

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

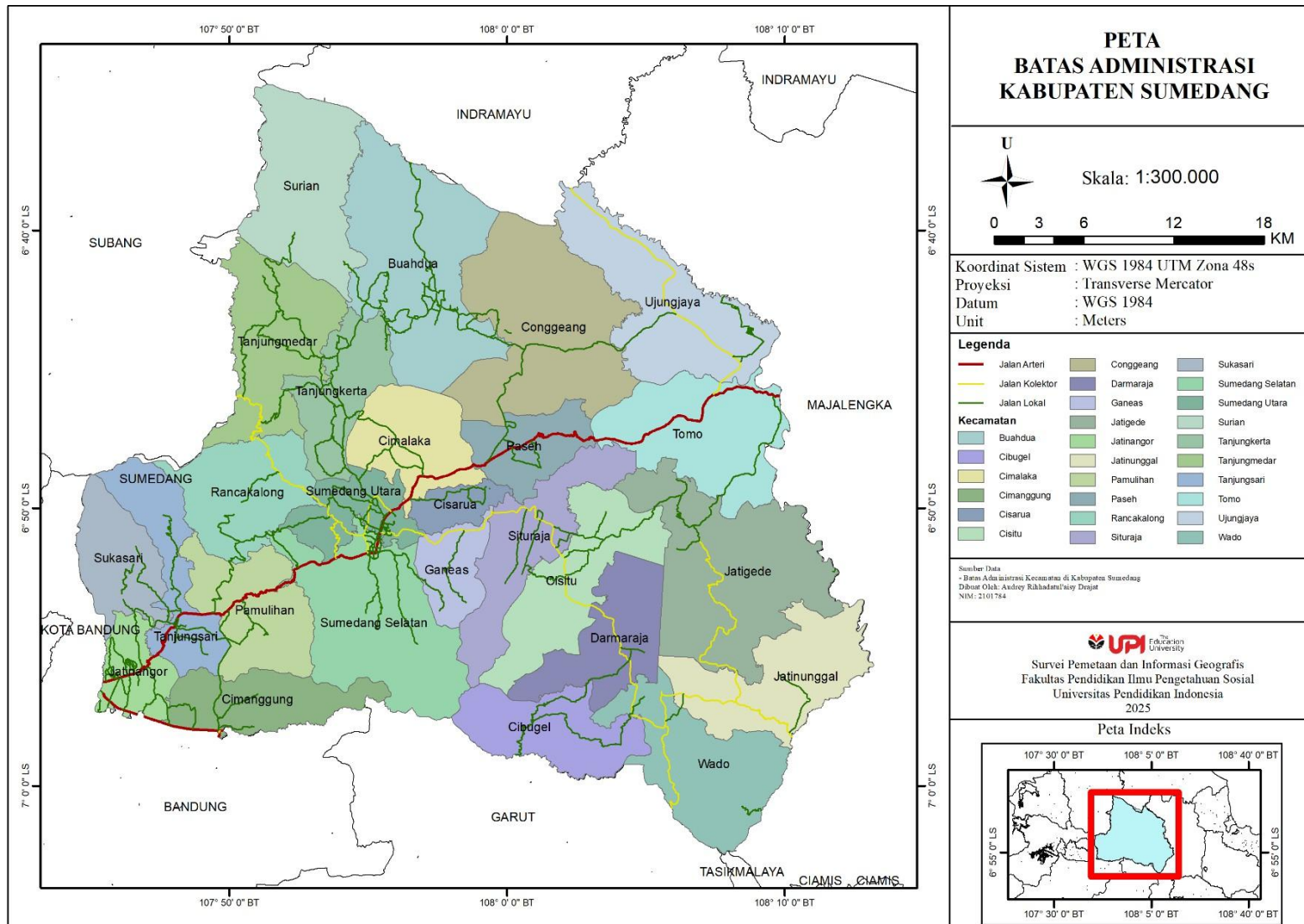
3.1.1 Lokasi Penelitian

Wilayah Kabupaten Sumedang secara geografis terletak diantara 107°21' - 108°21' BT dan 6°44' - 7°83' LS, dengan luas 1.558,72 Ha, sesuai dengan Peraturan Daerah Kabupaten Sumedang No 2 tahun 2012 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Sumedang Tahun 2011 – 2031 yang terdiri dari 26 kecamatan terbagi ke dalam 270 desa dan 7 kelurahan (BPS Kabupaten Sumedang, 2024).

