barat-timur dengan kemiringan ke arah selatan.

batuan breksi yang memiliki perlapisan memanjang dengan arah relatif barat-timur dan kemiringan ke arah selatan. Perlapisan ini menunjukkan adanya deformasi pada formasi tersebut, yang berperan dalam menciptakan celah dan jalur aliran air panas di wilayah tersebut. Batuan breksi ini kemungkinan terbentuk dari proses epiklastik atau vulkanik yang diendapkan dan mengalami pelelehan serta pelapukan lebih lanjut. Keberadaan mata air panas Mekarasih juga berkaitan dengan aktivitas geotermal di area ini, di mana fluida panas dari kedalaman mengalir melalui bidang sesar dan rekahan, menyebabkan munculnya mata air panas di permukaan.

Sedangkan Gambar 6.26 menunjukkan berbagai fenomena alam yang menjadi bukti adanya aktivitas sesar di Lembah Sungai Cimandiri, khususnya di daerah Mekarasih. Pada bagian (a), terlihat singkapan batuan breksi dari Formasi Jampang yang menunjukkan adanya proses deformasi akibat aktivitas sesar aktif. Batuan ini berfungsi sebagai indikator tektonik di kawasan tersebut. Bagian (b) menampilkan mata air panas yang keluar dari Sungai Cimandiri di wilayah Mekarasih, menandai adanya sumber air panas yang terhubung dengan aktivitas tektonik dan suhu bawah tanah yang tinggi. Pada bagian (c), terlihat proses pengambilan sampel air panas untuk pengukuran suhu air, yang penting untuk studi geotermal dan memahami karakteristik sistem panas bumi di area tersebut. Hasil pengukuran suhu di mata air Mekarasih adalah $39^{\circ} - 44^{\circ} \text{C}$ dengan air 7 (Saputra, dkk, 2024).

Keberadaan mata air panas dan singkapan batuan breksi ini secara bersama-sama merupakan bukti nyata dari adanya aktivitas sesar aktif yang mempengaruhi kondisi geologi dan hidrogeologi di daerah ini.

Gambar 6.27 menampilkan hasil survei morfotektonik pada aspek Sesar Cimandiri Segmen Mekarasih. Cirinya meliputi; teras sungai yang terangkat (*river terrace*), yaitu lapisan permukaan tanah datar yang terbentuk di sekitar sungai akibat proses tektonik dan erosi, menunjukkan adanya pergerakan sesar yang mengangkat daerah di sekitar sungai. *Shutter ridges*, yaitu bukit



Gambar 6.26 Fenomena alam bukti sesar aktif di Lembah Sungai Cibandir dengan singkapan batuan breksi dari Formasi Jampang dan (a) mata air panas Mekarasih. (b) mata air panas yang keluar di Sungai Cibandir daerah Mekarasih, Kecamatan Pelabuhanratu, Kabupaten Sukabumi. (c) pengambilan sampel air panas untuk menentukan suhu, hasil pengukuran suhu adalah 44° C dengan PH = 7 (Saputra, dkk, 2024).



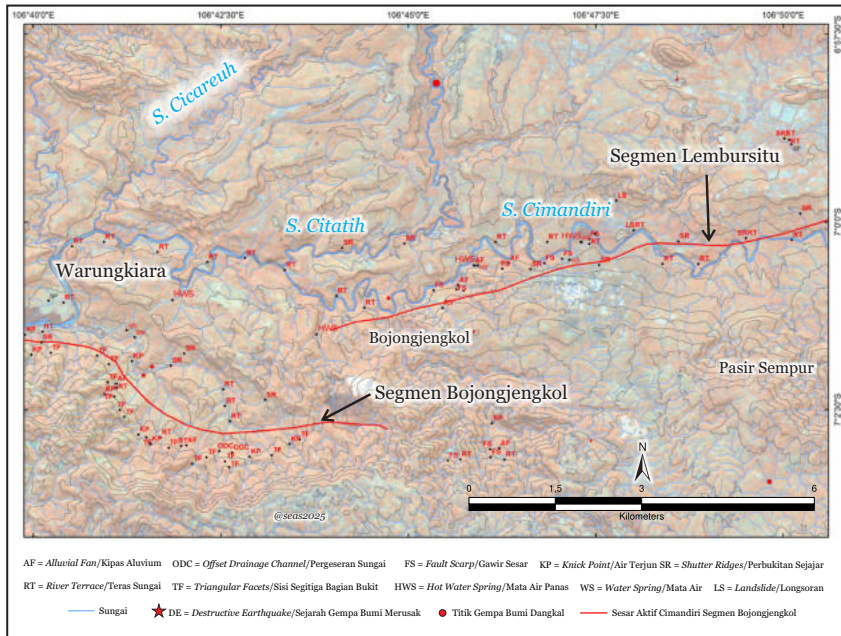
Gambar 6.27. Hasil survei morfotektonik aspek Sesar Cimandiri Segmen Mekarasih. teras sungai yang terangkat/*river terrace* dan *shutter ridges* di sepanjang lembah Sungai Cimandiri (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2024).

atau punggungan yang terbentuk sebagai hasil dari pergeseran sesar, yang berfungsi sebagai penutup atau penghalang terhadap lembah atau lembah sungai di sepanjang Sungai Cimandiri.

Kedua fitur ini memperlihatkan bagaimana aktivitas Sesar Cimandiri mempengaruhi bentuk permukaan bumi di kawasan tersebut, menunjukkan keberlanjutan aktivitas tektonik yang membentuk morfologi lempengan tanah di sepanjang lembah Sungai Cimandiri.

6.3.3 Sesar Cimandiri – Segmen Bojongjengkol

Beberapa unsur morfotektonik juga ditemukan di sepanjang lembah Sungai Cimandiri menuju ke arah hulu, tepatnya di daerah Bojongjengkol dan Warungkiara, sebagaimana yang dapat diamati pada Gambar 6.28. Unsur-unsur ini mencakup fitur-fitur geomorfologi yang menunjukkan aktivitas tektonik yang sedang berlangsung atau pernah terjadi di wilayah tersebut. Hasil



Gambar 6.28. Peta morfotektonik Sesar Cimandiri Segmen Bojongjengkol.

survei lapangan yang dilakukan juga menemukan berbagai bukti morfotektonik lainnya, seperti bentuk permukaan tanah yang tidak stabil, adanya sesar berdimensi-kecil, serta fitur-fitur rekahan yang menunjukkan adanya pergeseran tektonik aktif, seperti yang juga terlihat pada Gambar 6.28. Keberadaan unsur-unsur ini menegaskan bahwa aktivitas tektonik memegang peranan penting dalam membentuk morfologi daerah tersebut dan menunjukkan pentingnya pemantauan terus-menerus untuk memahami dinamika tanah dan potensi risiko geologi di kawasan ini.

Gambar 6.28 menunjukkan hasil pengamatan mengenai bentuk permukaan tanah di sekitar Sesar Cimandiri, khususnya di bagian Segmen Bojongjengkol. Pada gambar (a), terlihat perbukitan curam yang memanjang di bagian selatan lembah Sungai Cimandiri. Bentuk ini, yang disebut *triangular facet*, terbentuk karena aktivitas tektonik yang mengangkat dan memiringkan tanah di daerah itu, membuat permukaannya tampak seperti

(a)

Facet Segitiga



Gambar 6.29. Hasil survei morfotektonik aspek Sesar Cimandiri Segmen Bojongjengkol. (a) Perbukitan curam memanjang bagian selatan lembah Sungai Cimandiri yang membentuk *triangular facet*.



@seas2024

(b)



Gambar 6.29. Hasil survei morfotektonik aspek Sesar Cimandiri Segmen Bojongjengkol. (b) teras sungai yang terangkat/*river terrace* dan *shutter ridges* di sepanjang lembah Sungai Cimandiri (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2024).

Facet Segitiga



Rumah rusak/
Damage house

106°40'25.84"E / 7° 1'22.15"S
@sua2024

segitiga yang meruncing. Sedangkan pada gambar (b), terlihat adanya teras sungai yang lebih tinggi dan rata, dikenal sebagai *river terrace*, serta bukit kecil atau punggung yang disebut *shutter ridges*, yang terbentuk akibat pergeseran tanah aktif di sepanjang Sesar Cimandiri. Semua fitur ini menunjukkan bahwa wilayah ini mengalami aktivitas sesar yang terus mempengaruhi bentuk tanah dan lembah di sekitarnya.

Salah satu fenomena pergerakan sesar aktif Cimandiri dapat dilihat pada Gambar 6.30 menunjukkan salah satu rumah warga di Desa Mekarjaya, Kecamatan Warungkiara, yang mengalami retakan akibat longsoran tanah yang sering terjadi di daerah tersebut. Kejadian ini sangat terkait dengan aktivitas pergerakan Sesar Cimandiri di wilayah tersebut. Pergerakan sesar ini menyebabkan ketegangan dan kelemahan pada struktur tanah dan batuan di bawah permukaan, sehingga tanah menjadi rentan terhadap longsoran, terutama saat terjadi hujan deras atau adanya getaran. Retakan dan longsoran yang terjadi adalah bukti nyata dari



Gambar 6.30. Salah satu rumah penduduk yang mengalami retakan akibat longsoran yang sering terjadi (lihat tanda panah merah di Gambar 6.29 (b)) di daerah Desa Mekarjaya, Kecamatan Warungkiara (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2024).

aktivitas sesar yang terus aktif dan memengaruhi kondisi tanah dan bangunan di sekitar, menunjukkan pentingnya memahami dinamika tektonik agar dapat mengantisipasi kerusakan dan menjaga keselamatan masyarakat di daerah rawan tersebut.

Gambar 6.31 dan Gambar 6.32 menunjukkan longsor yang sering terjadi di tepi Sungai Cilandiri. Longsor ini sering terjadi tanpa tampak aktivitas yang jelas secara kasat mata, sehingga disebut sebagai pergerakan "silent" atau diam-diam dari Sesar Cilandiri.

Longsor di sepanjang tepi sungai ini menunjukkan adanya tekanan dan kelemahan tanah akibat aktivitas sesar yang aktif di bawah permukaan. Sesar Cilandiri, yang merupakan salah satu struktur geologi utama di daerah ini, menyebabkan tanah di sekitar atau dalam zona sesar menjadi lebih rentan terhadap longsor, terutama saat hujan deras atau gangguan lain. Longsor yang terus-menerus terjadi ini merupakan bukti nyata bahwa Sesar Cilandiri tetap aktif walaupun tidak selalu menunjukkan gejala gempa besar yang jelas, namun aktivitasnya secara perlahan mampu mengubah bentuk dan kestabilan tanah di kawasan tersebut.



Gambar 6.31. Longsor yang sering terjadi di sempadan Sungai Cilandiri sebagai pergerakan *silent* Sesar Cilandiri (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2023).



Gambar 6.32. Gerakan tanah yang sering terjadi di sempadan Sungai Cemandiri sebagai pergerakan *silent* Sesar Cemandiri (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2023).

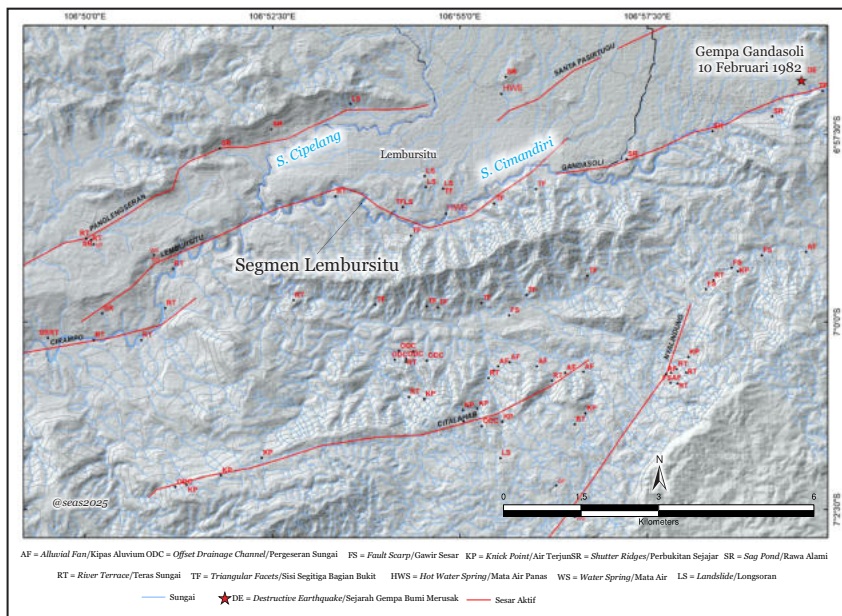
Hubungan utama antara gambar ini dan aktivitas Sesar Cemandiri adalah bahwa pergerakan diam-diam atau *silent slip* dari sesar ini secara bertahap menyebabkan perubahan bentuk permukaan tanah, yang menyebabkan longsor dan potensi bahaya tanah bergerak di sepanjang sempadan sungai. Ini menunjukkan pentingnya pemantauan dan studi tektonik aktif agar risiko longsor dan kerusakan infrastruktur dapat diminimalkan.

6.3.4 Sesar Cemandiri – Segmen Lembursitu

Hasil analisa morfotektonik aspek di sepanjang Sesar Cemandiri Segmen Lembursitu, yang berlokasi di daerah Lembursitu, Kota Sukabumi, menunjukkan adanya beberapa parameter dan aspek morfologi yang mengindikasikan keberadaan unsur-unsur bentuk permukaan tanah (bentang alam) sebagai hasil dari aktivitas Sesar Cemandiri. Parameter tersebut meliputi keberadaan fitur-fitur seperti teras sungai yang terangkat, *shutter*

ridges, kemiringan lereng yang tidak seragam, segitiga facet, dan keterdapatan mata air panas pada zona sesar. Semua unsur ini memperlihatkan tanda-tanda deformasi tektonik aktif yang mempengaruhi bentang alam di kawasan tersebut, sebagaimana terlihat pada Gambar 6.33.

Selain itu, hasil pengamatan di lapangan yang dilakukan secara langsung juga menemukan bukti nyata yang mendukung analisa tersebut. Bukti-bukti tersebut meliputi jejak-jejak rekahan, tanah yang retak dan bergeser, serta formasi morfologi yang menunjukkan adanya proses deformasi yang sedang berlangsung. Penginderaan jauh melalui analisa morfotektonik berdasarkan data dari DEMNAS (*Digital Elevation Model Nasional*) juga memperkuat temuan ini, di mana garis-garis sesar, perubahan elevasi, serta pola kerutan dan lipatan tanah dapat diidentifikasi dengan tepat dan akurat dari citra satelit.



Gambar 6.33. Peta morfotektonik sesar Cimandiri Segmen Lembursitu (tanda panah hitam), sebaran sesar aktif dan potensi aktif di sekitar wilayah Lembursitu.

Dengan demikian, integrasi hasil analisa morfotektonik, pengamatan lapangan, dan data citra satelit memberikan gambaran komprehensif mengenai gambaran deformasi tanah yang diakibatkan oleh aktivitas Sesar Cimandiri di kawasan Lembursitu. Temuan ini penting untuk memahami tingkat aktivitas tektonik dan potensi risiko bencana gempa bumi maupun longsor yang mungkin terjadi di wilayah tersebut, serta menjadi dasar untuk rencana mitigasi dan pengelolaan risiko bencana alam secara lebih baik lagi, terutama oleh pemerintah Kota Sukabumi.

Salah satu temuan morfotektonik berkaitan dengan aktivitas Sesar Cimandiri Segmen Lembursitu terlihat pada Gambar 6.34 menampilkan dua bagian penting terkait bentang alam dan aktivitas sesar di daerah Lembursitu.

Pada bagian (a), terlihat bentuk permukaan tanah berupa *triangular facet* yang merupakan ciri khas dari kawasan yang mengalami deformasi akibat aktivitas sesar. Bentuk ini terbentuk ketika bagian tanah di pinggir sesar mengalami erosi dan penurunan yang terfokus di depan, sementara bagian di belakang tetap tersusun lebih tinggi, menciptakan bentuk berbentuk segitiga yang tajam dan tegak. Bentuk ini menunjukkan adanya deformasi tektonik yang sedang berlangsung dan merupakan indikator penting dari aktivitas sesar di wilayah tersebut.

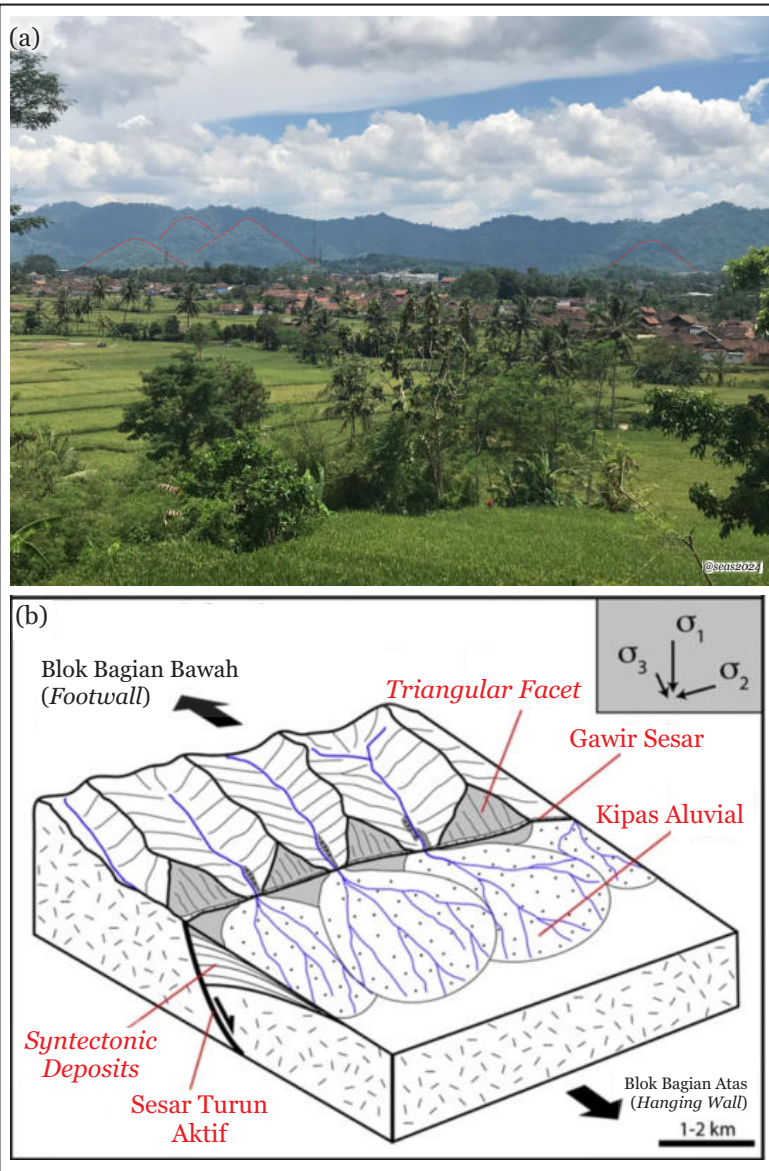
Pada bagian (b), disajikan konsep pendekatan kerangka kerja sesar normal yang berlaku di Zona Sesar Aktif Cimandiri, khususnya di Segmen Lembursitu. Gambar ini merupakan modifikasi dari karya Graveleau, dkk, 2015, dan memperlihatkan bagaimana gaya tegak dan pergerakan sepanjang sesar normal bekerja di kawasan ini. Dalam model tersebut, bagian kerak bumi mengalami penipisan dan penarikan memanjang, yang menyebabkan terbentuknya cekungan dan fitur-fitur morfologi khas seperti *triangular facet*. Konsep ini sangat penting untuk memahami mekanisme deformasi yang terjadi di zona sesar aktif

Cimandiri dan implikasinya terhadap kestabilan tanah serta potensi gempa bumi di daerah tersebut.

Secara keseluruhan, gambar ini menegaskan bahwa bentang alam di Lembursitu sangat dipengaruhi oleh aktivitas sesar mendatar normal Cimandiri, yang menyebabkan bentuk permukaan tanah yang khas dan berkontribusi terhadap kerentanan terhadap bencana alam jika tidak diantisipasi dengan baik.

Berdasarkan peta morfotektonik dari Segmen Lembursitu pada Sesar Cimandiri (Gambar 6.33), daerah ini diperkirakan merupakan bagian dari cekungan akibat tarikan gaya tektonik (*pull-apart basin*) dalam sistem Sesar Mendatar Cimandiri. Ciri utama dari interpretasi ini adalah adanya kawasan yang mengalami penurunan atau nendatan tanah di wilayah Lembursitu. Fenomena ini merupakan tanda bahwa gaya-gaya tektonik yang bekerja di sepanjang sesar menyebabkan daerah tersebut meregang dan menarik secara horizontal, sehingga membentuk cekungan yang menurun. Kehadiran nendatan ini menjadi petunjuk penting bahwa aktivitas deformasi tektonik di kawasan Sesar Cimandiri sangat memengaruhi morfologi permukaan tanah di wilayah Lembursitu, menegaskan peran utama sesar dalam membentuk fitur-fitur geologi dan geomorfologi di daerah tersebut.

Keberadaan mata air panas Cikundul (Gambar 3.35) yang dimanfaatkan sebagai tempat wisata ini merupakan salah satu manifestasi dari proses geologis, sekaligus menjadi referensi penting dalam pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan dan risiko geologi di kawasan ini. Kehadiran mata air panas di Cikundul juga memastikan bahwa zona Sesar Cimandiri memang melewati Sungai Cimandiri dan bertepatan dengan fitur bentang alam segitiga facet (*triangular facet*) seperti terlihat pada Gambar 6.35 dan peta hasil penyelidikan bawah permukaan metode gaya berat (Gambar 6.42) yang akan dibahas pada Bab ini juga. Alasan lain karena karena sumber panas tersebut dihasilkan oleh aktivitas tektonik yang berlangsung di sepanjang sesar tersebut.



Gambar 6.34 (a) Bentangalam daerah Lembursitu yang memperlihatkan *triangular facet*, dan (b) konsep pendekatan sesar normal pada Zona Sesar Aktif Cimandiri di Segmen Lembursitu (gambar modifikasi dari Graveleau, dkk, 2015).



Gambar 6.35. Bentangalam daerah Lembursitu yang memperlihatkan *triangular facet* dan keterdapatn mata air panas Cikundul.

Tim peneliti yang mempelajari aktivitas sesar aktif di Kabupaten dan Kota Sukabumi berhasil menemukan potongan arang kayu yang dapat membantu memahami proses longsor besar di masa lalu yang disebabkan oleh aktivitas sesar. Penemuan ini ditemukan di anak Sungai Cemandiri, tepatnya di Sungai Cipelang (Gambar 6.36). Lokasi penemuan ini masih berada di kawasan Lembursitu, Kota Sukabumi. Penemuan arang kayu ini sangat penting karena bisa memberikan informasi tentang kapan longsor itu terjadi dan seberapa aktifnya sesar di daerah tersebut selama ribuan tahun.