Tabel 3. 1 Luas Kecamatan di Sumedang

Kecamatan	Luas (km ²)
Jatinangor	31,60
Cimanggung	55,55
Tanjungsari	45,86
Sukasari	41,82
Pamulihan	50,70
Rancakalong	55,07
Sumedang Selatan	92,51
Sumedang Utara	30,40
Ganeas	22,90
Situraja	43,23
Cisitu	65,03
Darmaraja	49,38
Cibugel	59,52
Wado	84,27
Jatinunggal	72,12
Jatigede	106,24
Tomo	84,74
Ujungjaya	86,23
Conggeang	106,98
Paseh	31,62
Cimalaka	43,29
Cisarua	17,71
Tanjungkerta	43,72
Tanjungmedar	60,67
Buahdua	107,68
Surian	70,88
Kabupaten Sumedang	1.558,72

(Sumber: *Sumedang Dalam Angka 2025*, BPS, 2025)



Gambar 3. 1 Peta Administrasi Kabupaten Sumedang

Sumber: Batas Administrasi Kecamatan di Sumedang, PUPR Kabupaten Sumedang, 2024

Audrey Rihhadatul'aisy Drajat, 2025

PEMETAAN RISIKO GEMPA BUMI BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG) DENGAN PENDEKATAN MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS (MCDA) DI KABUPATEN SUMEDANG
Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

3.1.2 Waktu Penelitian

Tabel 3. 2 Waktu Penelitian

No	Nama Kegiatan	Februari				Maret				April				Mei				Juni				Juli			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Persiapan Penelitian																									
1.	Menentukan tema penelitian																								
2.	Melakukan studi pustaka																								
3.	Menyusun proposal penelitian tugas akhir																								
Pelaksanaan Penelitian																									
4.	Pengumpulan data sekunder dan data primer																								
5.	Pengolahan data dan pembuatan peta																								
6.	Survei <i>ground checking</i>																								
7.	Analisis data																								
Pasca penelitian																									
8.	Menyusun laporan akhir																								

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

3.2 Alat dan Bahan

Beberapa alat-alat dan bahan digunakan selama proses penyusunan tugas akhir untuk menunjang kegiatan penelitian. Kedua hal ini sangat penting dalam menentukan jalannya penelitian. Berikut merupakan rincian peralatan dan bahan yang digunakan selama proses penelitian.

3.2.1 Alat

Beberapa alat penelitian digunakan selama kegiatan penelitian untuk membantu penulis dalam menyiapkan, mengumpulkan, hingga mengolah data. Alat-alat tersebut diuraikan dalam tabel berikut ini.

Tabel 3. 3 Alat Penelitian

No.	Alat	Fungsi
1.	Laptop	Digunakan untuk membuat, mengolah, serta menghasilkan luaran yang diperlukan dalam penelitian.
2.	Software ArcGIS 10.8	Digunakan untuk mengolah data serta merepresentasikannya dalam bentuk peta.
3.	Microsoft Excel	Sebagai <i>tools</i> untuk mengolah data non-spasial.
4.	Microsoft Word	Untuk membuat laporan akhir penelitian.
5.	Aplikasi <i>Google MyMaps</i>	Digunakan sebagai <i>maps</i> untuk acuan titik rencana <i>ground checking</i> .
6.	Aplikasi <i>Clinometer</i>	Mengambil data kemiringan lereng
7.	Aplikasi <i>GPS Map Camera</i>	Untuk mendokumentasikan validasi lapangan beserta koordinat didalamnya.
8.	Alat Tulis dan Instrumen Wawancara	Sebagai media untuk mencatat dan menyimpan catatan hasil wawancara.