Pengambilan sampel arang kayu atau *charcoal* merupakan langkah penting dalam menyelidiki aktivitas sesar aktif. Proses ini dilakukan dengan hati-hati di lapangan, terutama di area yang menunjukkan tanda-tanda deformasi seperti rekahan, cekungan, atau fitur morfologi khas sesar. Sampel arang kayu diambil dari lapisan tanah atau endapan yang telah mengalami perubahan atau pergeseran akibat aktivitas sesar tersebut. Tujuannya adalah untuk mengetahui umur bahan organik yang terdapat di lokasi tersebut melalui metode penanggalan radiokarbon ($C-14$), sehingga dapat dipastikan kapan pergerakan sesar terakhir kali terjadi. Dengan mengetahui umur arang kayu yang relevan, ilmuwan dapat membangun cerita sejarah deformasi tektonik di daerah tersebut, termasuk apakah sesar tersebut masih aktif



Gambar 6.36. Arang kayu (*charcoal*) yang ditemukan pada Zona Sesar Cimandiri di Segmen Lembursitu tepatnya di Sungai Cipelang, umur radiocarbon arang kayu tersebut 6633 ± 204 BP (*Before Present*), (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2023).

dan seberapa sering pergerakannya terjadi. Pendekatan ini sangat penting untuk mengidentifikasi potensi bahaya gempa dan mendukung pengelolaan risiko bencana di wilayah rawan sesar aktif. Hasil penanggalan radiocarbon (C-14) dari arang kayu (*charcoal*) di Lembursitu tersebut di 6633 ± 204 BP (*Before Present*) hasil laporan Saputra, S.E.A., dkk, 2023.

Yang menarik, di bagian timur laut Lembah Lembursitu juga ditemukan keberadaan mata air panas Santa, yang terletak di wilayah Kota Sukabumi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.37. Keberadaan mata air panas ini menunjukkan adanya aktivitas hidrotermal di kawasan tersebut, yang kemungkinan besar dipengaruhi oleh pergerakan dan struktur sesar yang aktif di daerah itu. Jika merujuk pada peta morfotektonik Segmen Lembursitu (Gambar 6.33), mata air panas ini diberi kode HWS (*Hot Water Springs*) dan secara geografis bertepatan dengan keberadaan Sesar Santa Pasirtugu. Ini menunjukkan adanya hubungan langsung antara aktivitas sesar tersebut dengan munculnya mata air panas, yang sering kali muncul di sepanjang sesar aktif sebagai akibat dari pergerakan tektonik yang memungkinkan panas dari kedalaman bumi mengalir ke permukaan. Data bawah permukaan dari anomali residual gaya berat, lokasi mata air panas Santa juga bertepatan dengan sesar



Gambar 6.37. Mata air Santa di Kota Sukabumi sebagai indikasi keberadaan sistem Sesar Cimandiri yang melewati Kota tersebut (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2024).

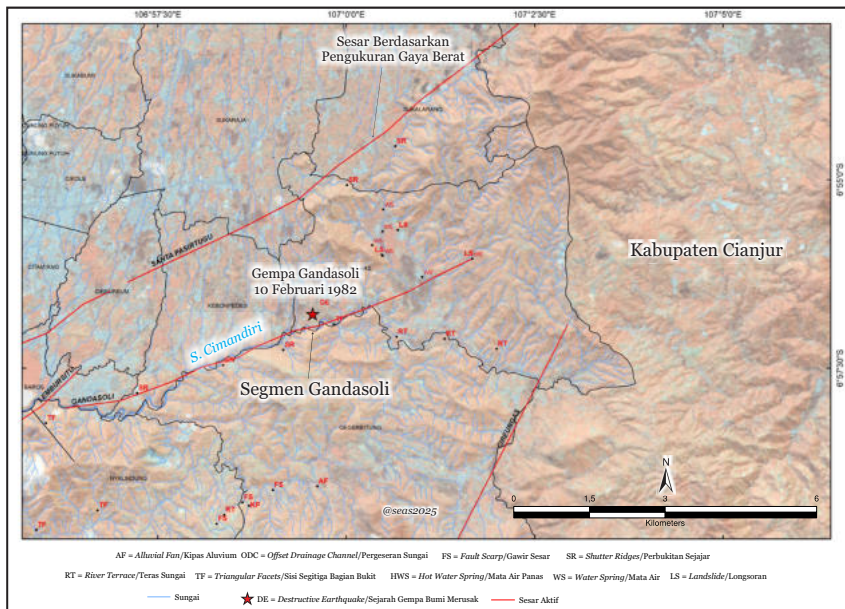
terkubur dari kontras anomali tinggi dan rendah di wilayah Kota Sukabumi (Gambar 6.44). Keberadaan mata air panas ini tidak hanya penting secara geologi, tetapi juga memiliki potensi untuk pengembangan sumber energi panas bumi skala kecil dan sebagai sumber daya wisata alam yang menarik bagi masyarakat dan pengunjung.

6.3.5 Sesar Cimandiri – Segmen Gandasoli

Segmen Gandasoli dari Sesar Cimandiri merupakan bagian paling timur dari sistem sesar aktif ini, yang memiliki peran penting dalam aktivitas tektonik di wilayah tersebut. Melalui pemetaan yang dilakukan dengan menggunakan teknologi modern seperti remote sensing, analisa DEMNAS (*Digital Elevation Model Nasional*), citra satelit Landsat, serta hasil survei lapangan dan kajian sejarah gempa, telah berhasil diidentifikasi dan dikonfirmasi keberadaan serta karakteristik segmen ini (Gambar 6.38). Analisis tersebut menunjukkan bahwa Segmen Gandasoli merupakan bagian dari sistem sesar yang tetap aktif dan berpotensi menyebabkan kejadian gempa bumi besar di masa mendatang.

Salah satu gempa besar yang terjadi di wilayah ini yaitu gempa Gandasoli yang terjadi pada tanggal 10 Februari 1982. Gempa ini cukup merusak dan menjadi salah satu contoh nyata aktivitas sesar yang berdampak langsung terhadap masyarakat dan infrastruktur di sekitar. Kejadian gempa ini juga menjadi fokus kajian dalam bab sebelumnya, mengungkapkan tingkat kekuatan dan potensi bahaya yang ditimbulkannya.

Selain itu, lokasi yang mengalami gerakan tanah dan longsor di daerah Nyalindung pun terletak di zona aktif pada Sesar Cimandiri, tepatnya dalam wilayah yang digambarkan pada peta morfotektonik Segmen Gandasoli. Keberadaan gerakan tanah ini menjadi bukti bahwa aktivitas sesar tidak hanya terjadi



Gambar 6.38. Peta hasil analisa morfotektonik aspek Sesar Cimandiri Segmen Gandasoli.

dalam bentuk gempa bumi, tetapi juga menyebabkan deformasi tanah yang dapat mengancam keselamatan masyarakat serta mengganggu keberlanjutan aktivitas sosial ekonomi di daerah tersebut. Melalui pemetaan dan analisis ini, para ilmuwan, penyelidik “detektif” bumi, dan pihak terkait dapat lebih memahami pola deformasi dan risiko yang ada, sehingga upaya mitigasi bencana dapat dilakukan secara lebih tepat dan efektif.

Gambar 6.39 menunjukkan salah satu pemandangan dari bentang alam di lembah Sungai Cimandiri yang berada di zona aktif Sesar Cimandiri, tepatnya di Segmen Gandasoli. Area ini memperlihatkan keindahan alam dengan bentuk permukaan tanah yang khas akibat aktivitas tektonik, seperti lembah yang dalam dan tebing-tebing curam. Fitur ini terbentuk karena pergerakan sesar yang menyebabkan sebagian tanah bergeser dan membentuk landai atau kemiringan yang tajam di sekitarnya. Gambaran ini penting



Gambar 6.39. Salah satu bentang alam Lembah Cireungas bagian hulu Sungai Cimandiri pada zona Sesar Cimandiri Segmen Gandasoli (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2023).

karena menunjukkan secara visual bagaimana aktivitas sesar mempengaruhi bentuk permukaan bumi di kawasan tersebut, sekaligus menjadi bukti nyata dari kekuatan tektonik yang terus bekerja di sepanjang garis Sesar Cimandiri Segmen Gandasoli.

Hasil survei lapangan di Segmen Gandasoli terlihat pada Gambar 6.40, gambar ini memperlihatkan keindahan dan keunikan bentang alam yang terbentuk oleh aktivitas tektonik di kawasan Segmen Gandasoli dari Sesar Cimandiri. Secara umum, gambaran yang ditunjukkan adalah perbukitan memanjang yang dikenal sebagai “*shutter ridges*”. Fitur ini terbentuk akibat pergerakan tektonik di sepanjang sesar, di mana bagian tanah di kedua sisi sesar bergerak relatif saling menjauh atau menyusur, sehingga menciptakan punggung yang memanjang dan tegak di atas bidang deformasi utama.

Pada bagian (a), tanda panah merah menunjukkan posisi Sungai Cimandiri di daerah Cireungas, yang mengalir melalui wilayah tersebut. Sungai ini mengikuti jejak dari struktur sesar yang aktif, yang memengaruhi pola aliran air dan bentuk permukaan tanah di sekitarnya. Di bagian (b), terlihat secara jelas *shutter ridge*



Gambar 6.40. Perbukitan memanjang (*shutter ridges*) di sepanjang Sesar Cimandiri Segmen Gandasoli. (a) tanda panah merah merupakan Sungai Cimandiri di daerah Cireungas, (b) *shutter ridge* di bagian hulu Sungai Cimandiri di daerah Cireungas, (c) teras sungai di salah satu cabang Sungai Cimandiri bagian hulu di daerah yang pernah terdampak gempa Gandasoli Februari 1982 di Desa Cikurutug (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2023).

yang terbentuk di bagian hulu Sungai Cimandiri, yaitu di daerah Cireungas. Bentuknya yang memanjang dan tegak menunjukkan bahwa tanah di sana telah bergeser secara aktif selama waktu tertentu, memperlihatkan keberlanjutan aktivitas sesar di kawasan ini.

Sementara itu, bagian (c) menampilkan teras sungai yang terbentuk di salah satu cabang Sungai Cimandiri di bagian hulu wilayah tersebut. Teras ini merupakan jejak dari aktivitas geomorfologi masa lalu yang menunjukkan bahwa daerah ini pernah mengalami pergeseran dan terangkat akibat aktivitas tektonik.

Secara keseluruhan, gambar ini menggambarkan bagaimana aktivitas tektonik yang terus berlangsung di sepanjang segmen Gandasoli membentuk fitur-fitur alam yang khas, mempengaruhi pola aliran sungai, dan menandai jejak sejarah gempa di kawasan itu. Fitur-fitur seperti *shutter ridges* dan teras sungai tidak hanya memperkaya keindahan alam, tetapi juga berfungsi sebagai indikator penting dalam memahami dinamika geologi dan potensi risiko bencana di wilayah ini.

Selain berpotensi menimbulkan gempa bumi di masa akan datang, bahaya dari sesar aktif yaitu terjadinya gerakan tanah. Fenomena ini terjadi di Kampung Nyalindung, Kecamatan Nyalindung, kabupaten Sukabumi seperti terlihat pada Gambar 6.41. Gambar ini menunjukkan fenomena pergerakan tanah yang terjadi di Kampung Nyalindung, sebuah wilayah yang berada di zona aktif di Segmen Gandasoli dari Sesar Cimandiri. Pergerakan tanah ini merupakan salah satu dampak langsung dari aktivitas sesar yang terus berlangsung di daerah tersebut. Saat sesar aktif bergerak, tekanan dan gaya yang dihasilkannya menyebabkan tanah dan batuan di permukaan bergeser, bergelombang, dan mengalami deformasi. Pergerakan tanah ini bisa terlihat dalam bentuk retakan, tanah yang bergeser, atau bahkan longsoran kecil yang terjadi di kawasan itu.

Wilayah Kampung Nyalindung sangat rentan terhadap pergerakan tanah karena faktor geologi, yaitu jenis batuan (dominan jenis batu lempung) dan aktivitas tektonik yang terus berlangsung. Pergerakan ini juga bisa dipicu oleh curah hujan yang tinggi, yang memperlemah kestabilan tanah dan memudahkan tanah bergeser mengikuti gaya dari aktivitas sesar. Fenomena ini penting untuk dipahami karena dapat berpengaruh besar terhadap keselamatan masyarakat dan infrastruktur di sekitar. Jika tidak diawasi dan diantisipasi secara baik, pergerakan tanah ini bisa menyebabkan kerusakan bangunan, jalan, maupun mengancam keselamatan warga.



Gambar 6.41. Pergerakan tanah di Kampung Nyalindung pada zona Sesar Cimandiri Segmen Gandasoli (Foto: Sukahar Eka A. Saputra, 2024).

Gambar ini menjadi pengingat bahwa aktivitas sesar tidak hanya menimbulkan gempa besar, tetapi juga proses perubahan bentuk muka bumi yang berlangsung secara perlahan dan sering tidak terdeteksi dengan kasat mata. Oleh karena itu, penting bagi pihak berwenang dan masyarakat untuk terus memantau dan mengelola risiko yang ditimbulkan oleh pergerakan tanah di daerah rawan ini. Upaya mitigasi seperti pembangunan drainase yang baik, pemetaan bidang rawan gerakan, serta kesadaran masyarakat tentang bahaya pergerakan tanah, menjadi langkah penting guna menjaga keselamatan penduduk dan bangunan, serta kelestarian lingkungan di wilayah ini.

6.4 Menelusuri Jejak Rahasia di Dunia Bawah Tanah Sesar Cimandiri

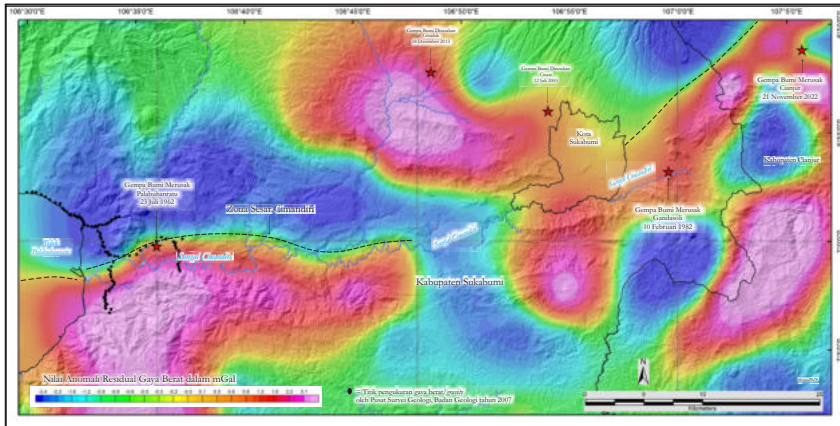
Seperti telah dibahas sebelumnya, salah satu sistem sesar yang paling aktif dan berpengaruh di wilayah Sukabumi sebagai jantung Jawa Barat adalah Sesar Cimandiri. Sesar ini dikenal luas karena kemampuannya menyebabkan gempa besar dan deformasi lempeng bumi yang memengaruhi bentuk muka bumi secara signifikan. Untuk memahami lebih jauh tentang pola pergerakan dan struktur bawah permukaan dari sesar ini, diperlukan penyelidikan mendalam yang menyentuh lapisan tanah dan batuan di bawah permukaan.

Salah satu metode yang sering digunakan dalam studi ini adalah metode gaya berat, yaitu dengan mengaplikasikan prinsip gravitasi untuk memetakan dan menganalisa struktur bawah tanah. Dengan menempatkan alat dan sensor secara strategis di lapangan, para penyelidik “detektif” bumi mampu mengukur variasi massa dan ketebalan lapisan batuan serta memetakan distribusi gaya gravitasi yang berbeda di sepanjang kawasan aktif tersebut. Teknik ini sangat membantu dalam mengungkap keberadaan dan karakteristik struktur bawah permukaan yang tidak tampak secara kasat mata, seperti rekahan mendalam, kawah sesar, atau zona lemah yang menjadi jalur pergerakan sesar.

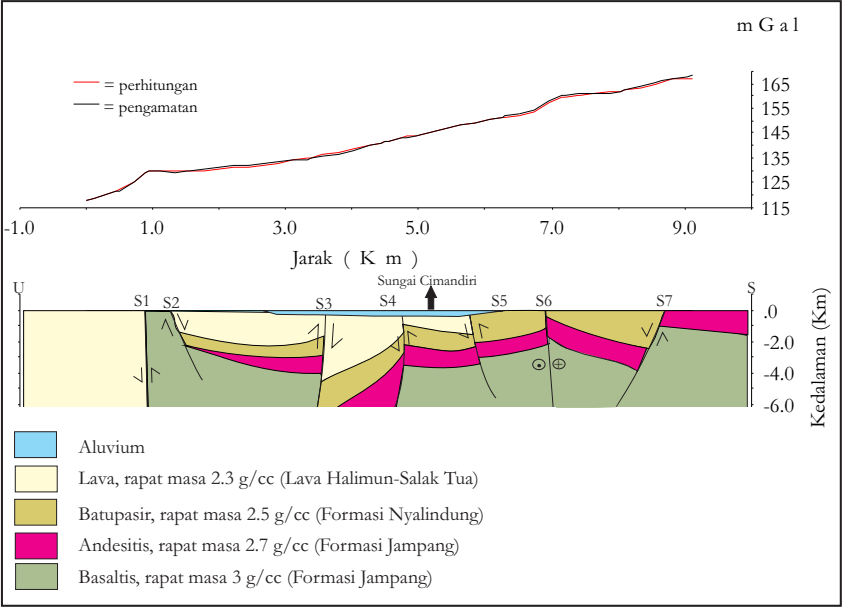
Dengan pendekatan gaya berat ini, para ilmuwan berusaha mengungkap rahasia yang tersimpan di kedalaman bumi dengan cara yang lebih efektif dan aman. Memahami struktur bawah permukaan Sesar Cimandiri tidak hanya penting untuk mengetahui risiko gempa dan bahaya ikutan lainnya, tetapi juga menjadi langkah awal dalam pengembangan sistem mitigasi bencana yang lebih efektif. Melalui penyelidikan ini, diharapkan kita dapat memperoleh gambaran yang lebih lengkap mengenai zona tektonik bawah tanah dan memperkuat kesiapsiagaan menghadapi potensi bencana di masa depan.

Gambar 6.42 menunjukkan peta anomali residual gaya berat yang terdapat di wilayah zona Sesar Cimandiri, yang meliputi daerah Kabupaten dan Kota Sukabumi. Peta ini menghadirkan gambaran variasi gaya gravitasi yang terjadi di lapisan bawah bumi, yang dipengaruhi oleh struktur geologi serta distribusi massa di bawah permukaan tanah. Pada bagian hilir Sungai Cimandiri, dilakukan pengukuran secara rinci untuk membangun penampang gaya berat, yang menggambarkan perbedaan kedalaman dan ketebalan lapisan batuan serta rekahan yang ada di bawah permukaan tanah. Titik-titik pengukuran ini tersebar di seluruh lapangan dan menjadi dasar untuk menganalisis pola deformasi dan struktur bawah tanah di kawasan tersebut. Data dari pengukuran ini kemudian diproses dan diolah agar mampu memberi gambaran yang lebih akurat mengenai kondisi geologi bawah permukaan di daerah yang aktif secara tektonik ini. Peta ini adalah hasil modifikasi dari karya Indragiri, *dkk.* (2024) dan Natsir, *dkk.* (2007), yang digunakan sebagai alat bantu penting dalam studi tektonik dan risiko bencana di wilayah Sesar Cimandiri.

Gambar 6.43 menyajikan interpretasi kondisi bawah permukaan tanah berdasarkan peta anomali residual gaya berat yang dihasilkan pada Gambar 6.42. Interpretasi ini bertujuan untuk memperlihatkan struktur dan fitur geologi yang tidak tampak secara visual di permukaan, tetapi penting untuk memahami



Gambar 6.42. Peta anomali residual gaya berat di daerah zona Sesar Cimandiri yang berada di Kabupaten dan Kota Sukabumi. Pada bagian hilir Sungai Cimandiri, dilakukan pengukuran secara detail untuk membuat penampang gaya berat, sebagaimana terlihat dari titik-titik pengukuran yang tersebar di lapangan. Peta ini merupakan hasil modifikasi dari karya Indragiri, dkk. (2024) dan Natsir, dkk. (2007).



Gambar 6.43. Interpretasi bawah permukaan dari peta anomali residual yang dihasilkan pada Gambar 6.42. (Modifikasi dari Natsir, dkk, 2007).

aktivitas tektonik dan potensi kegempaan di kawasan tersebut. Dengan menggunakan data anomali residual, para peneliti mampu memetakan area-area yang merupakan zona lemah, rekahan aktif, atau zona pergeseran besar yang terjadi di bawah tanah. Interpretasi ini, yang merupakan hasil modifikasi dari karya Natsir, *dkk.*, (2007), membantu mengungkap pola ruang dari struktur bawah permukaan dan memperkaya pemahaman tentang manifestasi geologi di wilayah yang aktif secara tektonik.

Penelitian geofisika gaya berat/*gravity* rinci lajur sesar Cimandiri dilakukan di daerah Teluk Palabuhanratu dengan membuat lintasan sepanjang 22 Km. Lintasan ini terbagi atas tiga segmen, segmen satu dimulai dari Cikakak, Citepus, Pelabuhanratu, Mariuk, Bojongkopo, Cisaat hingga Cigombong. Segmen dua Bagbagan, Bojongkopo hingga ke Parung Cabok. Segmen tiga perkebunan Citarik, Parung Tunggu dan Cibuntu. Segmen satu dibuat dengan harapan dapat ditelusuri sesar-sesar bawah permukaan berarah baratdaya-timurlaut (sesar-sesar mendatar-turun) dan sesar-sesar berarah barat-timur (sesar-sesar naik). Segmen dua diharapkan dapat ditelusuri sesar-sesar bawah permukaan (Sesar Citarik). Sedangkan segmen tiga dengan arah utara-selatan diharapkan dapat ditelusuri sesar-sesar bawah permukaan berarah barat-timur (sesar naik) yang melalui lembah Sungai Cimandiri (Gambar 6.43). Berdasarkan hasil evaluasi terhadap data lapangan yang diperoleh dari ketiga segmen tersebut yang dikombinasikan dengan data geofisika regional telah dibuat analisis geologi bawah permukaan dan struktur geologi lintasan rinci terpilih dari G.Buleud-Kebonjati-Jayanti-Babakan-Mariuk-Bojong Kopo-Cisaat.

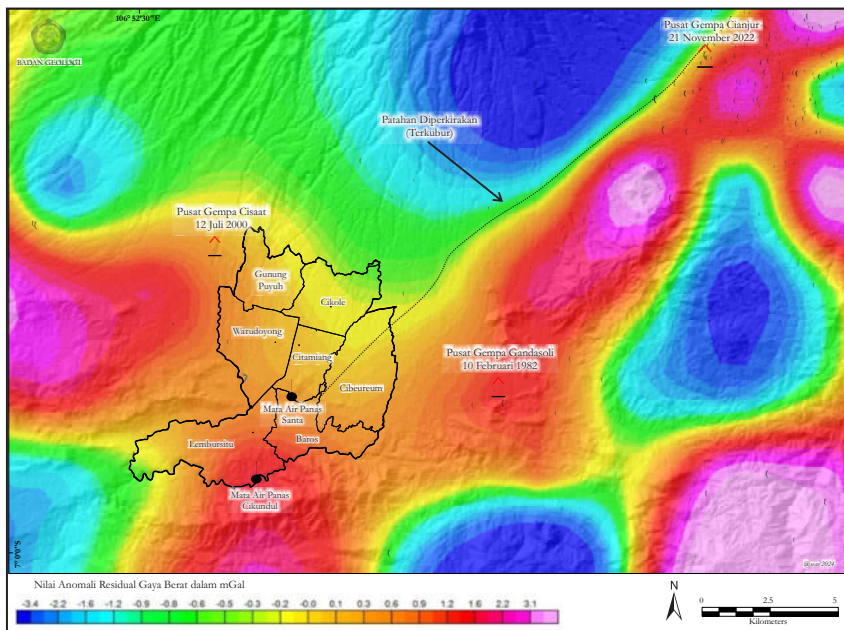
Berdasarkan model analisis tersebut (Gambar 6.43) dapat dijumpai bahwasanya batuan alas pada lintasan ini terdiri dari batuan beku andesit-basaltis berupa breksi dan lava dengan rapat masa 2,7 – 3 g/cc. Di atas batuan alas tersebut dijumpai batupasir dari Formasi Nyalindung dengan rapat masa 2,5 g/cc. Menutupi batupasir Formasi Nyalindung ini dijumpai lava dari G.Halimun

dan G.salak tua berkomposisi andesit dengan rapat masa 2,3 g/cc. Endapan permukaan dijumpai pada lajur ini berupa endapan aluvium Sungai Cimandiri.

Pada lintasan gayaberat ini dapat dijumpai ada tujuh sistim sesar. Sesar 1 disebut sebagai sesar turun Gunung Bulet, sesar 2 disebut sebagai sesar turun Jayanti, sesar 3 sebagai sesar naik Cimandiri utara, sesar 4 sebagai sesar turun Bagbagan, sesar 5 sebagai sesar naik selatan Cimandiri dan sesar 6 sebagai sesar mendatar mengiri Citarik. Sesar 7 disebut sebagai sesar turun Cisaat. Sesar 2 dan 4 adalah sesar utama Sungai Cimandiri dengan mekanisme sesar naik.

Khusus untuk wilayah Kota Sukabumi, penyelidikan bawah permukaan dengan metode gaya berat di tampilan pada Gambar 6.44, gambar ini menunjukkan peta anomali gaya berat residual di wilayah Kota Sukabumi. Peta ini memperlihatkan variasi kecil maupun besar dari gaya gravitasi yang terjadi di bawah permukaan tanah, yang disebabkan oleh ketidakaturan struktur batuan dan distribusi massa di bawah tanah. Anomali gaya berat residual ini merupakan hasil pengukuran yang membantu para ilmuwan memahami bagaimana struktur geologi bawah permukaan mempengaruhi gaya gravitasi yang dirasakan di permukaan. Peta ini merupakan hasil modifikasi dari penelitian yang dilakukan oleh Indragiri, *dkk.* (2024). Informasi dari peta ini sangat penting untuk mengidentifikasi daerah yang memiliki potensi aktifitas tektonik atau struktur batuan yang rapuh, serta membantu dalam menentukan wilayah yang berisiko mengalami pergeseran tanah, longsor, atau gempa bumi. Dengan demikian, peta ini menjadi salah satu alat penting dalam studi tektonik dan perencanaan mitigasi bencana di Kota Sukabumi.

Hasil yang sangat signifikan dari peta anomali residual gaya berat di wilayah Kota Sukabumi (Gambar 6.44) menunjukkan pola kontras yang mencolok antara zona dengan anomali tinggi dan zona dengan anomali rendah. Pola ini diperkirakan sebagai



Gambar 6.44. Peta anomali gaya berat residual daerah Kota Sukabumi (Modifikasi dari Indragiri, dkk. 2024).

jejak tersembunyi dari keberadaan sesar terkubur yang berarah relatif timurlaut - baratdaya, membentang dari Kota Sukabumi hingga wilayah Kabupaten Cianjur. Fenomena ini menunjukkan bahwa di balik kedalaman tanah, ada struktur sesar yang aktif dan sangat berpengaruh terhadap dinamika wilayah tersebut. Lebih nyata lagi, momen gempa besar yang menimpa Cianjur pada 21 November 2022—yang menciptakan malapetaka dan kerusakan hebat—bertepatan secara presisi dengan posisi garis kontras anomali residual tersebut. Waktu yang luar biasa ini menunjukkan bahwa gempa Cianjur bukan sekadar kebetulan, melainkan merupakan manifestasi nyata dari kekuatan alam yang membentuk dan menggerakkan sesar terkubur yang tersembunyi namun sangat aktif. Fenomena ini mengingatkan kita bahwa kekuatan bumi tidak selalu tampak kasat mata, tetapi energi yang tersimpan di kedalaman bisa tiba-tiba aktif bergerak bangkit

dan mengubah wajah bumi dalam sekejap mata. Kesimpulan ini menegaskan perlunya perhatian besar terhadap struktur bawah tanah yang tersembunyi agar masyarakat dan pemerintah dapat meningkatkan kesiapsiagaan menghadapi bencana gempa yang tak terduga namun sangat nyata ini.

6.5 Mengungkap Sesar Cimandiri dengan Teknologi InSAR/DInSAR

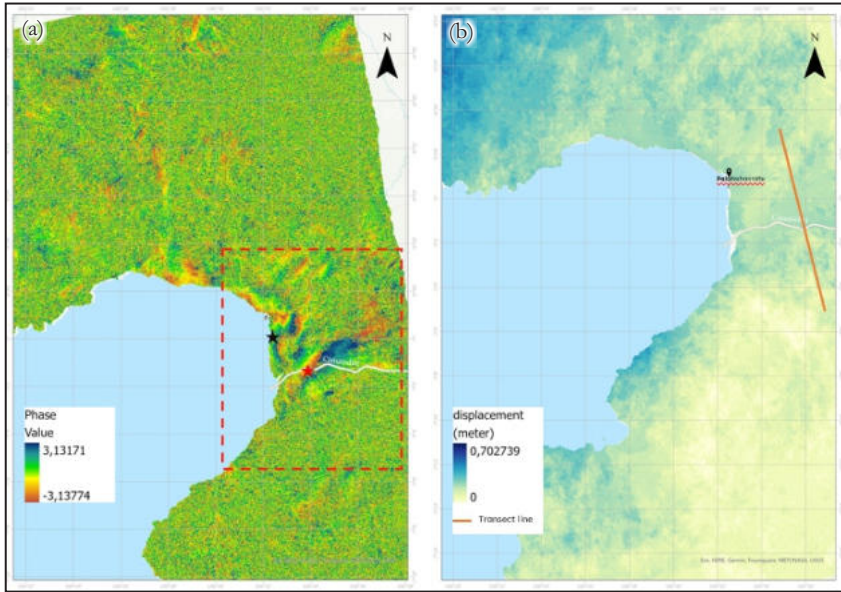
Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 di Bab 2, terdapat berbagai metode yang digunakan dalam penyelidikan sesar aktif, mulai dari teknik tradisional hingga pendekatan modern. Di antara metode modern tersebut, InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*) dan DInSAR (*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar*) merupakan teknologi terbaru yang sangat berperan penting dalam memetakan perubahan permukaan bumi secara akurat dan efisien. Metode ini memanfaatkan data citra satelit radar untuk mendeteksi pergeseran dan deformasi tanah dengan tingkat ketelitian yang tinggi, bahkan dalam skala centimeter. Pada sub-bab ini, disajikan hasil penelitian yang menggunakan teknologi InSAR untuk mengungkap keberadaan dan karakteristik Sesar Cimandiri. Pendekatan ini memungkinkan para peneliti untuk memantau aktivitas sesar secara *non-invasif*, melihat perubahan-perubahan kecil yang terjadi secara terus-menerus di lapangan, sehingga memberikan gambaran yang lebih lengkap dan akurat tentang dinamika tektonik yang sedang berlangsung di wilayah tersebut. Dengan penggunaan teknologi modern ini, risiko bencana alam seperti gempa dan longsoran dapat dideteksi lebih dini, sehingga langkah mitigasi yang tepat dapat diambil demi keselamatan masyarakat.

Analisis InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*) adalah teknik untuk memetakan deformasi tanah menggunakan citra radar permukaan Bumi. InSAR dapat mengukur pergerakan kecil pada suatu wilayah dari waktu ke waktu dengan akurasi

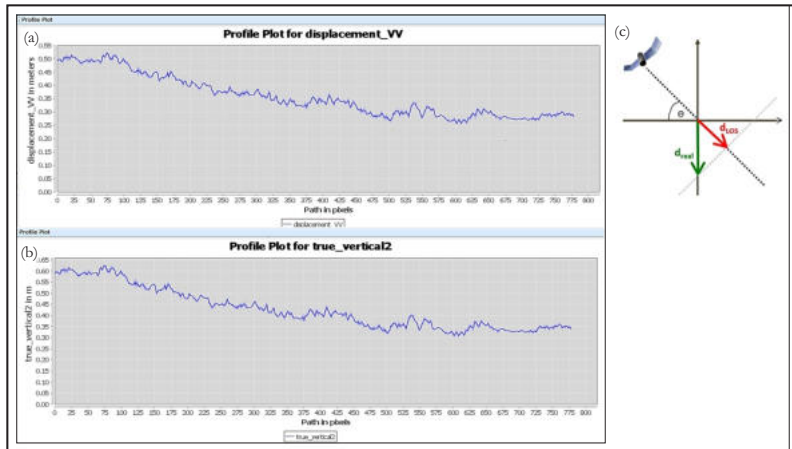
milimeter. InSAR bekerja dengan mengukur perbedaan fase gelombang radar antara dua lintasan. Pengukuran ini dilakukan ketika pesawat ruang angkasa berada pada posisi yang sama untuk kedua lintasan. InSAR memiliki beberapa keunggulan, di antaranya, dapat menembus sebagian besar awan cuaca, sama efektifnya dalam kegelapan, memiliki presisi tinggi, mampu mendeteksi perpindahan 1–2 mm per tahun. Sedangkan Analisis DInSAR (*Differential InSAR*) adalah teknik untuk mendeteksi deformasi permukaan bumi dengan menggunakan dua citra *Synthetic Aperture Radar* (SAR). Analisis DInSAR dapat digunakan untuk mengidentifikasi perubahan spasial suatu daerah, seperti penurunan atau kenaikan muka tanah. Berikut ini adalah beberapa hal yang perlu diketahui tentang analisis DInSAR; proses analisis DInSAR dilakukan dengan mengurangi fasa topografi dan interferogram. Interferogram merupakan jenis citra baru yang dihasilkan dari perbedaan fasa. Untuk membentuk interferogram, digunakan dua data radar dalam format *Single Look Complex* (SLC) dengan resolusi FBS. Analisis DInSAR dapat digunakan untuk mengidentifikasi perubahan spasial suatu daerah. Analisis DInSAR dapat menunjukkan apakah wilayah yang diteliti mengalami penurunan muka tanah atau kenaikan muka tanah.

Analisa deformasi permukaan berupa penurunan muka tanah di Sesar Cimandiri Segmen Mekarasih, tepatnya di daerah Palabuhanratu telah dilakukan oleh Stevany, *dkk*, 2024 dengan melakukan analisa DInSAR dan membandingkannya akibat gempa 20 September 2022 seperti terlihat pada Gambar 6.45 dan Gambar 6.46.

Dalam kajian ini, pengolahan DInSAR dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SNAP. Dengan asumsi sekumpulan citra SAR Sentinel-1A yang diperoleh pada waktu tertentu (sebelum dan sesudah gempa) yang mencakup wilayah kajian, hasil pertama, yaitu beda fasa, ditunjukkan pada Gambar 6.45 (a). Perhatikan kotak merah, di situlah rentang beda fasa



Gambar 6.45. Hasil analisa InSAR salah satu daerah Sesar Cimandiri Segmen Mekarasih di daerah Palabuhanratu. (a) perbedaan *phase* deformasi akibat gempa 20 September 2022 di Palabuhanratu, (b) pergeseran secara vertical yang memotong tegak lurus Sesar Cimandiri. (Sumber: Stevany, dkk, 2024).



Gambar 6.46. Penampang *line of sight* (LOS) bagian atas dan pergeseran vertikal sebenarnya. Penampang diambil berdasarkan garis Gambar 4.45 (b). (Sumber: Stevany, dkk, 2024).

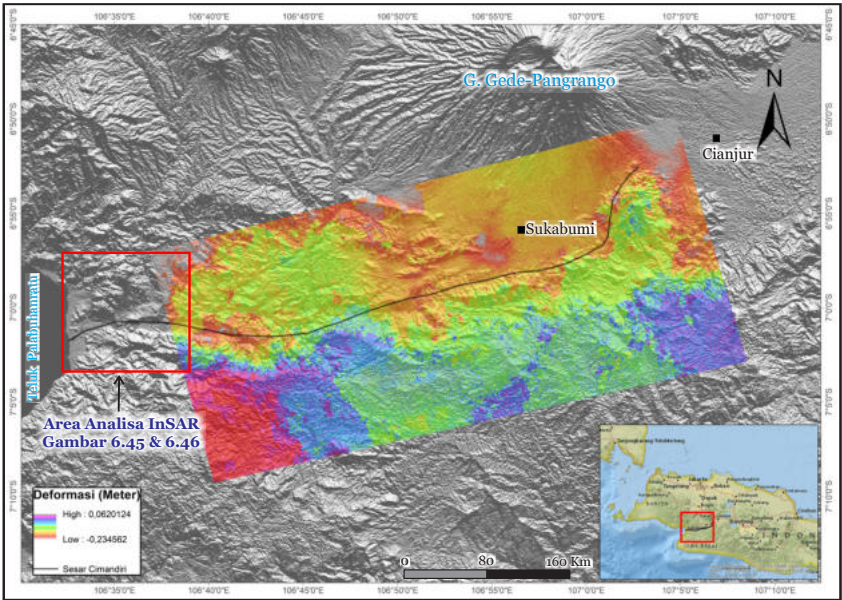
tertinggi saat gempa dalam kajian ini. Perbandingan foto satelit sebelum dan sesudah gempa dengan DInSAR menghasilkan nilai beda fasa yang besar berpusat pada garis sesar Cimandiri dengan rentang fasa -3,092 hingga 3,031. Hal ini menunjukkan bahwa Sesar Cimandiri merupakan episentrum gempa pada tanggal 20 September 2022 di Palabuhanratu. Kemudian bintang merah (Gambar 6.45 (a)) merupakan tempat di sekitar beda fase tinggi yang berada tepat di garis Sesar Cimandiri, yaitu Jembatan Bagbagan, Palabuhanratu. Stevany, *dkk*, 2024 juga mengambil data GPS geodetik di sana sebagai titik kontrol tanah.

Hasil penyelidikan nilai pergeseran yang terjadi di sepanjang garis pandang (LoS – *light of sight*) berada pada kisaran 0,105 sampai dengan 0,672 meter. Pergeseran tetap yang ditunjukkan pada gambar 6, temuan sebesar 0,126 sampai dengan 0,806 meter menunjukkan bahwa wilayah di sekitar Sesar Cimandiri telah mengalami kenaikan. Terdapat dua grafik pada Gambar 6.46, grafik bagian atas sebelum dikoreksi (berbentuk garis pandang), kemudian dikoreksi sehingga menjadi grafik bagian bawah, pergeseran vertikal sejati. Grafik tersebut memiliki nilai yang sama secara horizontal, tetapi tidak secara vertikal, seperti yang ditunjukkan pada nilai di kedua grafik, bahwa vertikal sebenarnya lebih tinggi daripada LoS menurut aturan segitiga *Pythagoras* (Gambar 6.46, (c)).

Pengolahan data InSAR juga dilakukan di Sebagian besar zona Sesar Cimandiri seperti terlihat pada Gambar 6.47. Gambar ini menunjukkan hasil pengolahan data InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*) pada zona Sesar Cimandiri, yang mencakup wilayah Kabupaten Sukabumi, Kota Sukabumi, dan sebagian wilayah Kabupaten Cianjur. Hasil ini memperlihatkan pola pergeseran tanah yang terjadi di seluruh kawasan tersebut sebagai akibat dari aktivitas sesar yang aktif. Melalui teknologi InSAR, perubahan permukaan bumi ini dapat dipantau secara akurat dan berkelanjutan, bahkan dalam skala centimeter, yang sangat berguna untuk mendeteksi deformasi kecil yang bisa

berkembang menjadi potensi bahaya besar seperti gempa dan longsor. Data ini memberikan gambaran penting bagi para peneliti dan pihak terkait dalam memahami dinamika tektonik di daerah rawan bencana tersebut, serta menjadi dasar dalam pengembangan langkah mitigasi yang tepat dan efektif guna melindungi masyarakat dari risiko bencana alam yang tak terduga.

Hasil analisis deformasi permukaan tanah yang dilakukan dengan teknologi InSAR di sekitar wilayah Sesar Cimandiri menunjukkan perubahan yang cukup signifikan (Gambar 6.47). Di bagian utara kawasan, tanah mengalami penurunan hingga sekitar 23,46 cm, sementara di bagian selatan, tanah mengalami kenaikan hingga sekitar 6,20 cm. Warna kuning dan oranye menunjukkan area yang sedang menyusut atau turun, sedangkan warna biru dan



Gambar 6.47. Hasil pengolahan InSAR pada zona Sesar Cimandiri di Kabupaten Sukabumi, Kota Sukabumi, dan Sebagian wilayah Kabupaten Cianjur, kotak merah merupakan area analisa InSAR yang dilakukan oleh Stevany, dkk, 2024 dalam Gambar 6.45.

pink menandai area yang justru mengangkat atau mengalami kenaikan. Garis hitam menandai jejak struktur sesar yang ada di lapangan, dan garis merah menunjukkan jalur utama dari Sesar Cimandiri. Data ini penting untuk memahami bagaimana tanah di wilayah ini bergerak dan berubah, yang berdampak langsung terhadap risiko bencana seperti gempa dan gerakan tanah agar segera diwaspadai.





BAB 7. PENILAIAN BENCANA GEMPA BUMI DI ZONA SESAR CIMANDIRI

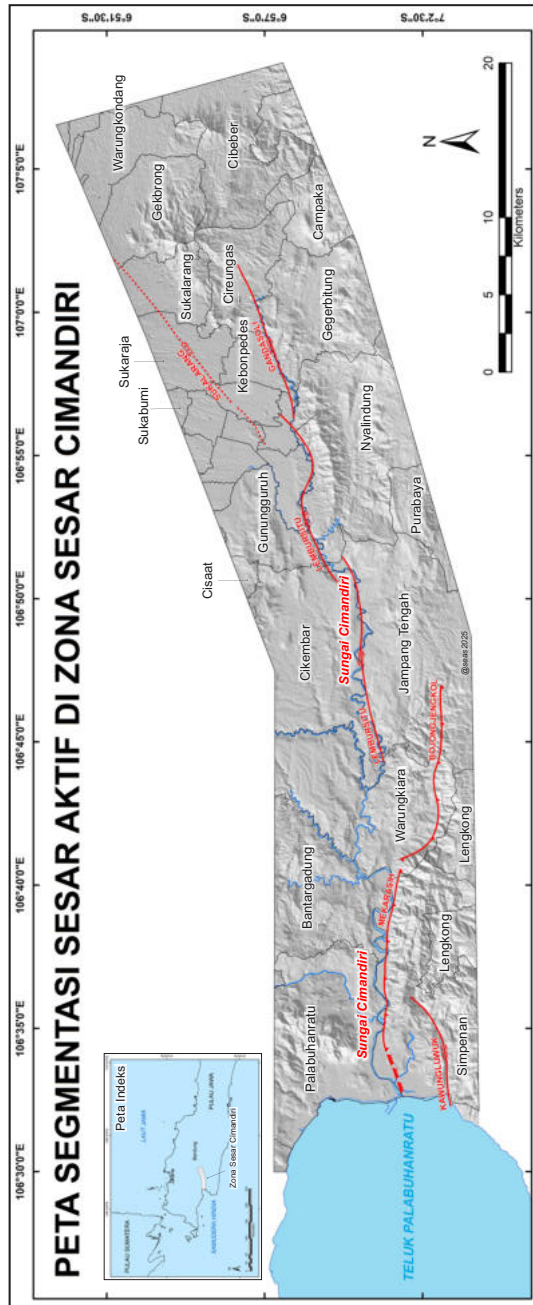
“Gempa bumi di zona Sesar Cimandiri ibarat sebuah simfoni yang dimulai dari ketukan kecil namun bisa berubah menjadi ledakan dahsyat. Penilaian terhadap bencana ini bukan hanya sekadar mengukur kekuatannya, melainkan juga menelusuri jejak luka yang tersimpan di dalam tanah serta menyingkap tantangan yang harus dihadapi oleh masyarakat dan infrastruktur. Melalui pendekatan ilmiah yang mendalam, kita dapat memahami pola dan potensi ancaman yang tersembunyi di balik garis Sesar Cimandiri, sehingga upaya mitigasi bencana dapat dilakukan secara lebih tepat sasaran dan efektif”

7.1 Karakteristik Segmentasi Sesar di Zona Sesar Cimandiri

Seperti kita ketahui, Sesar Cimandiri terletak di pulau Jawa, salah satu pulau yang menjadi jantung di Negara Kesatuan Republik Indonesia. Sesar ini merupakan salah satu sesar aktif yang memiliki potensi menyebabkan gempa bumi signifikan. Mengingat tingginya kerentanan wilayah ini terhadap bencana seismik/kegempaan, penilaian bencana gempa bumi menjadi hal yang sangat penting untuk dipahami. Penilaian ini membantu dalam merencanakan mitigasi risiko dan peningkatan kapasitas masyarakat dalam menghadapi dampak gempa.

Sesar Cimandiri adalah bagian dari sistem sesar besar yang mempengaruhi pola tektonik di wilayah Jawa. Struktur geologinya menunjukkan bahwa sesar ini memiliki sejarah aktivitas seismik yang cukup panjang. Penelitian terkini menunjukkan bahwa sesar ini dapat menghasilkan gempa dengan magnitudo yang besar, magnitudo maksimum dari pergerakan Sesar Cimandiri jika semua segmen bergerak adalah 6,7 (Irsyam, dkk, 2017). Memahami karakteristik dan perilaku sesar ini sangat krusial untuk mitigasi bencana akibat pergerakan sesar tersebut, bukan hanya gempa bumi tetapi seperti bahaya *silent* gerakan tanah.

Salah satu penilaian bencana gempa bumi di zona Sesar Cimandiri dapat dilihat pada Gambar 7.1, pada gambar ini memperlihatkan sebaran sesar yang melintas di sepanjang zona Sesar Cimandiri dalam koridor Palabuhanratu hingga Sukabumi. Peta ini tidak hanya menggambarkan jalur sesar yang menjadi jalur utama pergerakan tektonik, tetapi juga menunjukkan lokasi pusat gempa merusak dan gempa yang dirasakan oleh masyarakat setempat. Kehadiran pusat gempa ini sangat penting sebagai indikator aktifitas sesar yang mampu menimbulkan kerusakan serius apabila terjadi gempa besar.



Gambar 7.1. Sebaran segmentasi sesar aktif di sepanjang zona Sesar Cimandiri koridor Palabuhanratu – Sukabumi.