(Sumber: Hasil Penulis, 2025)

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa data primer serta data sekunder. Rincian kebutuhan bahan tersebut tertuang dalam tabel dibawah ini.

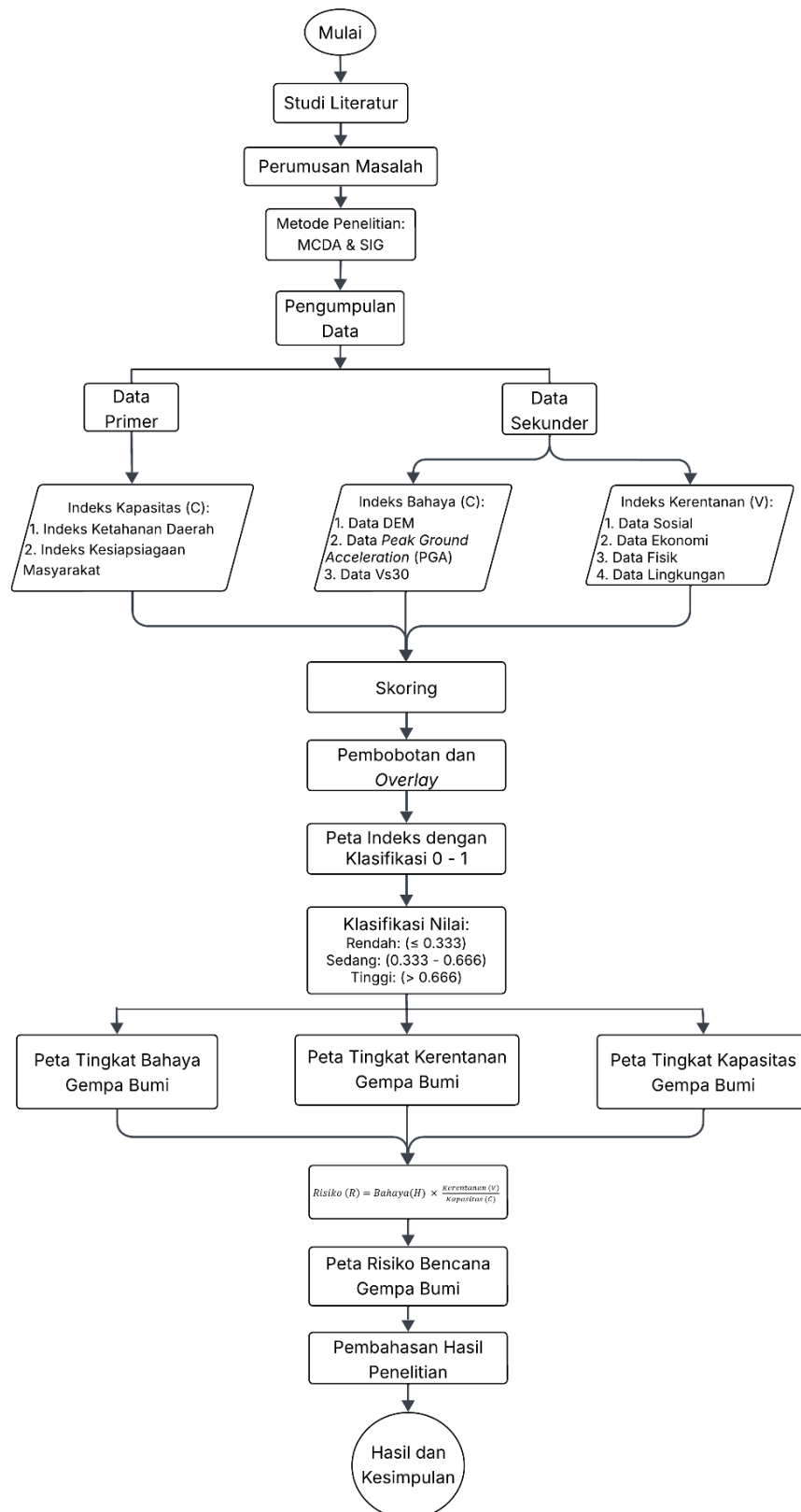
Tabel 3. 4 Bahan Penelitian

No.	Bahan	Fungsi	Sumber
1.	Batas administrasi di Kabupaten Sumedang	Untuk batasan wilayah penelitian serta melihat daerah yang termasuk ke dalam area kerja.	PUPR Sumedang, (2024)
2.	Data DEM	Sebagai bahan dasar mengolah data kemiringan lereng, dll.	Ina-geoportal (BIG), (2018)
3.	Data <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA)	Untuk mengidentifikasi potensi bahaya gempa bumi.	PVMBG, (2024)
4.	Data referensi nilai AVS30	Untuk menentukan klasifikasi batuan berdasarkan kekuatan getaran gempa bumi	PVMBG, (2022)
5.	Data Tutupan Lahan	Digunakan untuk mengolah data kerentanan.	PUPR Sumedang, (2024)
6.	Data sebaran pemukiman di area kajian	Untuk mengetahui distribusi bangunan dan infrastruktur yang rentan terhadap gempa.	PUPR Sumedang, (2024)
7.	Data sebaran fasilitas umum di area kajian	Untuk melihat sebaran fasilitas umum di area kajian.	<i>Sumedang Dalam Angka 2025</i> , BPS, (2025)
8.	Data sebaran fasilitas kritis di area kajian	Untuk mengetahui letak dan posisi fasilitas kritis.	<i>Sumedang Dalam Angka 2025</i> , BPS, (2025)
9.	Data demografi penduduk di area kajian tahun 2024	Digunakan untuk melihat distribusi kepadatan penduduk.	<i>Sumedang Dalam Angka 2025</i> , BPS, (2025)

No.	Bahan	Fungsi	Sumber
10.	Data fungsi kawasan	Digunakan untuk mengevaluasi penggunaan lahan yang ada	PUPR Sumedang, (2024)
11.	Data PDRB Per-sektor	Untuk melihat kondisi ekonomi di area kajian.	<i>Sumedang Dalam Angka 2025</i> , BPS, (2025)
12.	Data satuan harga daerah di area kajian	Menggambarkan harga pasar suatu barang beserta spesifikasinya	<i>Sumedang Dalam Angka 2025</i> , BPS, (2025)