Selain itu, penilaian terhadap tingkat aktifitas sesar, baik yang sudah aktif maupun berpotensi aktif, beserta perhitungan kekuatan maksimum gempa yang mungkin dihasilkan, disajikan dalam Tabel 7.1. Data ini memberikan gambaran ilmiah mengenai risiko yang dihadapi, serta membantu dalam perencanaan mitigasi bencana dan pembangunan yang aman di wilayah tersebut. Dengan mengetahui sebaran sesar dan potensi gempa yang ada, masyarakat dan pemangku kepentingan dapat lebih siap dan waspada terhadap ancaman gempa bumi yang berasal dari wilayah ini. Pada tahapan ini juga dilakukan perhitungan *magnitude* maksimum yaitu analisa berdasarkan kondisi tektonik, sehingga yang dipergunakan adalah *Maximum Credible Earthquake* (MCE).

Perhitungan magnitudo maksimum dilakukan dengan menggunakan formula yang diusulkan oleh Well dan Coppersmith (1994). Formula ini dirancang khusus untuk menghitung magnitudo maksimum dengan mempertimbangkan jenis kinematika sesar. Berdasarkan metode yang dikembangkan oleh Well dan Coppersmith (1994), magnitudo maksimum untuk masing-masing segmen dapat dihitung menggunakan persamaan tersebut. Dengan demikian, analisis ini memberikan pemahaman mengenai potensi gempa yang dapat terjadi pada setiap segmen.

7.2 Metodologi dan Strategi Mitigasi Bencana Akibat Sesar Aktif

Selain memahami karakteristik setiap segmen sesar, metodologi penilaian bencana gempa bumi di Zona Sesar Cimandiri memerlukan beberapa langkah yang terstruktur. Pertama, identifikasi risiko seismik dilakukan melalui pengumpulan data historis mengenai kejadian gempa di wilayah tersebut serta pemodelan seismik untuk memperkirakan potensi gempa di masa depan. Selanjutnya, analisis efek gempa dilakukan dengan

Tabel 7.1. Karakteristik segmen sesar di dalam zona Sesar Cimandiri (berdasarkan Gambar 7.1).

Nama Sesar/ Segmen	Karakteristik Geologi (Batuan Penyusun)	Karakteristik Sesar
Kawungluwuk	Memotong batuan aluvium dan endapan pantai (batuan berumur Kuarter – Holosen) di daerah Loji.	Jenis sesar mendatar mengiri normal (<i>oblique</i>), Keterdapatan mata air panas di Kampung Kawungluwuk (Gambar 6.21 d) morfologi <i>triangular facets</i> (Gambar 6.21b). Keterdapatan gempa dangkal di zona sesar Kawungluwuk, gempa 26 Oktober 2019 Mag. 3,8 (BMKG). Panjang Segmen Kawungluwuk ini adalah 7,9 km, dengan potensi maksimum gempa mencapai magnitude 6,2.
Mekarasih	Aluvium dan endapan pantai (Qha) (Gambar 6.24), memotong teras muda (Qpyt). Batuan tertua di zona segmen Sesar Mekarasih merupakan Formasi Jampang (Nmjv) tersusun atas batupasir dan breksi karbonatan berkomposisi andesit dan basaltis (lihat Gambar 6.2, 6.3, 6.4, dan 6.16)	Jenis sesar naik. Sesar ini memanjang sepanjang Lembah Sungai Cimandiri bagian selatan, melewati Desa Mekarasih. Sesar Mekarasih relatif berarah barat-timur, indikasi sesar berupa adanya air terjun dengan kemiringan lapisan Formasi Jampang ke arah selatan, mata air panas Mekarasih atau Cibubuay (Gambar 6.25 dan 6.26), aspek morfotektonik berupa <i>triangular facets</i>, gerakan tanah, teras sungai (Gambar 6.27), <i>knickpoint</i>. Supartoyo (2014) melakukan studi paleoseismologi di Sesar Mekarasih ini dengan mengukur umur dari 2 lapisan <i>paleosoil</i>, lapisan pertama 1620 ± 230 BP (<i>Before Present</i>), sedangkan lapisan kedua 1170 ± 190 BP (<i>Before Present</i>). Kedua lapisan <i>paleosoil</i> ini terpotong oleh sesar yang searah dengan gawir sesar berarah barat-timur (Gambar 6.20). Dari studi paleoseismologi tersebut disimpulkan pernah terjadi gempa bumi di masa lampau terjadi lebih muda dari 1620 ± 230 BP (<i>Before Present</i>). Panjang Segmen Mekarasih ini adalah 15,2 km, dengan potensi maksimum gempa mencapai magnitude 6,4.

Bojongjengkol	Batuan penyusun yang dilewati oleh Sesar Bojongjengkol yaitu aluvium di sepanjang Sungai Cibandiri. Formasi Jampang (Nmjv): secara umum tersusun atas batupasir dan breksi tuf karbonatan. Anggota Cikarang (Nmjc): Tuf dan tuf lapili, tuf batupung, batupasir karbonatan.	Sesar naik Sesar naik Bojongjengkol relatif berarah barat-timur dengan bagian selatan yang naik, aspek morfotektonik di sepanjang sesar ini berupa <i>triangular facets</i>, <i>river terrace</i>, <i>offset drainage channel</i>, dan beberapa <i>knickpoint</i>. Panjang Segmen Bojongjengkol ini adalah 12,9 km, dengan potensi maksimum gempa mencapai magnitudo 6,4.
Lembursitu 1	Daerah yang dilalui Sungai Cibandiri, Desa Padabeunghar, Tanjungsari - Kec. Jampangtengah, Kab. Sukabumi. Batuan penyusun umumnya Aluvium dan endapan pantai (Qha). Endapan undak muda (Qpyt). Formasi Cibandiri (Nmcm): Batupasir dan batupasir tufan berselingan dengan konglomerat aneka bahan, batulempung dan batugamping.	Jenis sesar mendatar mengiri. Sesar memotong batuan aluvium, morfotektonik aspek berupa; <i>river terrace</i>, <i>fault scrap</i>, beberapa titik mata air/<i>water springs</i>, aluvial fan, mata air panas/<i>hot water springs</i>, <i>shutter ridges</i> (Gambar 6.28 dan 6.29). Kejadian gerakan tanah sering terjadi pada segmen sesar ini di beberapa lokasi di sempadan Sungai Cibandiri (Gambar 6.31 dan 6.32). Panjang Segmen Lembursitu 1 ini adalah 13,7 km, dengan potensi maksimum gempa mencapai magnitudo 6,4.
Lembursitu 2	Aluvium (Qa). Batuan gunungapi Gunung Gede (Qvg): Breksi tufan dan lahar. Anggota Tuf dan Breksi Formasi Jampang (Nmjt).	Jenis mendatar mengiri dengan komponen turun (<i>oblique</i>). Morfotektonik aspek berupa keterdapatan mata air panas (<i>hot water springs</i>) dan perbukitan dengan <i>facet</i> segitiga di daerah Cikundul (Gambar 6.33, 6.34, dan 6.35). Panjang Segmen Lembursitu 2 ini adalah 13,7 km, dengan potensi maksimum gempa mencapai magbitudo 6,4.

Gandasoli	Aluvium (Qa). Batuan gunungapi Gunung Gede (Qvg): Breksi tufan dan lahar. Anggota Tuf dan Breksi Formasi Jampang (Nmjt)	Jenis sesar mendatar mengiri dengan komponen turun (<i>oblique</i>). Kegempaan dangkal (0-10 Km) data BMKG berada di zona sesar, sejarah gempa merusak di Gandasoli tahun 1982 (Kertapati dan Koesoemadinata, 1983) episenter gempa dangkal kedalaman 6 Km (Supendi, <i>dkk</i>, 2018). Aspek geomorfologi tektonik pada segmen ini ditandai dengan adanya perbukitan memanjang di zona sesar (Gambar 6.40). Panjang Segmen Gandasoli 2 ini adalah 10,6 km, dengan potensi maksimum gempa mencapai magnitudo 6,3
Sukalarang		Sesar ini merupakan sesar terkubur yang teridentifikasi melalui analisis deliniasi hasil anomali residual gaya berat yang ditunjukkan pada Gambar 6.44. Sesar ini memiliki arah timurlaut-baratdaya. Panjang segmen Sukalarang ini adalah 17,6 km dengan potensi maksimum gempa mencapai magnitude 6.6.

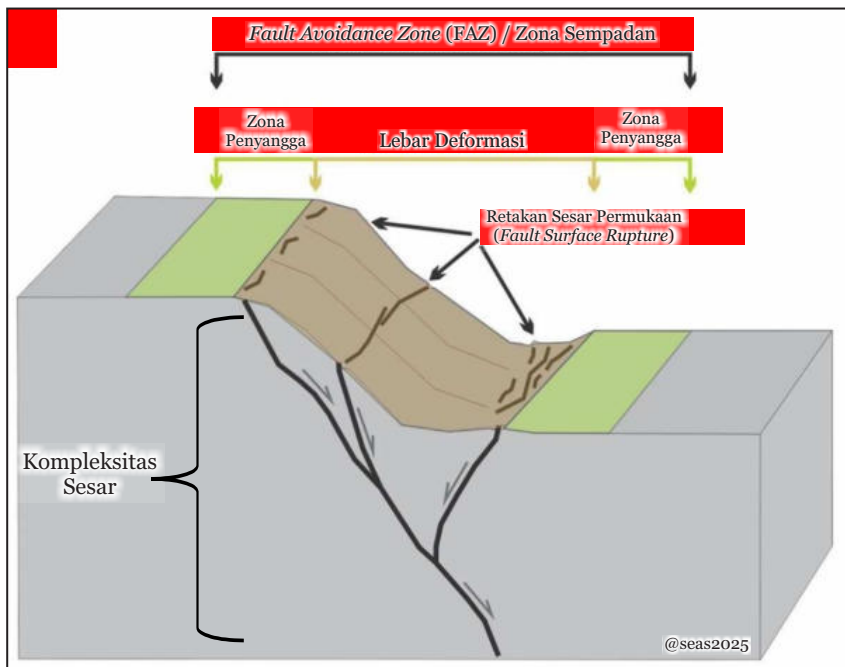
menilai dampak potensial yang mungkin ditimbulkan, termasuk guncangan tanah, fenomena likuifaksi, dan akibat sekunder seperti tanah longsor atau tsunami. Kemudian, pemetaan zona risiko dilakukan dengan memanfaatkan teknologi pemetaan geospasial, sehingga area dengan tingkat kerentanan tinggi dapat ditentukan, membantu pemahaman tentang lokasi-lokasi yang seharusnya menjadi prioritas dalam upaya mitigasi. Terakhir, keterlibatan masyarakat sangat penting dalam proses penilaian ini, agar informasi yang diperoleh lebih komprehensif dan kesadaran akan risiko yang ada dapat ditingkatkan.

Gempa bumi di Zona Sesar Cimandiri dapat memiliki dampak sosial dan ekonomi yang signifikan. Kerusakan infrastruktur,

kehilangan nyawa, dan perpindahan penduduk adalah beberapa contoh dampak langsung. Selain itu, dampak jangka panjang seperti pemulihan yang lambat dan pengurangan produktivitas ekonomi dapat terjadi.

Berdasarkan hasil penilaian, beberapa strategi mitigasi dapat diterapkan, antara lain:

1. Perencanaan Tata Ruang yang Berbasis Risiko: Menghindari pembangunan di area berisiko tinggi dan memastikan struktur bangunan memenuhi standar tahan gempa.
2. Edukasi dan Pelatihan: Mengadakan program pelatihan darurat bagi masyarakat untuk meningkatkan kesiapsiagaan dalam menghadapi bencana gempa.
3. Penguatan Infrastruktur: Memperkuat gedung dan infrastruktur penting agar mampu menahan guncangan gempa.
4. Pelibatan Stakeholder: Menggalang kerjasama antara pemerintah, pemangku kepentingan, dan warga untuk merancang dan melaksanakan strategi mitigasi.
5. *Fault Avoidance Zone (FAZ)*: adalah area yang ditetapkan di sekitar sesar aktif dengan tujuan untuk menghindari pembangunan infrastruktur atau aktivitas yang berpotensi menciptakan risiko tinggi terhadap keselamatan manusia dan kerusakan properti akibat pergerakan tanah yang disebabkan oleh aktivitas pergerakan sesar baik yang dirasakan atau tidak dirasakan (Kerr, dkk, 2003). Kata lain untuk *Fault Avoidance Zone* (Gambar 7.2) dapat diartikan sebagai daerah sempadan sesar. Istilah ini merujuk pada area yang ditetapkan di sekitar sesar sebagai upaya untuk menghindari risiko dan dampak yang mungkin timbul akibat aktivitas seismik. Daerah sempadan sesar ini berfungsi untuk melindungi masyarakat dan infrastruktur



Gambar 7.2 Ilustrasi *Fault Avoidance Zone (FAZ)* atau zona sempadan sesar aktif (Modifikasi dari Morgenstern, dkk, 2024).

dari potensi bahaya guncangan gempa serta untuk mengatur penggunaan lahan dengan lebih aman dan bijaksana. Penetapan FAZ dilakukan berdasarkan analisis geologi yang mendalam, yang mengidentifikasi lokasi dan karakteristik sesar, serta risiko yang mungkin muncul dari gempa bumi. Dalam FAZ, berbagai regulasi dan kebijakan dirancang untuk melarang atau membatasi pembangunan, sehingga menciptakan ruang aman yang dapat melindungi masyarakat, infrastruktur kritis, dan lingkungan di sekitarnya. Pendekatan ini merupakan bagian integral dari strategi mitigasi bencana untuk meningkatkan keselamatan dan mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh bencana alam, khususnya di wilayah dengan aktivitas seismik yang signifikan.

Penilaian bencana gempa bumi di Zona Sesar Cimandiri merupakan upaya vital untuk minimalkan risiko dan dampak daripada bencana seismik. Melalui pendekatan ilmiah dan keterlibatan masyarakat, dapat tercipta sistem mitigasi yang kokoh dan berkelanjutan. Peningkatan kesadaran dan kesiapsiagaan masyarakat menjadi kunci keberhasilan dalam menghadapi potensi bencana di zona ini. Dengan langkah-langkah yang tepat dan kolaborasi yang baik, risiko bencana dapat diminimalkan, melindungi jiwa dan harta benda masyarakat serta mendukung pembangunan yang aman dan berkelanjutan.

Merancang dan mengimplementasikan *Fault Avoidance Zone* (FAZ) adalah pendekatan yang digunakan dalam mitigasi bahaya yang dihasilkan oleh sesar aktif. Konsep ini bertujuan untuk melindungi infrastruktur, penduduk, dan lingkungan dari dampak langsung aktivitas seismik. Berikut adalah penjelasan mengenai konsep ini:

Langkah-langkah dalam mendesain *Fault Avoidance Zone* (FAZ) melibatkan beberapa tahapan penting. Pertama, dilakukan identifikasi sesar aktif melalui analisis data geologi untuk menentukan lokasi, panjang, dan karakteristik sesar yang ada. Selanjutnya, penilaian risiko seismik dilakukan untuk memahami kemungkinan dan besaran dampak yang dapat ditimbulkan oleh pergerakan sesar tersebut. Terakhir, batas zona ditetapkan berdasarkan analisis yang telah dilakukan, dengan mempertimbangkan variabel-variabel penting seperti jarak aman dari sesar dan potensi kerusakan yang mungkin terjadi. Dengan mengikuti langkah-langkah ini, desain FAZ dapat memberikan wawasan yang lebih jelas mengenai risiko seismik dan perlunya mitigasi di area yang terdampak.

Implementasi *Fault Avoidance Zone* (FAZ) mencakup penerapan regulasi yang mengatur penggunaan lahan di dalam dan sekitar FAZ, termasuk larangan terhadap pembangunan atau penggunaan tanah tertentu, integrasi FAZ dalam perencanaan

tata ruang untuk memastikan bahwa infrastruktur, pembangunan perumahan, dan penggunaan lahan lainnya tidak berlokasi di zona yang berisiko tinggi, serta upaya untuk meningkatkan kesadaran publik mengenai pentingnya FAZ dan bahaya yang ditimbulkan oleh sesar aktif.

Manfaat *Fault Avoidance Zone* (FAZ) sangat penting dalam pengurangan risiko bencana seismik. Dengan menghindari pembangunan di area berisiko tinggi, FAZ berfungsi sebagai langkah proaktif untuk mengurangi potensi kerugian akibat gempa bumi. Selain itu, FAZ juga berperan dalam melindungi infrastruktur kritis dan populasi dari dampak seismik yang dapat merusak, sehingga meningkatkan keselamatan masyarakat. Di samping itu, FAZ mendorong perkembangan yang berkelanjutan dengan mempertimbangkan aspek geologi dan lingkungan, sehingga menciptakan keseimbangan antara pembangunan dan perlindungan terhadap sumber daya alam.

Merancang dan mengimplementasikan *Fault Avoidance Zone* (FAZ) adalah strategi penting dalam mitigasi bahaya dari sesar aktif. Dengan pendekatan yang sistematis dan berbasis data, FAZ tidak hanya membantu mengurangi risiko tetapi juga berkontribusi pada perencanaan dan pembangunan yang lebih aman dan berkelanjutan.

Penerapan *Fault Avoidance Zone* (FAZ) di Zona Sesar Cimandiri dapat dilakukan melalui berbagai langkah dan inisiatif yang bertujuan untuk mengurangi risiko bencana akibat gempa bumi. Berikut adalah beberapa contoh penerapan FAZ dalam konteks strategi mitigasi bencana akibat sesar aktif.

Pemetaan dan penetapan *Fault Avoidance Zone* (FAZ) merupakan langkah penting dalam mitigasi risiko gempa. Proses ini dimulai dengan pemetaan geospasial, di mana area yang berdekatan dengan Sesar Cimandiri dipetakan menggunakan teknologi *Geographic Information System* (GIS) untuk menentukan batasan FAZ. Dalam tahap ini, area yang memiliki risiko tinggi

terhadap guncangan gempa diidentifikasi dan ditandai secara jelas. Selain itu, analisis seismik dilakukan dengan memanfaatkan data historis dan model seismik untuk memahami potensi skala dan dampak gempa di sekitar sesar, sehingga zona yang perlu dilindungi dapat diidentifikasi. Sebagai bagian dari kebijakan penggunaan lahan, regulasi pembangunan dikeluarkan untuk melarang pembangunan gedung dan infrastruktur penting di dalam batas FAZ, dengan tujuan mencegah potensi kerusakan yang dapat ditimbulkan oleh gempa. Tabel 7.2 menyajikan kategori usulan peraturan pembangunan dalam penerapan FAZ.

Zonasi merupakan langkah penting dalam pengelolaan risiko gempa, di mana kebijakan zonasi diimplementasikan untuk mengatur jenis penggunaan lahan di sekitar *Fault Avoidance Zone* (FAZ). Dengan menetapkan zonasi ini, aktivitas yang berisiko dapat diminimalkan, sehingga keselamatan masyarakat dan infrastruktur di sekitar area berpotensi gempa dapat terjaga. Kebijakan ini bertujuan untuk memastikan bahwa penggunaan lahan sejalan dengan tingkat risiko gempa yang

Tabel 7.2 Kategori Usulan peraturan Pembangunan dalam penerapan FAZ

Kategori Izin	Deskripsi	Contoh Penerapan
Kegiatan yang Dizinkan/ <i>Permitted Activity</i>	Kegiatan diizinkan tanpa persetujuan, selama memenuhi standar	Bangunan kecil di luar zona sesar
Izin dalam Pengawasan/ <i>Controlled Activity</i>	Izin wajib, tapi dapat disetujui jika memenuhi kondisi teknis tertentu	Rumah tinggal di zona risiko rendah dengan fondasi aman
Izin Terbatas/ <i>Restricted Discretionary Activity</i>	Otoritas punya wewenang terbatas untuk menolak atau mengatur	Bangunan publik dekat zona deformasi
Izin Penilaian Lebih Lanjut/ <i>Discretionary Activity</i>	Otoritas bebas mempertimbangkan semua aspek risiko	Proyek besar dekat zona FAZ
Tidak Memenuhi Persyaratan/ <i>Non-Complying Activity</i>	Umumnya ditolak kecuali dapat dibuktikan sangat aman dan penting	Bangunan dengan menerapkan kode bangunan

ada, sehingga dapat mengurangi kemungkinan dampak negatif dari guncangan yang mungkin terjadi. Melalui zonasi yang tepat, diharapkan pengembangan kawasan dapat dilakukan dengan mempertimbangkan aspek keamanan dan keberlanjutan. Table 7.3 menyajikan kategori usulan kebijakan umum dalam penerapan FAZ.

Rencana Tata Ruang Wilayah harus mencakup langkah-langkah strategis untuk mengintegrasikan *Fault Avoidance Zone* (FAZ) ke dalam dokumen rencana tata ruang wilayah. Hal ini bertujuan untuk mengarahkan perkembangan kawasan menuju area yang lebih aman dan menjauh dari zona berisiko. Dengan demikian, proses perencanaan dapat mempertimbangkan ancaman seismik dan melindungi masyarakat dari potensi bahaya. Selain itu, prioritas infrastruktur juga harus diperhatikan, dengan mengarahkan investasi pada pengembangan infrastruktur di luar FAZ. Langkah ini memastikan bahwa fasilitas penting, seperti rumah sakit, sekolah, dan pusat layanan publik, tidak terletak di zona yang rentan terhadap aktivitas seismik, sehingga keselamatan dan keberlanjutan pelayanan kepada masyarakat dapat terjaga dengan baik.

Tabel 7.3 Kategori usulan kebijakan umum dalam penerapan FAZ

Zona	Keterangan Umum	Risiko Relatif	Kebijakan Umum
Zona Sempadan Sesar/ <i>Fault Avoidance Zone</i> (FAZ)	Area dengan jejak sesar utama dan potensi <i>rupture</i> tinggi	Risiko sangat tinggi	Umumnya tidak diperbolehkan untuk bangunan penting
Zona Penyangga/ <i>Buffer Zone</i> / <i>Deformation Zone</i>	Area sekitar FAZ dengan ketidakpastian posisi sesar	Risiko sedang	Pembangunan dapat dipertimbangkan dengan kajian geoteknik detail
Zona Risiko Rendah/ <i>Low Hazard Zone</i>	Area jauh dari jejak sesar, potensi pergeseran sangat rendah	Risiko rendah	Pembangunan diperbolehkan dengan syarat umum

Ilustrasi *Fault Avoidance Zone* (FAZ) atau zona sempadan sesar aktif ini, yang dimodifikasi dari Morgenstern dkk. (2024), menggambarkan berbagai elemen penting terkait dengan keberadaan sesar aktif. Dalam Gambar 7.2, terlihat lebar Zona Sempadan atau FAZ yang berfungsi sebagai area penghindaran untuk meminimalkan risiko akibat aktivitas seismik. Selain itu, ilustrasi menunjukkan lebar deformasi dari sebuah garis sesar aktif, yang mencakup zona penyangga yang dirancang untuk melindungi infrastruktur dan masyarakat di sekitarnya. Terdapat juga retakan permukaan (*surface rupture*) yang muncul akibat pergerakan sesar aktif dan guncangan saat gempa, serta kompleksitas sesar yang mencerminkan kerumitan struktur dan perilaku sesar yang dapat memengaruhi dampak dari gempa. Gambar ini memberikan pemahaman yang jelas mengenai aspek-aspek kunci dalam perencanaan dan mitigasi risiko gempa.