13.	Data ketahanan daerah pemerintah di area kajian	Untuk melihat kesiapsiagaan pemerintah setempat.	BPBD/Hasil wawancara dengan instansi
14.	Data kesiapsiagaan masyarakat di area kajian	Untuk melihat kesiapsiagaan masyarakat di area kajian.	BPBD/Hasil wawancara dengan masyarakat

(Sumber: Hasil Penulis, 2025)

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 2 Diagram Alir

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2025

3.4 Variabel Penelitian

Variable penelitian merupakan beberapa karakteristik yang dimiliki oleh objek penelitian untuk diukur serta mendapat kesimpulan diakhir. Variable yang terdapat didalam penelitian ini yaitu variable untuk tingkat bahaya, tingkat kerentanan, tingkat kapasitas, dan risiko. Sementara indikator disusun berdasarkan panduan dari Peraturan Kepala BNPB No. 2 Tahun 2012, tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana. Berikut merupakan tabel penyusun variable penelitian:

Tabel 3. 5 Variabel Penelitian

No.	Variabel	Parameter		Indikator
1.	Tingkat Bahaya	Kemiringan Lereng		Persentase kemiringan lereng.
		Percepatan Tanah Maksimum (PGA)		Nilai percepatan puncak gempa di batuan dasar, probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun.
		Kecepatan Gelombang Permukaan (Vs30)		Rata-rata kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30m, menggambarkan kondisi tanah lokal
2.	Tingkat Kerentanan	Kerentanan Sosial	Kepadatan Penduduk	Jumlah penduduk di setiap kecamatan.
			Rasio Jenis Kelamin	Perbandingan jumlah penduduk sesuai jenis kelamin
			Rasio Kelompok Umur Rentan	Perbandingan rasio penduduk sesuai kelompok umur rentan
			Rasio Penduduk Miskin	Jumlah penduduk miskin di setiap kecamatan
			Rasio Penduduk	Jumlah penduduk penyandang disabilitas di setiap kecamatan