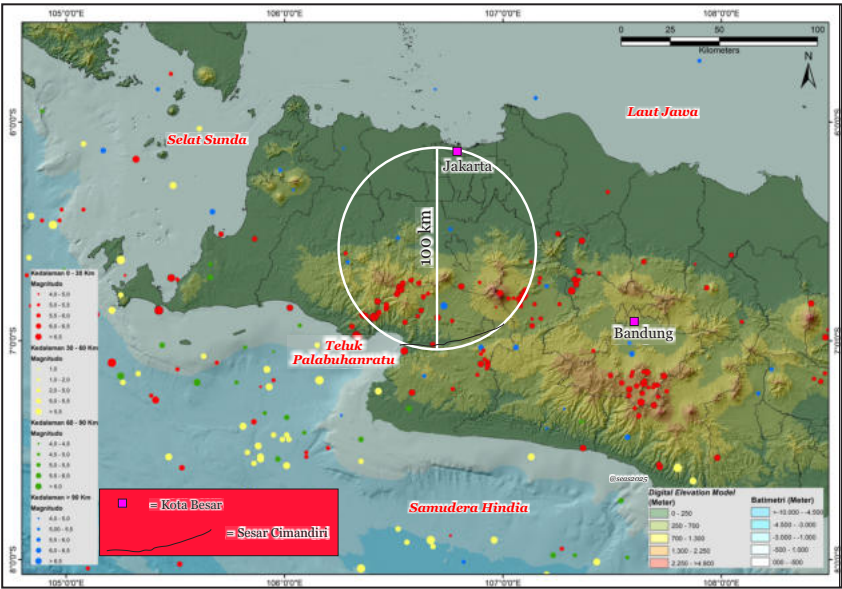
Untuk menentukan *Fault Avoidance Zone* (FAZ) atau zona sempadan sesar aktif, sangat penting untuk melakukan pemetaan sesar aktif secara detail. Proses ini dapat dilakukan dengan menerapkan metode yang sesuai, seperti yang terlihat pada Gambar 2.3 (lihat Bab 2). Pemetaan ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik fisik dari sesar, termasuk lebar deformasi dan kompleksitasnya, sehingga FAZ dapat ditentukan dengan akurat. Sebagai contoh, penerapan teknologi LiDAR dalam pemetaan zona sesar aktif dapat meningkatkan akurasi dan detail informasi mengenai retakan permukaan (*surface rupture*) yang diakibatkan oleh pergerakan tektonik dimasa lampau (gempa purba). Dengan informasi yang tepat, langkah-langkah mitigasi risiko dapat diterapkan secara efektif untuk melindungi masyarakat dan infrastruktur dari potensi bahaya yang ditimbulkan oleh aktivitas seismik di sekitar sesar aktif.

7.3 Bisikan Sesar Cimandiri ke Ibu Kota

“Sesar Cimandiri berbisik kepada ibu kota, memperingatkan bahwa di balik gemerlap kehidupan, ancaman gempa selalu mengintai.”

Jakarta, sebagai ibu kota Indonesia, merupakan pusat kegiatan pemerintahan, ekonomi, dan sosial bagi lebih dari 10 juta penduduknya. Dengan kepadatan penduduk yang tinggi dan berbagai infrastruktur vital, Jakarta menjadi jantung kehidupan masyarakat Indonesia. Namun, di balik kemegahan dan dinamika kota ini, terdapat ancaman serius yang mengintai: potensi bencana gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas Sesar Cimandiri.

Sesar Cimandiri adalah salah satu sesar aktif yang terletak di wilayah Jawa Barat, membentang dari selatan ke utara dan berpotensi melepaskan energi dalam bentuk gempa bumi. Sesar ini dikenal sebagai salah satu sumber bencana seismik yang serius bagi daerah sekitarnya, termasuk Jakarta. Dengan jarak yang relatif dekat, masih dalam radius 100 kilometer (Gambar 7.3), jika gempa di Sesar Cimandiri terjadi, ibu kota ini tidak akan luput dari dampaknya.



Gambar 7.3 Radius 100 kilometer Sesar Cimandiri dengan daerah Jakarta dan sekitarnya.

Dampak Gempa Bumi di Jakarta

Ketika Sesar Cimandiri melepaskan energi dalam bentuk gempa, dampak yang dihasilkan bisa sangat merusak. Jakarta, yang merupakan kota dengan banyak bangunan tinggi dan infrastruktur yang kompleks, sangat rentan terhadap kerusakan struktural. Gempa bumi bisa menyebabkan gedung-gedung roboh, jalanan retak, dan sistem transportasi lumpuh total, mengganggu mobilitas warga dan kegiatan ekonomi. Dalam beberapa skenario, diperkirakan bahwa dampak gempa dapat menelan ribuan jiwa dan menyebabkan kerugian ekonomi yang sangat besar.

Di sisi lain, banyak terbangun infrastruktur tidak sesuai dengan standar mitigasi bencana yang memadai. Banyak bangunan yang dibangun di Jakarta tidak dirancang untuk menahan gempa bumi, menjadikan ibu kota ini lebih rentan terhadap ancaman tersebut. Dengan populasi yang tinggi, situasi bisa menjadi lebih parah ketika kepanikan melanda penduduk yang berusaha menyelamatkan diri di tengah gempa.

Kesadaran dan Mitigasi Bencana

Menyadari bahaya ini, penting untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang potensi bencana yang diakibatkan oleh aktivitas Sesar Cimandiri. Edukasi mengenai perilaku yang tepat saat terjadi gempa dan pentingnya memiliki rencana evakuasi menjadi krusial untuk mengurangi dampak yang mungkin terjadi. Pemerintah dan lembaga terkait juga perlu melakukan simulasi gempa secara berkala sebagai bagian dari program mitigasi bencana.

Selain itu, peningkatan standar bangunan, pengawasan terhadap konstruksi, dan perencanaan tata ruang yang memperhitungkan risiko bencana harus menjadi prioritas. Penelitian lebih lanjut

tentang karakteristik geologi dan pola aktivitas Sesar Cimandiri juga diperlukan untuk memahami potensi risiko lebih baik hingga dapat mengambil langkah-langkah pencegahan yang lebih efektif.

Contoh kejadian gempa Mandalay – Myanmar yang mengguncang Bangkok (Ibukota Thailand)

Gempa bumi dahsyat yang melanda Mandalay, Myanmar pada Maret 2025 merupakan salah satu peristiwa gempa yang dahsyat dalam sejarah kawasan tersebut. Dengan kekuatan yang mencapai magnitudo yang signifikan, bencana ini memicu perhatian global, terutama karena dampak luas yang ditimbulkannya.

Pada tanggal 28 Maret 2025, pukul 12:50:54 waktu setempat (06:20:54 UTC) gempa bumi dahsyat melanda Region Sagaing, Myanmar. Menurut Survei Geologi Amerika Serikat (USGS) gempa tersebut bermagnitudo 7.7 dan berkedalaman dangkal sekitar 10 kilometer. Episentrum gempa dekat dengan Mandalay, kota terbesar kedua di negara tersebut yang berpenduduk sekitar 1.5 juta jiwa. Guncangan sesar geser tersebut mencapai Skala intensitas *Modified Mercalli* maksimum IX. Gempa bumi ini merupakan gempa bumi terkuat yang mengguncang Myanmar sejak tahun 1912 dan paling mematikan di Myanmar sejak kemerdekaannya pada tahun 1948. Gempa bumi tersebut dirasakan kuat hingga sejauh Bangladesh, India, Laos, Tiongkok, Thailand hingga Vietnam.

Sesar Sagaing adalah sesar aktif utama di Myanmar. Panjang sesar ini lebih dari 1.200 kilometer. Sesar Sagaing ini membuat gempa pada wilayah di Myanmar seperti Mandalay, Magway, Bago, Shan, Nay Pyi Taw hingga Sagaing itu sendiri. Getarannya pun sampai terasa di Bangkok, Thailand yang terjadi tanggal 28 Maret 2025 tersebut. Sesar Sagaing juga merupakan struktur tektonik antara Lempeng Sunda dan Lempeng India. Jika digambarkan, sesar ini membentang dari utara ke selatan dan memotong bagian tengah Myanmar.

Gempa bumi di Mandalay terjadi pada kedalaman dangkal, menghasilkan guncangan kuat yang terasa hingga ke daerah-daerah sekitar. Bangunan-bangunan yang tidak dirancang untuk tahan gempa mengalami kerusakan parah, sementara infrastruktur penting seperti jembatan, jalan raya, dan sistem transportasi mengalami gangguan yang signifikan. Banyak penduduk yang terjebak di dalam reruntuhan, dan tim penyelamat berjuang keras untuk memberikan bantuan dalam situasi yang menantang.

Dampak sosial dan ekonomi dari bencana ini juga sangat besar. Selain kehilangan nyawa, banyak keluarga kehilangan tempat tinggal dan harta benda mereka. Sistem kesehatan dan layanan dasar terdampak akibat meningkatnya kebutuhan pascagempa, dan distribusi bantuan menjadi sulit karena infrastruktur yang rusak. Selain itu, banyak usaha kecil dan besar mengalami kerugian finansial yang dapat mempengaruhi perekonomian lokal dalam jangka panjang.

Pemerintah Myanmar, bersama dengan berbagai organisasi non-pemerintah dan lembaga internasional, bergerak cepat dalam merespons keadaan darurat ini. Tim penyelamat dikerahkan untuk mencari dan menyelamatkan korban, sementara pusat-pusat evakuasi didirikan untuk memberikan perlindungan sementara bagi mereka yang kehilangan rumah. Operasi pencarian dan penyelamatan dihadapkan pada tantangan besar, termasuk kondisi cuaca yang tidak mendukung dan jalur akses yang terputus.

Gempa bumi Mandalay ini menjadi pengingat pentingnya kesiapsiagaan menghadapi bencana alam. Masyarakat, pemerintah, dan para pemangku kebijakan perlu berkolaborasi untuk meningkatkan infrastruktur dan memperbaiki standar bangunan agar lebih tahan gempa. Selain itu, edukasi mengenai tindakan yang perlu diambil saat terjadi bencana menjadi krusial untuk meminimalisir kerugian jiwa dan material.

Dalam menghadapi ancaman geologi, solidaritas antarnegara dan dukungan internasional juga memiliki peran vital dalam membantu negara yang terkena dampak bencana, dengan harapan bahwa mereka dapat pulih dan bangkit kembali lebih kuat. Mandalay, dengan segala keindahan dan budaya yang dimilikinya, dapat belajar dari peristiwa ini untuk membangun masa depan yang lebih aman dan tangguh.

Sesar Cimandiri adalah ancaman nyata bagi Jakarta, ibu kota Indonesia yang padat dan strategis. Dengan memahami bahaya yang ditimbulkan dan menerapkan langkah-langkah mitigasi yang tepat, harapannya dapat meminimalisir dampak yang ditimbulkan jika bencana terjadi. Kesadaran dan persiapan adalah kunci untuk melindungi kehidupan serta harta benda masyarakat dalam menghadapi ancaman yang tak terhindarkan ini.





Bab 8. Bagaimana Masyarakat Berlaku Harmonis Dengan Sesar Cimandiri?

Sesar Cimandiri seolah memberi sinyal kepada masyarakat untuk beradaptasi, mengajari kita bagaimana hidup dalam harmoni dengan kekuatan alam yang ada. Berkelakuan harmonis dengan Sesar Cimandiri bagaikan membangun jembatan antara manusia dan alam, di mana setiap langkah kita diambil dengan kesadaran akan potensi bahaya di sekitar.

Hidup harmoni dengan Sesar Cimandiri memerlukan kesadaran, keterampilan, dan kolaborasi, menjadikan kita satu kesatuan yang saling mendukung dalam menghadapi tantangan fenomena geologi. Dengan pengetahuan dan kesiapan, masyarakat bisa melindungi diri mereka dari guncangan gempa, seolah memiliki perisai pelindung yang menjauhkan ancaman dari Sesar Cimandiri.

Mari kita junjung tinggi kearifan lokal sebagai pilar kehidupan, seperti pohon yang memberi teduh di tengah badai. Kearifan lokal menjadi kompas bagi kita dalam menghadapi ancaman Sesar Cimandiri, mengingatkan bahwa setiap tradisi dan pengetahuan adalah suara bijak yang selaras dengan alam. Dengan menanamkan nilai-nilai ini, kita bisa berkomunikasi dengan lingkungan, siap menghadapi guncangan yang mungkin terjadi. Integrasikan kearifan lokal dalam langkah kita untuk membangun fondasi kokoh yang melindungi komunitas dari ancaman yang tak terduga. Bersama-sama, mari wujudkan generasi cerdas dan peduli, menjadikan kearifan lokal sebagai cahaya penerang di tengah tantangan alam, sehingga kita dapat hidup harmonis dengan Sesar Cimandiri.

Masyarakat Harus Hidup Harmonis dengan Kondisi Geologi Setempat

Dalam menghadapi tantangan lingkungan di era modern ini, penting bagi masyarakat untuk mengembangkan kesadaran dan pemahaman tentang kondisi geologi setempat. Indonesia, sebagai negara yang terletak di zona *ring of fire*, memiliki keragaman geologi yang signifikan, termasuk gunung berapi, sesar aktif, dan potensi bencana alam lainnya. Oleh karena itu, hidup harmonis dengan kondisi geologi tidak hanya menjadi pilihan, tetapi merupakan suatu keharusan untuk meningkatkan ketahanan dan keberlanjutan masyarakat.

Hidup harmonis dengan alam adalah suatu sikap dan cara berinteraksi yang mengedepankan keseimbangan antara kebutuhan manusia dengan keberlangsungan ekosistem. Dalam konteks masyarakat yang tinggal di wilayah rawan geologi, seperti dekat Sesar Cimandiri, pendekatan ini menjadi semakin penting. Kekuatan geologi, termasuk potensi gempa bumi, merupakan bagian dari fenomena alam yang tidak dapat dihindari, dan sebagai bagian dari ekosistem, manusia dituntut untuk memahami serta beradaptasi dengan realitas tersebut.

Konsep ini menuntut masyarakat untuk menempatkan diri sebagai bagian dari alam, bukan sebagai penguasanya. Sikap saling menghormati antara manusia dan lingkungan mengharuskan kita untuk mengembangkan cara hidup yang dapat meminimalkan dampak negatif terhadap alam dan, sebaliknya, mengoptimalkan manfaat yang bisa diperoleh tanpa melawan kekuatan alam. Dalam konteks gempa bumi, hal ini berimplikasi pada kesadaran akan risiko yang ada dan penerapan langkah-langkah mitigasi yang tepat.

Penyesuaian dengan kekuatan geologi dapat dilakukan melalui beberapa cara. Pertama, dengan meningkatkan pengetahuan tentang kondisi geologis lokal. Masyarakat perlu memahami karakteristik Sesar Cimandiri, termasuk sejarah aktivitas seismiknya dan potensi risiko yang ditimbulkan. Pendidikan tentang geologi tidak hanya membekali individu dengan informasi

teknis, tetapi juga merangsang keterlibatan aktif dalam usaha mitigasi bencana.

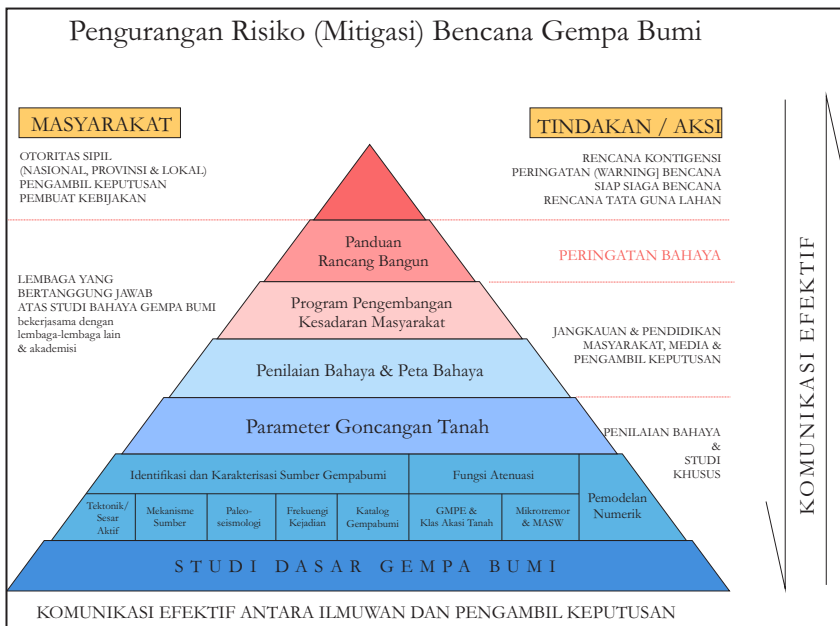
Kedua, penerapan infrastruktur yang ramah lingkungan dan tahan gempa menjadi kunci dalam menciptakan ketahanan. Desain bangunan yang mempertimbangkan kekuatan alam bukan hanya melindungi individu tetapi juga menghormati keseimbangan ekosistem di sekitarnya. Selain itu, penerapan praktek-praktek non-struktural, seperti penguatan komunitas dan pelatihan evakuasi, juga sangat penting dalam membangun ketahanan sosial.

Akhirnya, kolaborasi antara masyarakat, pemerintah, dan ilmuwan perlu diperkuat dalam penyesuaian ini (Gambar 8.1). Program-program yang melibatkan partisipasi masyarakat dalam pengambilan keputusan terkait mitigasi bencana akan menghasilkan strategi yang lebih efektif dan sesuai dengan kondisi lokal. Dengan demikian, konsep hidup harmonis dengan alam menjadi lebih dari sekadar filosofi; ia menjadi landasan dalam menciptakan lingkungan yang aman dan berkelanjutan bagi masyarakat yang hidup berdampingan dengan kekuatan geologi.

Menjaga Bumi: Jaring Keselamatan dalam Strategi Mitigasi Bencana

Masyarakat yang hidup harmonis dengan kondisi geologi setempat juga harus menyadari adanya risiko bencana seperti gempa bumi, letusan vulkanik, atau longsor. Pengetahuan tentang keberadaan sesar aktif atau daerah rawan bencana dapat meningkatkan kesadaran akan pentingnya mitigasi. Dengan perencanaan tata ruang yang tepat, pembangunan infrastruktur yang aman, dan pengembangan sistem peringatan dini, masyarakat dapat menangkal risiko yang mungkin terjadi.

Strategi mitigasi bencana gempa bumi akibat sesar aktif dalam Gambar 8.1 menyoroti pentingnya komunikasi yang efektif antara ilmuwan dan pengambil keputusan. Dengan adanya kerjasama



Gambar 8.1 Strategi Mitigasi Bencana Gempa Bumi Akibat Sesar Aktif.

yang baik, ilmuwan dapat memberikan informasi dan analisis yang akurat mengenai potensi risiko gempa bumi, sedangkan pengambil keputusan dapat merancang kebijakan dan tindakan yang tepat untuk mengurangi dampak bencana. Sinergi ini tidak hanya memperkuat kesiapsiagaan masyarakat, tetapi juga meningkatkan pemahaman tentang langkah-langkah yang perlu diambil untuk melindungi infrastruktur dan keselamatan warga, sehingga masyarakat menjadi lebih tangguh dalam menghadapi ancaman gempa bumi di masa depan.

Pendidikan dan Kesiapsiagaan

Pendidikan menjadi kunci dalam menciptakan masyarakat yang sadar geologi. Program pendidikan formal dan informal tentang geologi dan kebencanaan dapat meningkatkan kesiapsiagaan

masyarakat. Dengan informasi yang memadai, keluarga dapat menerapkan langkah-langkah keselamatan dan kesiapsiagaan yang efektif.

Kerjasama dengan Ahli Geologi

Masyarakat juga diharapkan untuk menjalin kerjasama dengan ahli geologi dan pemerintah dalam perancangan pengembangan daerah. Pendapat dan masukan dari ahli geologi dapat membantu dalam membuat kebijakan yang berkaitan dengan pembangunan dan lingkungan yang lebih aman. Masyarakat harus hidup harmonis dengan kondisi geologi setempat dengan mengedepankan pengetahuan, kesadaran, dan sikap proaktif dalam menjaga keselamatan dan keberlanjutan lingkungan. Dengan cara ini, masyarakat tidak hanya dapat meminimalisir risiko bencana tetapi juga memanfaatkan kekayaan alam yang ada dengan bijaksana. Kehidupan yang seimbang dan harmonis dengan kondisi geologi setempat akan menciptakan masyarakat yang lebih tangguh dalam menghadapi bencana di masa depan.

Waspada Terhadap Ancaman Gempa Bumi

Gempa bumi dan bahaya ikutannya (*collateral hazard*), seperti gerakan tanah dan likuefaksi adalah bencana alam yang tidak dapat dihindari. Ini merupakan bagian dari ketentuan alam yang sudah ada sejak lama. Peta-peta yang tersedia menunjukkan jalur-jalur gempa yang telah diketahui secara umum. Namun, sayangnya, banyak daerah di Indonesia, terutama kota-kota dengan kepadatan penduduk tinggi dan bangunan vital, belum memiliki peta yang menggambarkan persebaran intensitas guncangan gempa. Hal ini mengakibatkan kesulitan dalam menentukan wilayah mana yang paling rentan terhadap gempa bumi. Penting bagi kita untuk lebih waspada dan siap menghadapi potensi bencana ini.

Peta intensitas gempa bisa menjadi acuan penting bagi berbagai lembaga terkait. Peta ini dapat membantu dalam merencanakan tata ruang wilayah serta mempersiapkan langkah-langkah kesiagaan saat gempa terjadi. Dengan pemahaman mengenai zona sesar dan kontur intensitas kegempaan, lembaga-lembaga yang berkompeten dapat memberikan layanan konsultasi, seperti saran tentang teknologi bangunan yang tahan gempa di daerah dengan intensitas kegempaan yang tinggi.

Gempa bumi yang terjadi di sesar aktif merupakan fenomena alam yang tak dapat dihindari. Oleh karena itu, persiapan masyarakat, pemerintah, dan lembaga terkait sangat penting untuk menghadapi situasi ini, demi nilai kemanusiaan yang tinggi, baik untuk generasi sekarang maupun yang akan datang.