No.	Variabel	Parameter		Indikator
			Penyanggah Disabilitas	
		Kerentanan Fisik	Rumah	Estimasi nilai pembangunan rumah
			Fasilitas Umum	Estimasi nilai pembangunan fasilitas umum
			Fasilitas Kritis	Estimasi nilai pembangunan fasilitas kritis
		Kerentanan Ekonomi	PDRB	Estimasi nilai PDRB sektor pertanian di setiap lahan per kecamatan
			Lahan Produktif	Persentase luas lahan yang digunakan untuk sektor produktif (pertanian, perikanan, industri, dll.).
		Kerentanan Lingkungan	Hutan Lindung	Luas hutan lindung
			Hutan Alam	Luas hutan alam
			Hutan Produksi	Luas hutan produksi
3	Tingkat Kapasitas	Ketahanan Daerah		Ketahanan daerah dalam menghadapi bencana
		Kesiapsiagaan Masyarakat		Kesiapan masyarakat jika terjadi bencana
4	Tingkat Risiko	Tingkat Bahaya		Hasil dari pengolahan tingkat bahaya dengan metode skoring dan pembobotan MCDA
		Tingkat Kerentanan		Hasil <i>overlay</i> dari semua indikator kerentanan
		Tingkat Kapasitas		Hasil <i>overlay</i> dari kedua indikator kapasitas daerah

(Sumber: BNPB, *Modul Teknis Kajian KRB Gempa Bumi*, 2019)

3.5 Populasi dan Sampel

3.5.1 Populasi

Populasi menurut Margono (2004), merupakan keseluruhan objek penelitian yang digunakan sebagai sumber data dengan karakteristik tertentu pada penelitian. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh wilayah administratif kecamatan yang berada di Kabupaten Sumedang. Terdapat sekitar 26 kecamatan, 270 desa, serta 7 kelurahan, didalam wilayah Kabupaten Sumedang yang memiliki karakteristik geografis, sosial, dan tingkat risiko bencana yang beragam. Pemilihan seluruh kecamatan sebagai populasi bertujuan untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai kondisi wilayah terkait tingkat bahaya, kerentanan, kapasitas, dan risiko bencana gempa bumi.

Alasan penggunaan kecamatan sebagai unit populasi adalah karena kecamatan merupakan unit administratif dalam perencanaan pembangunan dan penanggulangan bencana, serta ketersediaan data sekunder umumnya juga disajikan pada tingkat kecamatan.

3.5.2 Sampel

Sampel merupakan bagian dari populasi yang diambil melalui teknik sampling tertentu, dan harus mampu mewakili karakteristik populasi agar kesimpulan penelitian yang diambil dari sampel dapat berlaku untuk seluruh populasi (Rachman, dkk. 2024). Sampel dari penelitian ini diambil dengan metode *purposive sampling*, artinya pengambilan sampel secara sengaja dipilih dari populasi, berdasarkan karakteristik tertentu yang masih relevan dengan penelitian (Subhaktiyasa, 2024).

Menurut Olofsson dkk. (2014), *purposive sampling* banyak digunakan dalam kajian penginderaan jauh dan SIG karena peneliti dapat secara langsung memilih titik observasi yang dianggap paling mewakili kelas atau kondisi tertentu, sehingga efisiensi dan ketepatan verifikasi data lapangan dapat tercapai meskipun jumlah sampel relatif terbatas. Dengan demikian, pemilihan sampel mewakili karakteristik yang relevan dengan tujuan penelitian.