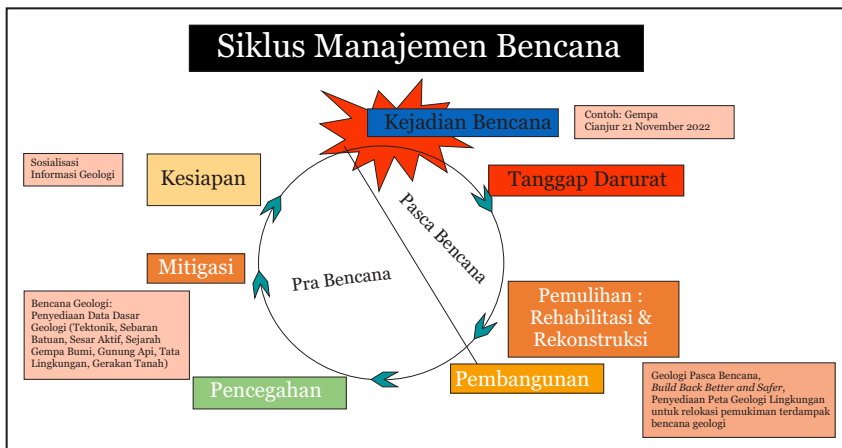
Bentuk muka bumi di pantai selatan Jawa Barat tidak muncul begitu saja dengan lekukan-lekukan yang unik tanpa alasan yang jelas. Fenomena ini dapat dijelaskan dengan baik, seperti mengapa Teluk Palabuhanratu sangat menjorok ke darat, atau mengapa terdapat teluk-teluk kecil lainnya seperti di Pantai Cilauteureun - Garut, Sindangbarang - Cianjur, Cipatujah - Tasikmalaya, dan Pangandaran - Ciamis, serta lainnya. Secara ilmiah, lempeng samudra raksasa yang berada di selatan bergerak ke utara dengan kecepatan sekitar 6-7 cm per tahun. Salah satu akibat dari pergerakan ini adalah terbentuknya sesar yang membentang dari Palabuhanratu hingga ke utara Padalarang, dan dari Cilacap hingga Kuningan, lalu melanjutkan ke arah barat laut (Gambar 5.5 dan 5.9).

Secara umum, zona gempa terlihat dalam bentuk garis, namun belum ada informasi yang jelas mengenai seberapa lebar zona tersebut di lapangan. Sehingga, identifikasi wilayah yang terdampak masih belum tersedia, dan pengumpulan data terkait nama-nama desa, jumlah penduduk, bangunan, struktur masyarakat, status sosial, dan informasi lainnya belum dapat dilaksanakan dengan rinci dan akurat.

Pemahaman Siklus Manajemen Bencana

Selama ini, penanganan bencana cenderung bersifat reaktif, di mana tindakan baru dilakukan setelah bencana terjadi. Paradigma ini perlu diubah, karena penanganan bencana seharusnya dilakukan pada tiga tahapan: sebelum, selama, dan setelah terjadinya bencana. Pada setiap tahapan, persiapan dan penanganan bencana memerlukan pendekatan yang berbeda. Meskipun demikian, tahapan-tahapan tersebut tidak dapat dipisahkan dan harus dipandang sebagai satu kesatuan yang dikenal sebagai siklus manajemen bencana.

Gambar 8.2 menggambarkan siklus manajemen bencana yang terbagi menjadi tiga fase penting: pra-bencana, saat bencana, dan pasca-bencana. Pada fase pra-bencana, fokusnya adalah pada upaya pencegahan dan kesiapan, termasuk edukasi masyarakat, perencanaan darurat, dan penguatan infrastruktur. Selanjutnya, selama fase saat bencana, respons cepat dan koordinasi antara berbagai lembaga sangat krusial untuk meminimalkan dampak dan memberikan bantuan kepada korban. Setelah bencana, fase pasca-bencana menekankan pada pemulihan dan rehabilitasi,



Gambar 8.2 Siklus Manajemen Pra, Saat, dan Pasca Bencana.

di mana penting untuk mengevaluasi dampak dan menerapkan langkah-langkah perbaikan untuk membangun kembali masyarakat yang lebih kuat dan siap menghadapi kemungkinan bencana di masa depan. Siklus ini menekankan pentingnya keterpaduan dalam setiap tahap untuk menciptakan ketahanan yang berkelanjutan.

Sebelum Terjadinya Bencana

Pencegahan bencana adalah serangkaian upaya yang dilakukan sebelum bencana terjadi. Upaya ini mencakup beberapa kegiatan yang penting untuk diimplementasikan.

Pertama, pemetaan Zona Kerentanan Gempa bumi. Kerentanan gempa bumi yang tersaji dalam Peta Zona Kerentanan Gempa bumi menggambarkan tingkat kerawanan suatu kawasan terhadap ancaman bencana. Tingkat kerawanan bencana geologi dapat dikelompokkan berdasarkan posisi atau kedudukannya terhadap sumber bahaya, jenis ancaman, serta situasi geografis yang ada.

Kedua, pemantauan merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mengawasi sumber bahaya yang telah teridentifikasi. Perkembangan aktivitas suatu bahaya dapat terdeteksi sehingga memungkinkan untuk memberikan peringatan dini kepada masyarakat. Selain pengawasan terhadap sumber bahaya, pemantauan juga perlu dilakukan terhadap perkembangan elemen risiko di kawasan rawan bahaya. Pertumbuhan populasi manusia, pemukiman yang tidak mempertimbangkan faktor kerentanan, serta aktivitas ekonomi yang tidak memperhatikan potensi bahaya akan meningkatkan nilai risiko, yang berpotensi memperbesar skala bencana yang mungkin terjadi.

Ketiga, sosialisasi sebagai bentuk pendidikan bertujuan untuk menciptakan pemahaman dan kesadaran masyarakat mengenai potensi ancaman bahaya geologi, risiko yang ditimbulkan, serta upaya penyelamatan diri dalam menghadapi kemungkinan terjadinya bencana geologi. Kegiatan sosialisasi ini diharapkan

dapat membuat masyarakat memahami pentingnya pencegahan dan persiapan menghadapi bencana, sehingga dapat mengurangi jumlah korban jiwa dan kerugian material akibat terjadinya bahaya geologi.

Peningkatan kesadaran masyarakat terhadap ancaman bahaya geologi serta pengetahuan mengenai kebencanaan dapat dilakukan melalui sarana pembelajaran di institusi pendidikan, mulai dari tingkat dasar hingga pendidikan tinggi. Pembelajaran ini sangat penting agar masyarakat dapat dengan cepat mengetahui dan memahami tentang bahaya geologi, cara menghindari ancaman tersebut, serta bagaimana hidup di lingkungan yang berpotensi terancam bahaya, untuk meningkatkan kewaspadaan mereka.

Peran aktif dan partisipasi masyarakat dalam menghadapi ancaman bahaya dapat terwujud jika mereka telah dibekali dengan informasi dan pendidikan yang memadai. Proses sosialisasi dan penyampaian informasi mengenai kebencanaan harus dilakukan secara berkesinambungan dan efektif. Informasi yang disampaikan oleh instansi berwenang terkait status serta tingkat ancaman suatu bahaya wajib dikomunikasikan kepada Pemerintah sebagai koordinator penanggulangan bencana, serta instansi lain yang terkait. Setiap tindakan yang diambil oleh Pemerintah berkenaan dengan kebijakan terkait kebencanaan perlu disampaikan kepada masyarakat.

Keempat, peringatan dini adalah upaya pemberitahuan yang cepat untuk meningkatkan kewaspadaan masyarakat dalam menghadapi ancaman jenis bahaya geologi. Sistem peringatan dapat dilaksanakan melalui penyebaran informasi mengenai daerah rawan bencana geologi, tanda-tanda bahaya, dan langkah-langkah yang diperlukan untuk keselamatan diri.

Kelima, pengaturan tata ruang dan wilayah merupakan upaya untuk memperkecil dampak dari suatu bahaya melalui penataan ruang suatu daerah yang berpedoman pada Peta Zona Kerentanan

Gempa bumi. Pengembangan wilayah dan pemanfaatan lahan di dalam Zona Kerentanan Gempa bumi harus mempertimbangkan segala aspek ancaman bahaya yang mungkin timbul, serta pembangunan sarana di zona tersebut harus disesuaikan dengan kondisi geografi setempat dan jenis-jenis ancaman bahaya yang diatur dalam peraturan perundang-undangan.

Keenam, penyusunan dan penerapan standar konstruksi bangunan tahan bencana geologi merupakan langkah yang penting. Standar konstruksi bangunan adalah bentuk adaptasi fisik terhadap potensi bahaya. Meskipun demikian, tidak semua potensi bahaya geologi dapat diadaptasi secara fisik. Sebagai contoh, endapan aliran piroklastika dari letusan gunung api memiliki derajat bahaya yang sangat tinggi, sehingga semua elemen yang berada di kawasan rawan bencana (KRB) akan mengalami kehancuran total apabila terkena material tersebut. Di sisi lain, gempa bumi dapat diadaptasi secara fisik melalui penerapan standar teknis konstruksi bangunan, sehingga dampak bahaya dapat diminimalkan, meskipun efektivitas adaptasi fisik tersebut sangat tergantung pada kekuatan getarannya.

Ketujuh, persiapan menghadapi bencana merupakan langkah-langkah yang dilakukan untuk menghadapi bencana, antara lain pengaturan sistem kelembagaan penanggulangan bencana geologi, tanggap darurat, sistem pelaporan, evakuasi, dan rehabilitasi korban yang dilaksanakan sebelum dan saat menjelang terjadinya bencana geologi. Mengingat tindakan persiapan bencana melibatkan berbagai instansi, diperlukan dukungan dari peraturan perundang-undangan yang mengatur tugas, kewenangan, dan koordinasi antar instansi.

Kedelapan, pembentukan tatanan kelembagaan penanggulangan bencana merujuk pada sistem organisasi yang mengatur tugas dan kewenangan dalam persiapan menghadapi bencana. Sistem ini perlu dirancang dengan melibatkan berbagai lembaga pemerintah dan non-pemerintah yang berkaitan dengan

masalah penanggulangan bencana, mulai dari tingkat pusat hingga daerah.

Kesembilan, perlu disusun sistem pelaporan yang mencakup mekanisme dan alur pelaporan mengenai tingkat kegiatan atau ancaman bahaya geologi, serta kondisi suatu sumber bahaya geologi. Tugas ini menjadi kewenangan instansi yang memiliki tanggung jawab dan fungsi dalam penyelidikan atau penelitian terkait kebencanaan geologi. Proses pelaporan harus dilaksanakan secara cepat, tepat, kontinu, berkala, dan sistematis, serta harus mencakup informasi data dan hasil analisis. Pelaporan dapat dilakukan dengan memanfaatkan berbagai media, dalam keadaan darurat, pelaporan juga dapat disampaikan secara lisan.

Terakhir, pencegahan merupakan upaya rekayasa fisik yang bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan ancaman bahaya. Perlu diingat bahwa tidak semua jenis bahaya geologi dapat diatasi melalui pembangunan struktur pengendali tersebut. Pembangunan struktur pengendali harus disesuaikan dengan jenis dan karakteristik ancaman bahaya yang relevan. Selain merancang struktur pengendali baru, evaluasi terhadap struktur pengendali yang telah ada juga perlu dilakukan, dengan mempertimbangkan aspek teknis yang mengacu pada perkembangan karakteristik bahaya yang mungkin muncul. Apabila dirasa perlu, pembangunan struktur pengendali baru harus berlandaskan pertimbangan teknis terhadap potensi bahaya yang akan datang.

Selama Terjadinya Bencana

Pada saat terjadinya bencana, terdapat tiga tindakan yang harus dilaksanakan. Pertama adalah tindakan tanggap darurat, yang merupakan langkah langsung yang diambil selama masa krisis serta setelah terjadinya bencana. Kegiatan tanggap darurat ini bersifat sosial, dilaksanakan secara kolektif dan terkoordinasi, melibatkan pemerintah pusat dan daerah, masyarakat, serta lembaga terkait lainnya sebagai upaya untuk menyelamatkan masyarakat dari dampak bencana. Dalam pelaksanaan tanggap

darurat, perlu mempertimbangkan potensi terjadinya bahaya geologi susulan, sehingga informasi mengenai perkembangan bahaya geologi harus disampaikan kepada masyarakat.

Kedua adalah evakuasi, yang merupakan bagian integral dari tanggap darurat, bertujuan untuk menyelamatkan dan memberikan pertolongan kepada korban. Untuk itu, diperlukan tindakan yang cepat dan tepat, mengikuti prosedur tetap yang telah ditetapkan. Prosedur ini mencakup pertimbangan mengenai lokasi evakuasi yang aman, peralatan yang diperlukan, tenaga serta bahan obat-obatan, tenaga medis, serta logistik dan penerangan yang memadai.

Ketiga adalah pengembangan mekanisme atau sistem pelaporan kejadian bencana, yang harus dilaksanakan secara cepat dan tepat, dengan merujuk pada prosedur tetap sistem pelaporan. Proses ini menentukan kepada siapa laporan disampaikan dan dari siapa informasi tersebut diterima, serta peralatan apa yang digunakan dalam proses pelaporan. Isi laporan harus didasarkan pada prioritas kebutuhan penanggulangan dalam rangka menyelamatkan dan memberikan pertolongan kepada korban, serta untuk mengetahui perkembangan bencana geologi yang terjadi.

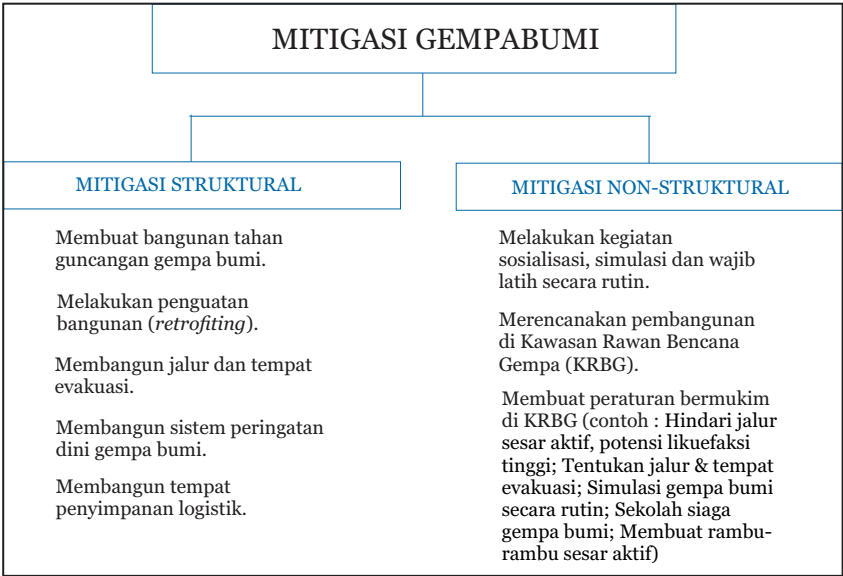
Setelah Terjadinya Bencana

Setelah terjadinya bencana, terdapat dua hal utama yang perlu dilakukan. Pertama adalah rehabilitasi korban, yang merupakan upaya untuk memulihkan kondisi korban ke keadaan semula. Proses ini mencakup pemulihan kesehatan, kondisi ekonomi, serta fasilitas yang mendukung kesejahteraan korban. Relokasi korban bencana merupakan salah satu bentuk rehabilitasi yang diambil apabila kawasan bencana masih terancam oleh bahaya geologi. Di sisi lain, masyarakat yang menjadi korban bencana seringkali menginginkan relokasi yang tidak jauh dari lokasi asal tempat tinggal mereka karena faktor budaya, sosial, dan ekonomi, sehingga penentuan lokasi relokasi harus mempertimbangkan kondisi bahaya geologi yang ada.

Kedua adalah rekonstruksi, yang merupakan upaya untuk membangun kembali daerah yang terkena bencana. Dalam proses rekonstruksi, diperlukan teknologi dan sarana yang memadai. Selama kegiatan mitigasi bencana belum dilaksanakan secara optimal, upaya penanggulangan bencana akan tetap bersifat wacana. Ancaman terhadap korban jiwa dan kerugian harta benda akibat bencana akan terus berlanjut.

Mitigasi Struktural dan Non-Struktural

Diagram mitigasi gempa bumi secara struktural dan non-struktural menawarkan pemahaman yang komprehensif mengenai strategi yang dapat diterapkan untuk mengurangi risiko dan dampak dari bencana gempa. Gambar 8.3 menunjukkan dua pendekatan dalam mitigasi gempa bumi, yaitu mitigasi struktural dan non-struktural. Mitigasi struktural mencakup upaya yang dilakukan untuk meningkatkan ketahanan bangunan



Gambar 8.3 Mitigasi Gempa Bumi Struktural dan Non-Struktural.

terhadap guncangan gempa, sehingga meminimalkan kerusakan fisik. Contohnya termasuk penggunaan material yang tahan gempa, desain arsitektur yang memperhitungkan kekuatan struktural, dan pemasangan *bracing* atau penyangga tambahan pada gedung-gedung tinggi. Di sisi lain, mitigasi non-struktural melibatkan tindakan yang tidak berkaitan langsung dengan penguatan struktur fisik, tetapi penting untuk keselamatan dan keberlanjutan operasional. Contoh dari mitigasi non-struktural ini adalah pengembangan sistem peringatan dini, pelatihan evakuasi bagi masyarakat, serta penerapan kebijakan zonasi yang menghindari pembangunan di wilayah rawan gempa. Dengan penerapan kedua jenis mitigasi ini secara bersamaan, masyarakat dapat lebih siap menghadapi risiko gempa bumi dan mengurangi dampak yang mungkin ditimbulkan.

Memahami Gempa Bumi di Sesar Cimandiri: Bencana Berulang yang Wajib Diperhatikan

Gempa bumi adalah salah satu bencana alam yang sering terjadi dan berulang di berbagai belahan dunia, termasuk Indonesia. Sejarah mencatat bahwa gempa bumi telah terjadi sejak masa lampau dan menjadi bagian dari dinamika bumi yang tak terelakkan. Meskipun manusia telah berusaha memahami dan mengantisipasi, gempa masih dapat terjadi kapan saja di masa sekarang maupun masa yang akan datang. Itulah mengapa kita tidak boleh meremehkan bahaya gempa dan harus selalu waspada. Indonesia, sebagai negara kepulauan yang luas, merupakan salah satu kawasan dengan kerawanan gempa tinggi, yang dapat menyebabkan korban jiwa dan luka-luka jika tidak disikapi dengan serius.

Masa lalu adalah pelajaran berharga bagi kita. Setiap peristiwa bencana alam yang pernah terjadi mengajarkan kita pentingnya bersiap diri dan meningkatkan pengetahuan tentang langkah-langkah perlindungan serta pencegahan agar bencana tidak

menimbulkan kerusakan yang lebih fatal. Kalau kita menilik sejarah, banyak kejadian gempa besar yang menyebabkan kehancuran dan korban jiwa di tanah air. Oleh karena itu, setiap pengalaman tersebut harus menjadi motivasi bagi kita untuk lebih waspada dan disiplin dalam menerapkan langkah mitigasi bencana.

Penerapan Teori Difusi Inovasi Rogers dalam Mitigasi Bencana Sesar Cimandiri

Mitigasi bencana merupakan langkah penting dalam mengurangi risiko kerusakan dan korban jiwa akibat aktivitas sesar aktif, seperti Sesar Cimandiri yang melewati daerah Kabupaten Sukabumi dan sekitarnya. Penerapan strategi inovasi dalam edukasi, teknologi, dan kebijakan harus dilakukan secara sistematis dan terstruktur agar masyarakat dapat mengadopsi langkah-langkah mitigasi secara efektif. Pendekatan ini dapat dipahami dan diimplementasikan melalui kerangka Teori Difusi Inovasi Rogers (2003).

Dalam konteks ini, inovasi yang dimaksud meliputi penggunaan teknologi pembangunan bangunan tahan gempa, sistem peringatan dini yang akurat dan cepat, serta program edukasi kesiapsiagaan bencana. Selain itu, penerapan kebijakan zonasi dan pembangunan infrastruktur yang memperhatikan keberadaan sesar aktif menjadi inovasi yang krusial.

Untuk mendorong difusi inovasi, perlu dilakukan kampanye informasi yang efektif, melibatkan media massa, kelompok masyarakat, serta tokoh dan pendekatan budaya lokal. Melalui komunikasi yang tepat, masyarakat akan lebih memahami manfaat inovasi tersebut dan termotivasi untuk mengadopsinya.

Pada Gambar 8.4 menunjukkan diagram alur yang menggambarkan tahapan pengambilan keputusan dalam proses difusi inovasi untuk mitigasi bencana, termasuk bencana yang

5 TAHAP KEPUTUSAN DIFUSI INOVASI

LATAR BELAKANG
KONDISI SOSIAL MASYARAKAT DALAM
MITIGASI BENCANA

Praktik Sebelumnya
Kebutuhan/problema yang dirasakan
Inovasi
Norma sistem sosial



Gambar 8.4. Diagram alur tahapan pengambilan keputusan difusi inovasi dalam mitigasi bencana termasuk bencana akibat sesar aktif.

disebabkan oleh sesar aktif. Dalam gambar ini, kita bisa melihat langkah-langkah yang diambil oleh individu atau kelompok dalam mengenali, mempertimbangkan, dan akhirnya mengadopsi inovasi yang dapat membantu mengurangi risiko bencana. Ini sangat penting dalam upaya menjaga keselamatan dan mengatasi dampak dari bencana yang mungkin terjadi.

Daerah sepanjang Sesar Cimandiri di Kabupaten Sukabumi, Kota Sukabumi, dan Kabupaten Cianjur (lihat pembahasan Bab 2) menghadapi risiko besar akibat aktivitas sesar aktif dan pergerakan lempeng bumi yang terus berlangsung. Ancaman gempa bumi dan kerusakan yang meluas menjadi kenyataan yang harus dihadapi bersama. Oleh karena itu, penting bagi seluruh masyarakat dan pemangku kepentingan untuk segera mengadopsi

langkah-langkah mitigasi yang efektif dan berkelanjutan. Pendekatan yang terbukti efektif adalah menerapkan konsep **Teori Difusi Inovasi Rogers** yang memandu proses perubahan dari ketidaktahuan hingga komitmen penuh terhadap inovasi mitigasi.

Berikut adalah penjelasan lebih rinci tentang setiap tahapan dalam proses difusi inovasi yang ditunjukkan di Gambar 8.4. Tahapan-tahapan ini, sebagai implementasi teori difusi inovasi, bisa digunakan untuk membantu meningkatkan kesiapsiagaan bencana di daerah ini:

1. Pengetahuan/*Knowledge*

Tujuan: Masyarakat dan pemangku kepentingan mengetahui apa itu inovasi mitigasi bencana yang berkaitan dengan Sesar Cimandiri, termasuk teknologi bangunan tahan gempa, sistem peringatan dini, dan prosedur evakuasi.

Media Komunikasi:

- Membuat aplikasi sistem peringatan dini gempa berbasis alat komunikasi (*Handphone*).
- Kampanye melalui media massa lokal dan nasional (radio, televisi, media sosial).
- Brosur, spanduk, dan poster yang menampilkan informasi katalog inovasi mitigasi.
- Penyuluhan dan seminar oleh tim ahli dan pemerintah daerah.
- Memasukkan dalam kurikulum sekolah sejak usia dini yang dapat dengan mudah dipahami mengenai gempa bumi, sistem peringatan dini dan prosedur evakuasi (Iswadi, dkk, 2025).

Strategi:

Memperkenalkan inovasi melalui penyebaran informasi dasar dan fakta tentang bahaya sesar aktif dan langkah mitigasi yang tersedia dan relevan.

2. Sosialisasi/*Persuasion*

Tujuan: Membangkitkan minat dan rasa percaya masyarakat terhadap manfaat inovasi mitigasi, serta mengatasi ketakutan atau keraguan mereka.