Salah satu pertimbangan utama dalam pemilihan sampel adalah tingkat bahaya gempa bumi, yang diperoleh dari analisis spasial menggunakan parameter *Peak Ground Acceleration* (PGA) serta data seismik dari PVMBG. Pendekatan ini serupa dengan yang dilakukan oleh Yuliana (2019) dalam kajian risiko gempa bumi di Kota Padang

dengan membagi wilayah menjadi zona tinggi, sedang, dan rendah berdasarkan tingkat PGA, kemudian menjadikan zona itu sebagai dasar unit analisis.

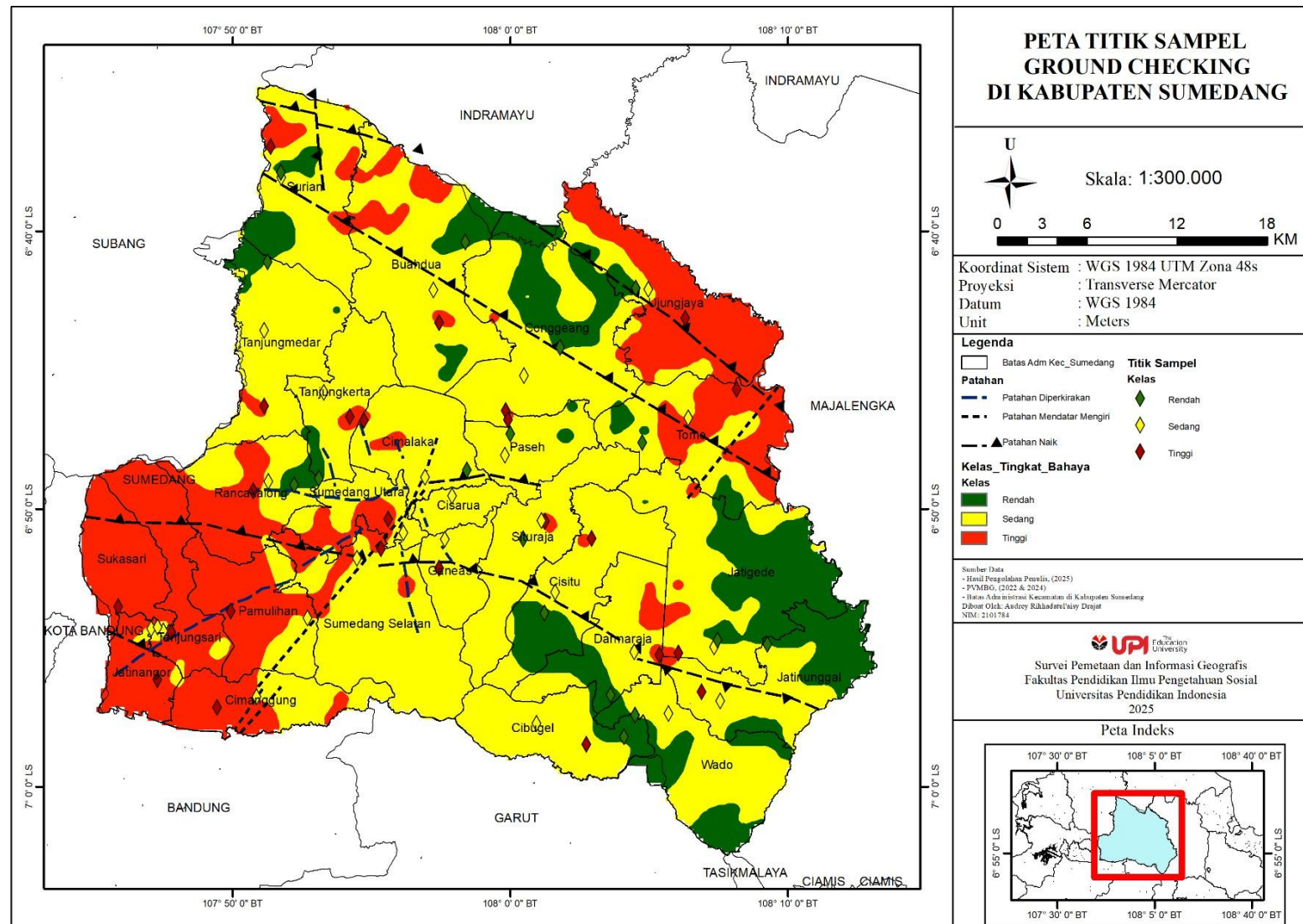
Dalam penelitian ini, setiap kecamatan, diobservasi kelas bahaya yang terdapat didalamnya. Tingkat bahaya terdiri dari tiga kelas, seperti rendah, sedang, dan tinggi. Setelah diketahui tingkatan bahaya yang berada di suatu kecamatan, pengambilan sampel dilakukan dengan keyakinan bahwa setiap sampel mewakili kelas bahaya di kecamatan tersebut. Secara keseluruhan, penelitian ini menggunakan 67 sampel yang tersebar di 26 kecamatan. Pemilihan jumlah tersebut didasarkan pada pertimbangan bahwa sampel telah mewakili seluruh variasi kelas bahaya dan dapat dianalisis lebih lanjut dengan pendekatan MCDA. Distribusi sampel berdasarkan kelas bahaya ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 3. 6 Distribusi Sampel

Kelas Bahaya	Jumlah Sampel	Presentase
Rendah	17	25%
Sedang	26	39%
Tinggi	24	36%
Total	67	100%

(Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2025)

Meskipun demikian, keterbatasan penelitian ini adalah jumlah sampel di tiap kecamatan tidak selalu sama, karena menyesuaikan dengan distribusi kelas bahaya dan ketersediaan data. Namun, hal ini tidak mengurangi validitas penelitian karena teknik *purposive sampling* memastikan bahwa sampel yang dipilih tetap relevan dengan tujuan penelitian. Sesuai yang telah diutarakan oleh Campbell & Wynne (2020) menjelaskan bahwa *purposive sampling* kerap dipakai dalam penelitian berbasis penginderaan jauh dan GIS, khususnya dalam kegiatan *ground truthing* maupun uji akurasi. Kelebihan metode ini terletak pada fleksibilitas peneliti untuk memilih titik sampel yang dianggap paling mewakili variasi kelas atau fenomena yang ada di lapangan. Dengan demikian, kualitas representasi sampel terhadap objek penelitian lebih diutamakan dibandingkan banyaknya jumlah sampel yang digunakan.



Gambar 3. 3 Peta Titik Sampel

Sumber: Hasil Penulis, 2025

Audrey Rihhadatul'aisy Drajat, 2025

PEMETAAN RISIKO GEMPA BUMI BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG) DENGAN PENDEKATAN MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS (MCDA) DI KABUPATEN SUMEDANG

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

3.6 Pelaksanaan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini, ada beberapa tahapan berdasarkan diagram alir penelitian. Berikut merupakan penjelasannya.

3.6.1 Studi Literatur

Tahapan pertama yang dilakukan penulis untuk menyusun penelitian ini yaitu mencari literatur yang berkaitan dengan penelitian. Studi literatur ini bersumber dari jurnal, buku, artikel, serta internet. Hal ini dilakukan karena topik bahasan sudah banyak dilakukan penelitian terdahulu, sehingga studi literatur dilakukan agar mendapatkan *gap* permasalahan dari penelitian sebelumnya. Kemudian berangkat dari *gap* tersebut, penulis mengubah metodenya agar beberapa unsur penting dapat masuk kedalamnya.

3.6.2 Perumusan Masalah

Setelah *gap* penelitian ditemukan, penulis merumuskan masalah yang akan diteliti. Penyusunan rumusan masalah ini akan menjadi inti dari penelitian, yang menentukan alur, proses pengolahan data, hingga *output* yang dihasilkan. Perumusan masalah harus didasari oleh tujuan meneliti hal tersebut. Isinya pun harus berisi hal yang jelas dan spesifik, agar terlihat batasan penelitian yang dilakukan.