Media Komunikasi:

- Cerita sukses (testimoni) dari wilayah yang telah menerapkan mitigasi dan mengalami keberhasilannya.
- Video edukasi dan demonstrasi langsung di lapangan.
- Diskusi komunitas dan kampanye melalui media sosial yang interaktif.
- Membuat alat bantu informasi yang mudah dimengerti di sekitar daerah sesar aktif yang langsung terlihat oleh masyarakat.
- Perlunya dilakukan simulasi evakuasi jika terjadi gempa bumi

Strategi:

Menggunakan tokoh masyarakat dan pakar sebagai agen persuasi, menekankan manfaat nyata dari inovasi dan mengurangi ketakutan atau kekhawatiran masyarakat.

3. Pengambilan Keputusan/*Decision*

Tujuan: Masyarakat dan pemangku kepentingan memutuskan untuk mulai mengadopsi inovasi mitigasi bencana.

Media Komunikasi:

- *Workshop*, pelatihan, dan simulasi yang memudahkan masyarakat mencoba dan memahami inovasi.
- Pemberian insentif atau penghargaan untuk mendorong berpartisipasi aktif masyarakat dalam langkah mitigasi bencana
- Informasi lengkap tentang proses dan langkah-langkah yang harus diambil.
- Mengunduh atau menginstal aplikasi sistem peringatan dini gempa pada alat komunikasi (*handphone*) masyarakat dan merekomendasikan kepada masyarakat yang belum mengetahuinya.

Strategi:

Menciptakan kesempatan dan lingkungan yang mendukung, serta menyediakan panduan langkah demi langkah agar masyarakat merasa yakin dan termotivasi untuk memulai.

4. Implementasi atau Pelaksanaan/*Implementation*

Tujuan: Masyarakat mengimplementasikan inovasi yang telah diputuskan, seperti membangun rumah tahan gempa, mengikuti sistem peringatan dini, dan menerapkan prosedur evakuasi.

Media Komunikasi:

- Monitoring dan evaluasi secara berkala melalui kunjungan lapangan dan pelaporan masyarakat.
- Media sosial dan aplikasi *mobile* untuk mengingatkan dan mendukung proses pelaksanaan.
- Pemberdayaan masyarakat melalui pelatihan praktis dan pendampingan langsung.

- Melalui instansi terkait melakukan sosialisasi bangunan yang memenuhi standar nasional seperti SNI 1726:2019, yaitu standar atau tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung.

Strategi:

Memberikan pendampingan dan insentif agar masyarakat merasa didukung dan proses adaptasi berjalan lancar.

5. Konfirmasi/*Confirmation*

Tujuan: Masyarakat yakin bahwa inovasi yang diadopsi memberikan manfaat nyata dan berkelanjutan.

Media Komunikasi:

- Studi kasus dan laporan hasil mitigasi yang menunjukkan keberhasilan.
- Forum diskusi dan evaluasi komunitas.
- Identifikasi dan perbaikan berkelanjutan terhadap inovasi dan praktik mitigasi.
- Merekomendasikan aplikasi sistem peringatan dini gempa kepada orang lain, minimal kepada masyarakat lingkungan terdekat.

Strategi:

Menguatkan kepercayaan lewat keberhasilan nyata dan keberlanjutan program, serta memberi kesempatan masyarakat untuk berbagi pengalaman.

Penggunaan Kurva Inovasi Rogers

Mitigasi bencana akibat sesar aktif, seperti gempa bumi dan bahaya ikutan lainnya, sangat memerlukan teori inovasi Rogers

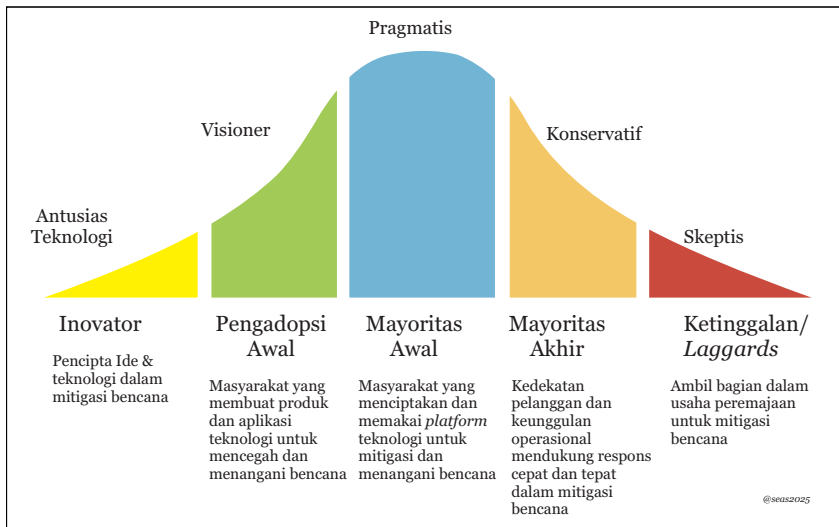
dan kurva difusi inovasi Rogers karena beberapa alasan penting. Pertama, teori ini membantu kita memahami bagaimana inovasi diperkenalkan dan diterima oleh masyarakat. Dalam konteks mitigasi bencana, penerimaan teknologi atau metode baru sangat krusial untuk meningkatkan kesiapsiagaan dan respons terhadap bencana.

Dengan menggunakan kurva inovasi Rogers, kita dapat mengidentifikasi kelompok-kelompok dalam masyarakat berdasarkan kecepatan mereka mengadopsi inovasi, mulai dari pengadopsi awal yang biasanya lebih terbuka terhadap ide baru, hingga pengadopsi yang lebih lambat yang mungkin memerlukan bukti lebih kuat sebelum menerima perubahan. Memahami dinamika ini memungkinkan penyelenggara mitigasi bencana untuk merancang strategi komunikasi yang lebih efektif, yang menjelaskan manfaat dan kegunaan inovasi tersebut kepada masing-masing kelompok.

Selain itu, teori ini juga menunjukkan faktor-faktor yang mempengaruhi keputusan adopsi, seperti keuntungan relatif, kecocokan dengan nilai-nilai yang ada, dan kemudahan penggunaan. Dengan memahami faktor-faktor ini, kita dapat mengembangkan inovasi yang lebih relevan dan mudah diterima oleh masyarakat, sehingga meningkatkan efektivitas program mitigasi bencana.

Secara keseluruhan, menerapkan teori inovasi Rogers dan kurva difusi inovasi sangat penting dalam konteks mitigasi bencana akibat sesar aktif, karena membantu memastikan bahwa inovasi yang dikembangkan dapat diterima dan diimplementasikan secara luas, sehingga mampu mengurangi risiko dan dampak bencana secara signifikan.

Melihat dinamika perilaku masyarakat dalam mitigasi bencana geologi di Zona Sesar Cimandiri, penulis mengelompokkan masyarakat di wilayah zona sesar tersebut kedalam 5 kategori sesuai teori Difusi Inovasi Rogers seperti terlihat pada Gambar



Gambar 8.5. Kurva adopsi inovasi dalam penerapan mitigasi bencana.

8.5. Gambar tersebut menunjukkan “Kurva Difusi Inovasi” dalam konteks penerapan mitigasi bencana. Kurva ini menggambarkan bagaimana berbagai kelompok masyarakat mengadopsi inovasi, mulai dari inovator awal hingga kelompok terakhir yang disebut *laggards*.

Strategi komunikasi khusus berdasarkan jenis *adopter* sangat penting untuk meningkatkan efektivitas inovasi dalam mitigasi bencana. Pertama, untuk inovator (*innovators*) yang merupakan pengambil risiko dan suka mencoba inovasi baru, seperti para peneliti atau pengembang teknologi di lembaga penelitian, strategi yang dapat digunakan meliputi memberikan akses langsung ke teknologi terbaru melalui pelatihan dan *workshop*, melibatkan mereka sebagai agen perubahan dalam tim uji coba, serta menggunakan komunikasi langsung dan personal melalui email dan forum teknologi. Selanjutnya, *early adopters* (adopter awal) yang berfungsi sebagai pemimpin opini, seperti pemuka masyarakat atau organisasi non-pemerintah, perlu diikutsertakan dalam pelaksanaan *pilot project* dan disampaikan

manfaat sosial serta reputasi mereka. Media sosial dan media tradisional harus dimanfaatkan untuk berbagi pengalaman mereka. Untuk mayoritas awal (*early majority*) yang lebih berhati-hati, seperti kelompok masyarakat yang lebih besar atau organisasi komunitas, strategi yang tepat adalah menampilkan bukti nyata keberhasilan melalui studi kasus dan testimoni, menyediakan pelatihan praktis serta simulasi, dan melibatkan tokoh masyarakat, seperti kepala desa, untuk meningkatkan kepercayaan. Bagi mayoritas akhir (*late majority*) yang skeptis, seperti penduduk yang lebih tua atau komunitas yang terisolasi, penting untuk meningkatkan visibilitas keberhasilan dan manfaat inovasi, menggunakan pendekatan berbasis kebijakan dan insentif, dan menekankan kemudahan penerapan inovasi. Terakhir, untuk *laggards* (ketinggalan) yang sangat skeptis, seperti kelompok yang cenderung menolak perubahan karena tradisi, pendekatan bertahap dan konsisten menjadi kunci, di mana edukasi berkelanjutan harus diberikan, ancaman nyata dan konsekuensi dari tidak mengadopsi inovasi harus digambarkan, serta melibatkan tokoh yang dihormati dalam komunitas, seperti tokoh agama, dapat mendorong perubahan. Melalui strategi yang disesuaikan dengan masing-masing kelompok ini, potensi difusi inovasi dalam mitigasi bencana dapat dimaksimalkan untuk mencapai hasil yang optimal.

Dengan menerapkan strategi komunikasi yang sesuai untuk masing-masing adopter, diharapkan proses adopsi difusi inovasi mitigasi bencana di daerah rawan Sesar Cimandiri dapat berjalan lebih cepat dan efektif, menjadikan seluruh masyarakat lebih siap dan tanggap terhadap ancaman bencana alam.

Masyarakat yang tinggal di sekitar zona Sesar Cimandiri perlu meningkatkan kesadaran akan potensi gempa bumi yang dapat mengancam kehidupan akibat pergerakan sesar ini. Sebagaimana diungkap dalam Al Quran Surat Al-Zalzalah ayat 1-2, “Apabila bumi diguncangkan dengan guncangan yang dahsyat,” dan “bumi mengeluarkan isi perutnya,” ayat ini menggambarkan

kekuatan luar biasa dari bencana alam dan dampaknya terhadap manusia. Fenomena gempa bumi, yang bisa terjadi kapan saja akibat aktivitas geologi, hendaknya mendorong kita untuk mempersiapkan diri dengan baik. Saat manusia bertanya, “Apa yang terjadi dengannya (bumi)?” adalah saat kita diingatkan untuk tidak meremehkan kekuatannya dan pentingnya mitigasi bencana. Dengan menyadari ancaman ini dan mengambil langkah-langkah preventif, kita dapat melindungi diri dan komunitas kita dari risiko yang tidak terduga, serta menciptakan lingkungan yang lebih aman dan tangguh. Mari kita bersatu untuk meningkatkan pemahaman dan kesiapsiagaan kita menghadapi potensi bencana yang dapat datang setiap saat.

EPILOG

Menyusuri Sesar Cimandiri adalah sebuah perjalanan menarik yang tak hanya menggugah rasa ingin tahu kita tentang geologi, tetapi juga memperdalam pemahaman kita tentang interaksi manusia dengan alam. Buku ini telah menguraikan secara mendetail berbagai aspek penting dari sesar tersebut, mulai dari lokasi geologinya yang strategis, rahasia yang tersimpan dalam kode geologi, hingga dampaknya terhadap masyarakat sekitar

Terletak di jantung Pulau Jawa, Sesar Cimandiri merupakan fitur geologi yang menakjubkan di Indonesia sehingga memikat para ilmuwan dan ahli geologi selama beberapa dasawarsa. Sesar yang membentang di area yang cukup luas dari Teluk Palabuhanratu hingga wilayah Bandung Barat ini membuktikan sifat dinamis dan selalu berubah dari kerak bumi.

Sesar ini adalah bagian dari jaringan kompleks struktur tektonik yang telah membentuk Pulau Jawa. Pembentukan Sesar Cimandiri dikaitkan dengan interaksi tektonik antara Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia. Tabrakan dan subduksi dari lempeng-lempeng ini juga menyebabkan munculnya banyak sesar dan aktivitas vulkanik di wilayah tersebut.

Sesar Cimandiri ditandai oleh aktivitas tektonik yang signifikan. Gempa bumi di sepanjang garis sesar ini relatif umum, sehingga sangat penting untuk memahami distribusi tekanan tenaga dari dalam bumi dan akumulasi energi regangan di kerak bumi. Aktivitas sesar tersebut menimbulkan risiko potensial bagi daerah yang padat penduduk di sekitarnya, sehingga menjadikannya subjek penting untuk studi kesiapsiagaan dan mitigasi bencana. Dengan demikian, gempa bumi mengintai seperti predator di sekitar Sesar Cimandiri dan mitigasi adalah pelindung setia yang menjaga agar kita tetap aman.

Dalam beberapa tahun terakhir, Sesar Cimandiri telah menjadi titik fokus untuk penyelidikan geologi dan seismologi/kegempaan. Teknologi dan metodologi canggih memungkinkan para ilmuwan untuk mempelajari sesar tersebut dengan lebih rinci. Misalnya penginderaan jauh, radar penembus tanah (LiDAR), dan pemantauan seismik/kegempaan berkontribusi untuk memahami secara lebih baik mengenai karakteristik Sesar Cimandiri. Tentu saja, upaya-upaya penyelidikan itu ditujukan untuk membaca dan menafsirkan perilaku masa depan sesar dan menilai potensi risiko yang ditimbulkannya terhadap masyarakat di sekitarnya.

Seiring dengan berlanjutnya penyelidikan, Sesar Cimandiri tetap menjadi subjek yang sangat menarik dan penting. Buku ini pun ditujukan untuk memperdalam pemahaman kita tentang perilaku sesar dan meningkatkan model prediksi untuk aktivitas kegempaan. Pemahaman yang diperoleh dari mempelajari Sesar Cimandiri juga dapat diterapkan pada sistem sesar lainnya di seluruh Indonesia bahkan di dunia, sehingga memiliki peluang agar dapat berkontribusi pada upaya global dalam kesiapsiagaan dan mitigasi gempa bumi. Karena tanpa mitigasi, dampak gempa bumi bisa menyapu bersih segala prestasi yang kita bangun selama bertahun-tahun.

Dengan demikian, Sesar Cimandiri memang bukan sekadar fitur geologi. Sesar ini adalah jendela ke dalam dinamika proses yang membentuk planet kita, bumi yang kita cintai. Signifikansi Sesar Cimandiri melampaui ranah geologi, karena turut mempengaruhi lingkungan, berdampak kepada masyarakat di sekitar sesar, dan pemahaman kita tentang aktivitas bumi. Oleh karena itu, dengan jalan terus dan terus mempelajari dan belajar dari sesar yang luar biasa ini, kita memperoleh pengetahuan dan pemahaman berharga yang dapat membantu agar lebih siap dan lebih tanggap saat menghadapi tantangan yang ditimbulkan oleh peristiwa gempa bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z., Andreas, H., Kato, T., Ito, T., Meilano, I., Kimata, F., Natawidjaya, D.H. & Harjono, H. (2009) 'Crustal deformation studies in Java (Indonesia) using GPS', *Journal of Earthquake and Tsunami*, 3 (02), h.77-88.
- Anderson, T.H. (1951) 'The Dynamics of Faulting and Fault-tectonics', *American Journal of Science*, 249 (7), h.553-578.
- Allen, C.R., Berger, J., Mueller, I.I., Savage, J.C. & Weertman, J. (1974) 'Earthquake Mechanism and Displacement Fields Close to Fault Zones', *Geod. Solid Earth Ocean. Phys.*, 55, h.836-840.
- Al-Qur'an (2020) *Surat An-Naml ayat 88*. Available at: <https://quran.kemenag.go.id/> (Accessed: 29 November 2025).
- Al-Qur'an (2020) *Surat Al-Zalzalah ayat 1 - 3*. Available at: <https://quran.kemenag.go.id/> (Accessed: 29 November 2025).
- Anugrahadi, A. (1993) 'Tegasan Terbesar Sesar Cimandiri Timur', in *Proceeding 22nd Annual Convention Indonesian Association of Geologist*, h.226-240. ISBN: 979-8126-04-1.
- Aribowo, S., Husson, L., Natawidjaja, D.H., Authemayou, C., Daryono, M.R., Puji, A.R. et al. (2022) 'Active back-arc thrust in North West Java, Indonesia', *Tectonics*, 41, e2021TC007120. doi: 10.1029/2021TC007120.
- Badan Geologi (2014) *Kekayaan Tektonik di Indonesia (Puzzle)*. Georisk Project, Kerjasama Indonesia – Jerman, Bandung.
- Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Sukabumi (2024) *Kota Sukabumi dalam Angka*. BPS Kota Sukabumi, Volume XVII, ISSN: 0215-6016, Sukabumi, Indonesia.
- Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Sukabumi (2024) *Kabupaten Sukabumi dalam Angka*. BPS Kabupaten Sukabumi, Volume XVII, ISSN: 0215-6016, Sukabumi, Indonesia.

- Badan Standar Nasional. (2019). SNI 1726-2019: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Clements, B., Hall, R., Smyth, H.R. & Cottam, M.A. (2009) 'Thrusting of a volcanic arc: a new structural model for Java', *Petroleum Geoscience*, 15 (2), h.159-174.
- Dardji, N., Villemin, T. & Rampnoux, J.P. (1994) 'Paleostresses and strike-slip movement: The Cimandiri fault zone, West Java, Indonesia', *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 9 (1-2), h.3-11.
- Effendi, A.C., Kusnama, H. & Hermanto, B. (2011) *Peta Geologi Lembar Bogor, Jawa*. Pusat Survei Geologi, Bandung, Indonesia.
- Haryanto, I., Hutabarat, J., Sudradjat, A., Ilmi, N.N. & Sunardi, E. (2017) 'Tektonik Sesar Cimandiri, Provinsi Jawa Barat', *Bull. Sci. Contrib*, 15 (3), h.255-274.
- Ha, S., Son, M. & Seong, Y.B. (2022) 'Active fault trace identification using a LiDAR high-resolution DEM: a case study of the central Yangsan Fault, Korea', *Remote Sensing*, 14 (19), 4838h.
- Hall, R. (2002) 'Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: computer-based reconstructions, models and animations', *Journal of Asian Earth Sciences*, 20 (4), h.353-431.
- Hall, R., Clements, B., Smyth, H.R. & Cottam, M.A. (2007) 'A new interpretation of Java's structure', *Indonesian Petroleum Association, 31st Annual Convention Proceedings*.
- Hall, R. (2009) 'Southeast Asia's changing palaeogeography', *Blumea-Biodiversity, Evolution and Biogeography of Plants*, 54 (1-2), h.148-161.

- Hall, R., Gower, D.J., Johnson, K.G., Richardson, J.E., Rosen, B.R., Rüber, L. & Williams, S.T. (2012) 'Sundaland and Wallacea: geology, plate tectonics and palaeogeography', *Biotic evolution and environmental change in Southeast Asia*, 82, 32h.
- Huzita, K. (1980) 'Role of the Median Tectonic Line in the Quaternary tectonics of the Japanese Islands', in *Median Tectonic Line of Southwest Japan*, h.129-153.
- Huzita, K., Imaizumi, T., Kaizuka, S., Matsuda, T., Nakada, T., Okada, A., Ota, Y., Utsu, T., Yonekura, N. & Yoshii, K. (1992) *Maps of active faults in Japan*. Tokyo: University of Tokyo Press, 73h.
- Indragiri, N.M., Ervan, M., Sampeliling, H. & Nurmaliah, Sumarjadi (2024) *Laporan Akhir Pemetaan Geofisika Patahan Aktif Cimandiri Kabupaten Sukabumi*. Bandung: Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian ESDM. (Laporan Penyelidikan, internal report).
- Irsyam, M., Widiyantoro, S., Natawidjaja, D.H., Meilano, I., Rudyanto, A., Hidayati, S., Triyoso, W., Hanifa, N.R., Djarwadi, D., Faizal, L. & Sunarjito (2017) *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Cileunyi, Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Cetakan Pertama.
- Iswadi, M.K., Laelatunnufus, A., Fitriyaningsi, N., dan Julaikha, S., 2025. Integration of Innovation Diffusion Communication Theory in SPAB (Disaster Safe Education Unit) Training International Community Service Study. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Al-Amin*, 3(1), 53–63. <https://doi.org/10.54723/jpa.v3i1.290>
- Keller, E.A. & Pinter, N. (1996) *Active tectonic earthquake, uplift and landscape*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 338h.

- Kerr, J., Nathan, S., Van Dissen, R., Webb, P., Brunsdon, D. & King, A. (2003) *Planning for development of land on or close to active faults*. Wellington: Ministry for the Environment.
- Kertapati, E.K. & Koesoemadinata, R.M.S. (1983) 'Aftershock Studies of the February 10, 1982, Sukabumi Earthquake, West Java, Indonesia', *Bulletin of IISEE*, 20, h.91-101.
- Kertapati, E.K. (2006) *Aktifitas Gempabumi di Indonesia (Perspektif Regional Pada Karakteristik Gempabumi Merusak)*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. ISBN: 979-010-X, 109h.
- Kertapati, E.K. (2000) 'Mekanisme Gempa Bumi Sukabumi tahun 2000', *Buletin Asosiasi Rekayasa Kegempaan Indonesia*, 1 (1).
- Langridge, R.M., Ries, W.F., Litchfield, N.J., Van Dissen, R.J. & Villamor, P. (2014) *The 1:250,000 Active Faults Database of New Zealand: database description and data dictionary*. GNS Science.
- Lawson, A.C. (1908) 'The California Earthquake of April 18, 1906', in *Report of the State Earthquake Investigation Commission, Parts 1 and 2*. Carnegie Institution of Washington, Publication 87, Washington, DC, 451h.
- Lindmark, A., Stureson, E. & Nilsson-Roos, M. (2009) 'Difficulties of collaboration for innovation: A study in the Öresund region', available at: <http://lup.lub.lu.se/studentpapers/record/1437850> (Accessed: 29 November 2025).
- Marliyani, G.I., Arrowsmith, J.R. & Whipple, K.X. (2016) 'Characterization of slow slip rate faults in humid areas: Cimandiri fault zone, Indonesia', *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 121 (12), h.2287-2308.
- Morgenstern, R., Litchfield, N.J., Langridge, R.M., Heron, D.W., Townsend, D.B., Villamor, P., Barrell, D.J., Ries, W.F., Van Dissen, R.J., Clark, K.J. & Coffey, G.L. (2025) 'New Zealand

- active faults database: the high-resolution dataset v2.0', *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 68 (5), h.955-970.
- Murck, B.W. & Skinner, B.J. (2015) *Visualizing geology*. 3rd edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, h.248-277. ISBN: 978-1-118-12986-9.
- Marshak, S. (2014) *Essentials of geology*. 4th edn. New York: W.W. Norton & Company.
- Matsuda, T. (1977) 'Estimation of future destructive earthquakes from active faults on land in Japan,' *Journal of Physics of the Earth*, 25, h.251-260.
- Metcalf, I. (2011) 'Tectonic framework and Phanerozoic evolution of Sundaland', *Gondwana Research*, 19 (1), h.3-21.
- Natsir, M., Setianegara, R. & Soehaimi, A. (2007) *Laporan Akhir Pemetaan Geofisika Patahan Aktif Cimandiri Kabupaten Sukabumi*. Bandung: Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian ESDM. (Laporan Penyelidikan, internal report).
- Ryan, W.B., Carbotte, S.M., Coplan, J.O., O'Hara, S., Melkonian, A., Arko, R., Weissel, R.A., Ferrini, V., Goodwillie, A., Nitsche, F. & Bonczkowski, J. (2009) 'Global multi-resolution topography synthesis', *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10 (3).
- Rogers, E.M. (2003) *Diffusions of innovations*. 5th edn. New York: Simon & Schuster.
- Scholz, C.H. (1990) *The mechanics of earthquakes and faulting*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Slemmons, D.B. & McKinney, R. (1977) 'Definition of active fault' (No. WES-MP-S-77-8). Vicksburg, MI, USA: Army Engineer Waterways Experiment Station.
- Saputra, S.E.A., Wahyudiono, J., Agustin, F., Wahyudiono, R.M., Novita, D., Rumiati, R. & Muhammad, F. (2023) *Laporan Akhir Survei Pemetaan Patahan Aktif Cimandiri daerah Sukabumi Provinsi Jawa Barat*. Bandung: Pusat Survei

Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (Laporan Penyelidikan, internal report).

Saputra, S.E.A., Mandi, I., Purba, B.F., Rosmika, E., Kurnia, K. & Kawoco, P. (2024) *Laporan Akhir Survei Pemetaan Patahan Aktif Skala 1:100.000 Kota dan Kabupaten Sukabumi Provinsi Jawa Barat*. Bandung: Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian ESDM. (Laporan Penyelidikan, internal report).

Saputra, S.E.A., Mandi, I., Rosmika, E., Purba, B.F., Kurnia, K. & Kawoco, P. (2024) *Peta Patahan Aktif Kabupaten Sukabumi Jawa Barat, Atlas Peta Tematik Patahan Aktif Kabupaten/ Kota di Indonesia*, Volume 1, Bandung: Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 13h.

Supartoyo, I.A., Sadisun, E. & Suparka, A. (2013) 'Cimandiri Fault Activity at Sukabumi Area, West Java, Indonesia (Based on Morphometry Analysis)', *Proceeding of the ISEGA I*, Bandung, Indonesia.

Supartoyo, Surono & Tofani, E. (2014) *Katalog Gempabumi Merusak Indonesia Tahun 1629-2014*. Bandung: Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 133h.

Supartoyo (2014) *Geomorfologi Tektonik Sesar Cimandiri Daerah Sukabumi dan Sekitarnya, Provinsi Jawa Barat*. Disertasi Program Doktor, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Soehaimi, A., Kertapati, E.K. & Setiawan, J.H. (2004) 'Seismotektonik dan Parameter Dasar Teknik Kegempaan Wilayah Jawa Barat', in *Lokakarya Cekungan Bandung Geodinamika, Permasalahan dan Pengembangannya*, Bandung, 21-22 Desember 2004. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

- Soehaimi, A. (2008) 'Seismotektonik dan Potensi Kegempaan Wilayah Jawa', *Indonesian Journal on Geoscience*, 3 (4), h.227–240. doi: 10.17014/ijog.3.4.227-240.
- Stevany, D. & Manessa, M.D.M. (2024) 'The Movement of Cimandiri Fault, Sukabumi, West Java: A Vertical Deformation Analysis Using DInSAR-True Vertical Displacement Method', *Indonesian Journal on Geoscience*, 11 (1), h.35-44.
- Sudjatmiko (2003) *Peta Geologi Lembar Cianjur, Jawa, Skala 1:100.000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sukamto, R. (1975) *Peta Geologi Lembar Jampang dan Balekambang, Jawa, Skala 1:100.000*. Bandung: Pusat Survei Geologi, Indonesia.
- Supendi, P., Nugraha, A.D., Puspito, N.T., Widiyantoro, S. & Daryono, D. (2018) 'Identification of active faults in West Java, Indonesia, based on earthquake hypocenter determination, relocation, and focal mechanism analysis', *Geoscience Letters*, 5 (1), 31h.
- Tarback, E.J., Lutgens, F.K. & Tasa, D. (2005) *Earth: an introduction to physical geology*. Chapter 11. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. ISBN: 9780321814067.
- Wells, D.L. & Coppersmith, K.J. (1994) 'New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement', *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84 (4), h.974-1002.
- Wilson, R.W., Houseman, G.A., McCaffrey, K.J.W., Doré, A.G. & Buiter, S.J.H. (2020) 'Fifty years of the Wilson cycle concept in plate tectonics', *Geological Society, London, Special Publications*, 470. [online] Available at: <https://doi.org/10.1144/SP470-2019-58> (Accessed: 22 November 2025).
- Willis, B. (1923) 'Fault map of California; faults of the Coast Ranges of California', *Deans Notes*, 15, h.258–259.

- Wood, H.O. (1916) 'The earthquake problem in the western United States', *Seismological Society of America Bulletin*, 6, h.181–217.
- Wu, Z. & Hu, M. (2024) 'Definitions, classification schemes for active faults, and their application', *Geosciences*, 14, 68h. <https://doi.org/10.3390/geosciences14030068>.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ingin mengucapkan terima kasih yang tulus atas tersusunnya Buku Ilmiah Populer “**Sesar Cimandiri: Teror Gempa Tersembunyi, Memahami Potensi Sesar Aktif, Membangun Kesiapsiagaan**”. Banyak pihak yang telah membantu, dan kami sangat menghargainya:

1. Bapak **Edy Slameto, S.T., M.T., M.Sc.** - Kepala Pusat Survei Geologi (PSG), Badan Geologi, Kementerian ESDM. Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Edy atas dukungan dan inisiatif Bapak dalam menugaskan tim kami untuk melakukan survei pemetaan Sesar Aktif di Sukabumi. Berkat bimbingan dan kepercayaan Bapak, kami dapat mengeksplorasi dan memahami potensi geologi di daerah ini dengan lebih mendalam. Tanpa arahan yang tepat dari Bapak, penyelidikan dan pembuatan buku ini tidak akan berjalan dengan lancar seperti sekarang.
2. Bapak **Ir. Iman Sinulingga** - Sekretaris Badan Geologi. Kami mengucapkan terima kasih karena telah memberi izin dan semangat kepada kami untuk mengolah hasil penyelidikan di Sesar Cimandiri menjadi sebuah buku. Dukungan Bapak sungguh berarti bagi kami, dan itu mendorong kami untuk lebih serius dalam menyajikan informasi yang bermanfaat.
3. Bapak **Dr. P. Hadi Wijaya, S.T., M.T.** - Kepala Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG). Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Hadi atas bimbingan dan panduan yang telah diberikan. Dukungan Bapak sangat berarti bagi tim kami dalam menjaga fokus dan memastikan bahwa setiap langkah dalam survei ini dilakukan dengan arah yang tepat.
4. Bapak **Joko Parwata, S.T., M.E.**, - Ketua tim kerja layanan terpadu di sekretariat Badan Geologi. Kami sangat berterima kasih atas semua bantuan dan koordinasinya. Keahlian Bapak dalam memposisikan tim dan merencanakan semua

hal dengan baik membuat segalanya jadi lebih mudah dan efektif.

5. Bapak **Akbar Cita, S.T., M.Sc.**, - Ketua tim kerja pemetaan tematik di Pusat Survei Geologi. Terima kasih, Pak Akbar! Berkat arahan dan masukan Bapak, kami bisa menghasilkan peta yang tidak hanya akurat, tetapi juga mudah dipahami. Kontribusi Anda sungguh mengesankan!
6. Tim Pemetaan Geofisika Sesar Aktif Cimandiri - **N.M Indragiri, S.T., M.T., Mochamad Ervan, S.T., M.T., Hesty Sampeliling, S.T., M.T., Nurmaliah, Ssi., dan Sumarjadi**. Kalian luar biasa! Terima kasih banyak atas kerja keras dan semangat kalian di lapangan. Momen-momen seru yang kita lewati bersama saat pengambilan data, ditambah hasil peta anomali *bouguer* dan peta anomali sisa (*residual*) pengukuan gaya berat, pasti akan selalu kami ingat.
7. Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada **Dr. Joko Wahyudiono, S.T., M.T., Fitriani Agustin, S.T., M.Sc., R. Muchamad Wahyudiono, S.T., M.Si., Rum Rumiati, S.T., M.T., Dian Novita, S.T., M.T., dan Fachri Muhammad, S.T.**, tim pemetaan Sesar Aktif Cimandiri 2023. Kami sangat menghargai kerja keras dan dedikasi Bapak dan Ibu dalam pemetaan daerah Segmen Gandasoli dan Segmen Lembursitu di Zona Sesar Cimandiri. Tanpa kontribusi kalian, pencapaian ini tidak akan mungkin terjadi.
8. Bapak **Drs. Kurnia** dan Bapak **Purwo Kawoco** - Ahli geokimia dan laboratorium di Pusat Survei Geologi. Terima kasih, Bapak Kurnia dan Bapak Purwo! Kami sangat menghargai bantuan Bapak dalam pengambilan sampel serta analisis laboratorium. Berkat dukungan dan keahlian Bapak, kami dapat memahami data geokimia dengan lebih

baik. Kontribusi Bapak sangat berarti dalam upaya kami mendapatkan hasil yang akurat dan komprehensif!

9. Pemerintah daerah Kabupaten dan Kota Sukabumi. Terima kasih atas dukungan yang diberikan untuk izin survei ini! Kita bisa berkolaborasi dengan baik demi kepentingan masyarakat dan peningkatan pemahaman tentang bencana di daerah kita.
10. Ibu **Santi Utami Dewi, S.Pd, M.Si**, (*PhD Candidate* di Program Studi Komunikasi Pembangunan IPB) dari Kementerian Sosial Republik Indonesia. Terima kasih banyak, Ibu Santi! Pandangan baru yang Ibu berikan tentang mitigasi bencana melalui teori difusi inovasi Rogers benar-benar memberikan wawasan mendalam bagi kami. Ide-ide inovatif seperti ini sangat penting untuk menyelamatkan banyak nyawa di masa mendatang.
11. Ibu **Santi Sulastri**, “Ibu Kades” Desa Sagaranten. Kami sangat berterima kasih atas sambutan hangat Ibu! Selama survei di Selatan Kabupaten Sukabumi, perhatian dan bantuan yang Ibu berikan benar-benar membuat proses survei kami semakin lancar dan menyenangkan. Keberadaan Ibu yang selalu siap membantu dan memberikan informasi penting mengenai daerah tersebut memberi kami banyak kemudahan dalam melaksanakan tugas. Semangat Ibu dalam menjaga komunitas dan budaya setempat sangat menginspirasi, dan kami berharap kerjasama ini dapat terus berlanjut untuk kebaikan bersama.
12. Bapak **Ridwan Agus Mulyawan, S.IP., M.Si**, Camat Sagaranten. Terima kasih banyak, Pak Ridwan! Sambutan hangat dan dukungan Anda sangat berarti bagi kami selama survei di lapangan. Saran dan arahan yang Anda berikan kepada penduduk lokal membantu sekali dalam proses kami untuk mendapatkan informasi yang akurat. Kehadiran dan keterlibatan Anda membuat setiap langkah

kami terasa lebih mudah, dan pastinya, meningkatkan kepercayaan warga terhadap kegiatan yang kami lakukan. Semoga kolaborasi seperti ini bisa terus terjalin demi kemajuan bersama!

13. Kami mengucapkan terima kasih yang tulus kepada beberapa mahasiswa magang, **Annisa Amaanah** dan **Desy Fitriani Azhari** dari Jurusan Sains Informasi Geografi, Universitas Pendidikan Indonesia (UPI), yang telah membantu dalam penyiapan citra Landsat, DEMNAS, dan peta topografi. Juga, terima kasih kepada **Aprilia Maharani** dari Jurusan Geologi, Universitas Indonesia, atas bantuan dalam digitasi dan gambar ulang beberapa gambar di Bab 5 dan Ba 6. Kontribusi kalian sangat berharga bagi kami dan meningkatkan kualitas buku ini. Kalian semua memang luar biasa!
14. Kang **Iwan "Jampang" dan Yasin Anggara**, *driver* kami. Terima kasih banyak telah menemani dan mengantarkan kami ke tempat-tempat yang jauh. Kalian membuat perjalanan kami lebih aman dan penuh keseruan. Tanpa kalian, kami mungkin akan kesulitan menemukan lokasi-lokasi yang kami butuhkan untuk survei ini.
15. Kang **Budi "Jajo" Budiman** dan Pak **Kades Nyalindung – Asep Supriadi**. Kehadiranmu sangat berarti bagi kami selama survei di daerah Nyalindung, Jampang Kulon. Engkau tidak hanya menemani kami dengan keterampilan dan pengetahuan lokal yang sangat berharga, tetapi juga membuat setiap momen selama susur sungai di Sungai Cimandiri menjadi lebih seru dan menyenangkan. Tanpa bantuan dan dukunganmu, kami mungkin tidak akan menemukan banyak informasi penting. Semoga kita bisa berkolaborasi lagi di kesempatan berikutnya!
16. Kang **Budi "Gondrong"**. Kehadiranmu sangat berharga bagi kami selama survei di daerah Cireunghas dan Gandasoli.

Selain menemani kami selama susur Sungai Cilandir di wilayah Kota Sukabumi, obrolan menarik kita tentang adat budaya Sukabumi dan penerapan kearifan lokal membuat pengalaman ini menjadi lebih kaya dan berkesan. Kami sangat menghargai pengetahuan serta wawasan yang Kang Budi bagikan, yang tidak hanya memperluas pemahaman kami tetapi juga menambah rasa cinta terhadap kearifan dan tradisi lokal. Semoga kita bisa berbagi cerita lagi di kesempatan mendatang!

17. Kang **Saeful Arifin** dari TAGANA Kota Sukabumi, **Adi Waluya** dari Sehati Gerak Bersama, **Gingin Muharam** dari DT Peduli, dan **Atep** dari PMI Markas Kota Sukabumi. Terima kasih kepada kalian semua! Keberadaan kalian selama survei ini sangat membantu kami dalam mendapatkan data dan informasi yang akurat. Kerjasama, dedikasi, dan semangat gotong royong yang kalian tunjukkan menciptakan suasana yang nyaman dan mendukung selama kami menjalani proses ini. Selain itu, *insight* dan pengalaman yang kalian bagi mengenai penanganan bencana serta kesiapsiagaan sungguh berharga. Kami berharap bisa terus berkolaborasi bersama kalian demi menghadapi tantangan di masa depan dan meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya mitigasi bencana!
18. Semua tenaga lokal yang telah membantu kami selama pengambilan data. Terima kasih atas keramahan dan dukungan yang kalian berikan! Tanpa bantuan dan pengetahuan lokal kalian, tugas kami pasti akan jauh lebih sulit.

Semoga semua yang terlibat dalam penyelidikan ini mendapat berkah dan manfaat, serta kita bisa bersama-sama menyebarkan kesadaran akan pentingnya kesiapsiagaan menghadapi bencana ke depan.



Kepala Pusat Survei Geologi dan Tim Pemetaan Sesar Aktif Sukabumi Tahun 2024.



Srikandi Badan Geologi dalam Pemetaan Geofisika Sesar Aktif Cimandiri.



Kepala Desa dan Camat Sagaranten Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat bersama Tim Pemetaan Sesar Aktif Sukabumi Tahun 2024.



BIODATA PENULIS

SUKAHAR EKA ADI SAPUTRA



Lahir di Sukabumi, Jawa Barat, pada tanggal 19 Maret 1980. Penyelidik bumi di Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). Menamatkan pendidikan sarjana dari Jurusan Geologi Universitas Padjadjaran tahun 2004, menyelesaikan Pendidikan jenjang master di James Cook University (JCU) Australia, tahun 2014. Menempuh program doktor dan lulus

di tahun 2022 dari University of Wollongong (UoW), Australia. Sejak bergabung dengan Badan Geologi Kementerian ESDM pada tahun 2006, Sukahar Eka telah aktif berkontribusi dalam penyelidikan dan penulisan mengenai isu-isu kebumihan, termasuk tektonik, struktur geologi, sesar aktif, dan geologi gempa bumi yang terbit di beberapa jurnal internasional. Bersama koleganya di Badan Geologi menulis buku “Bumi Cianjur Bergunjang: Geologi Menyelidiki dan Memitigasi”, buku yang membahas gempa bumi dahsyat di Cianjur 21 November 2022. Kejadian gempa bumi Sumedang 31 Desember 2023 juga menjadi perhatian pria yang akrab di sapa Kang Eka, dengan diterbitkannya buku Gempa Bumi Sumedang – 31 Desember 2023: Geologi Menggali Jejak Fakta di Balik Peristiwa Gempa yang di tulis dan di *launching* awal tahun 2025. Sejak tahun 2022, beliau juga menjabat sebagai redaktur dan wakil dewan redaksi di jurnal Indonesian Journal on Geoscience (IJOG). Untuk menjalin komunikasi lebih lanjut, Sukahar Eka dapat dihubungi melalui email: sukahar.saputra@esdm.go.id dan sukahareka@yahoo.com.

IBRAHIM MANDI



Lahir di Kota Palopo, Sulawesi Selatan, pada 13 November 1983. Saat ini bekerja sebagai Fungsional Penyelidik Bumi Ahli Muda di Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM).

Menamatkan pendidikan sarjana pada tahun 2009 di Jurusan Teknik Geologi, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta (STTNAS)

yang kini dikenal sebagai Institut Teknologi Nasional Yogyakarta (ITNY).

Mengawali karier sebagai Aparatur Sipil Negara (ASN) di Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Kabupaten Pasangkayu, Sulawesi Barat pada tahun 2010. Pada awal tahun 2017, berpindah tugas ke Dinas ESDM Provinsi Sulawesi Barat, dan pada pertengahan tahun yang sama resmi bergabung dengan Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian ESDM, hingga sekarang.

Selama bertugas di Dinas ESDM daerah, berperan dalam pengelolaan data potensi sumber daya alam, perizinan, serta pengawasan di bidang geologi dan pertambangan. Di Badan Geologi, aktif terlibat dalam kegiatan survei dan pemetaan geomorfologi, geologi, dan sesar aktif, serta menjadi kontributor dalam beberapa penerbitan peta geomorfologi, buku, jurnal, dan makalah ilmiah terkait kebumian dan geomorfologi terapan, terutama saat ini yang berkaitan erat dengan sesar aktif.

Email : ibrahim.mandi@esdm.go.id; ibhraheemmandi@gmail.com

BINSAR FERNANDO PURBA



Lahir di Sorong, Papua Barat Daya, pada tanggal 30 Juni 1981. Saat ini menjabat sebagai Penyelidik Bumi Ahli Muda di Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). Penulis menamatkan Pendidikan Sarjana (S1) dari Jurusan Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional, Bandung (1999-2004), menyelesaikan Pendidikan Magister (S2) Ilmu Lingkungan di

Universitas Papua (UNIPA) di Manokwari, Papua Barat (2015-2017). Sebelum bekerja di Badan Geologi, Kementarian ESDM, Penulis bekerja sebagai PNS Pemerintah Kabupaten Sorong, Papua Barat pada Dinas Pertambangan dan Lingkungan Hidup sejak tahun 2011. Kemudian pada tahun 2016 dimutasi ke Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara sebagai Calon Inspektur Tambang penempatan di Manokwari, Papua Barat. Setelah itu dimutasi ke Badan Geologi tahun 2018 sebagai Fungsional Penyelidik Bumi hingga sekarang.

EMILIA ROSMIKA



Lahir di Tanjung Ampalu Kabupaten Sijunjung Sumatera Barat, 21 Januari 1973. Penyelidik Bumi di Pusat Survei Geologi, Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral RI. Menyelesaikan Pendidikan Sarjana (S1) di Jurusan Teknik Geologi STTNAS/ ITNY Yogyakarta pada tahun 1999. Riwayat Pekerjaan : 2006–2016 : Pegawai Negeri Sipil di

Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Kabupaten Dharmasraya, Sumatera Barat. 2017–2018: Analis Perlindungan Lingkungan Pertambangan Mineral dan Batubara pada Direktorat Teknik dan Lingkungan Mineral dan Batubara, Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara, Kementerian ESDM Penempatan Sumatera Barat. 2019–sekarang : Penyelidik Bumi di Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian ESDM.

Terlibat dalam berbagai Kegiatan Penyelidikan Survei di Pusat Survei Geologi dari tahun 2019 – sekarang yang meliputi : Morfotektonik daerah terpilih (Jabodetabek Punjur), Pemetaan Geomorfologi (lembar Magelang dan sekitarnya, Lembar Yogyakarta dan sekitarnya, Lembar Cilacap dan sekitarnya, Lembar Pangandaran dan sekitarnya), Pemetaan Geologi Lembar Sidoarjo, Survei Pemetaan CCS daerah Kolaka, dan Pemetaan Sesar Aktif Kabupaten Sukabumi.

DORA ANNA HUTAJULU



Dora Anna Hutajulu lahir di Pasa-
man Barat, Sumatera Barat, pada
tanggal 31 Oktober 1994. Surveyor
Pemetaan di Kementerian Energi
dan Sumber Daya Mineral (ESDM).
Menamatkan pendidikan sarja-
na dari Jurusan Teknik Geodesi
dan Geomatika, Institut Teknologi
Bandung pada tahun 2017. Saat ini
sedang menempuh studi jenjang
magister pada program Magister

Perencanaan Ekonomi dan Kebijakan Pembangunan (MPKP)
Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Indonesia (FEB UI)
periode 2024–2026.

Untuk menjalin komunikasi lebih lanjut, Dora Anna Hutajulu
dapat dihubungi melalui email: dora.hutajulu@esdm.go.id

SESAR CIMANDIRI

Teror Gempa Tersembunyi,
Memahami Potensi Sesar Aktif,
Membangun Kesiapsiagaan

Buku ini menyajikan analisis lengkap tentang anatomi Sesar Cimandiri, struktur geologi penting di Pulau Jawa, beserta dampaknya terhadap kondisi kegempaan dan kehidupan masyarakat sekitar. Dimulai dari penjelasan tentang asal-usul dan proses tektonik yang membentuk sesar tersebut, buku ini memberikan dasar pengetahuan geologi yang membantu memahami dinamika bumi di wilayah tersebut.

Selain aspek ilmiah, buku ini mengulas risiko kegempaan dan langkah mitigasi untuk melindungi masyarakat dari bahaya sesar aktif. Buku juga menyoroti hubungan sosial dan budaya masyarakat lokal yang menyesuaikan diri dengan aktivitas geologi, menunjukkan keanekaragaman tradisi dan kepercayaan yang berkembang sebagai bagian dari upaya adaptasi dan pengelolaan sumber daya secara berkelanjutan.

Lebih jauh, buku ini menegaskan pentingnya kolaborasi antara masyarakat, pemerintah, dan lembaga terkait dalam merancang strategi mitigasi dan meningkatkan ketahanan komunitas terhadap bencana. Pembaca diajak untuk mengembangkan hubungan harmonis antara manusia dan alam, sekaligus memperlihatkan tanggung jawab bersama dalam melestarikan ekosistem dan budaya di sekitar Sesar Cimandiri.



KEMENTERIAN
ESDM