3.6.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan metode MCDA yaitu skoring dan pembobotan untuk memetakan risiko gempa bumi. Metode ini bekerja dengan menggabungkan berbagai peta tematik, seperti kemiringan lereng, jenis tanah, kepadatan bangunan, dan penggunaan lahan, untuk menilai tingkat risiko di suatu wilayah. Setiap faktor diberi bobot berdasarkan tingkat pengaruhnya terhadap potensi dampak gempa. Setelah itu, analisis spasial dilakukan menggunakan SIG untuk menghasilkan peta risiko yang lebih akurat. Pendekatan ini membantu dalam memahami daerah yang lebih rentan terhadap gempa sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan mitigasi bencana.

3.6.4 Pengumpulan Data

Pada tahap ini pengumpulan data mulai dilakukan. Data terbagi menjadi dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder. Berikut merupakan data-data yang digunakan dalam penelitian ini:

I. Data Primer

Data primer diperoleh secara langsung dari objek penelitian. Ada beberapa data primer yang diperlukan untuk penelitian ini, yaitu:

- Data hasil wawancara kepada instansi setempat mengenai ketahanan daerah.
- Data hasil wawancara masyarakat terkait kesiapsiagaan jika terjadi bencana.

II. Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan berasal dari instansi pemerintah, hasil penelitian terdahulu, serta sumber lainnya. Penelitian ini membutuhkan beberapa data untuk membuat indeks penyusun, seperti indeks bahaya yang memerlukan data:

- Data batas administrasi di wilayah kajian.
- Data DEM
- Data *Peak Ground Acceleration* (PGA)
- Data referensi nilai AVS30.

Kemudian data penyusun indeks kerentanan diantaranya yaitu:

- Data sebaran fasilitas umum
- Data penggunaan lahan
- Data sebaran fasilitas kritis
- Data demografi penduduk
- dan, Data ekonomi pada tahun 2024

3.6.5 Penentuan Skoring dan Pembobotan

Penentuan skoring dan pembobotan dilakukan sebagai tahapan utama dalam proses analisis spasial menggunakan metode *Multi Criteria Decision Analysis* (MCDA) dalam Sistem Informasi Geografis (SIG). Skoring dilakukan terhadap setiap indikator yang telah ditentukan sebelumnya, baik pada indeks bahaya, kerentanan, maupun kapasitas, dengan memberikan nilai tertentu berdasarkan tingkat pengaruh terhadap risiko bencana gempa bumi. Penilaian ini mengacu pada pedoman Modul Teknis Kajian Risiko Bencana Gempabumi dari BNPB pada tahun 2019, maupun referensi teknis lainnya. Setelah skoring ditentukan, seluruh *layer* indikator kemudian dioverlay menggunakan metode

skoring dan pembobotan untuk menghasilkan peta indeks masing-masing komponen. Proses pembobotan ini dilakukan dengan membobotkan setiap *layer*, sehingga menghasilkan informasi spasial yang merepresentasikan distribusi tingkat bahaya, kerentanan, kapasitas, dan pada akhirnya tingkat risiko di wilayah kajian.

3.6.6 Penulisan Laporan Akhir

Penulisan laporan merupakan tahap terakhir dari alur penelitian ini. Pada tahap ini, penulis melaporkan hasil penelitiannya yang sudah dilakukan dengan mencantumkan hasil temuannya, beserta analisis setiap komponen penyusun risiko. Terakhir, penulis berharap dengan menuliskan beberapa rekomendasi serta saran guna membantu pembaca, baik itu instansi dan masyarakat untuk meningkatkan kesiagaan bencana.

3.7 Teknik Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dilakukan terhadap kedua jenis data, yaitu data sekunder dan data primer. Data sekunder yang dibutuhkan terdiri dari data tabular serta data spasial. Sementara data primer dalam penelitian ini merupakan data hasil observasi, serta wawancara.

3.7.1 Data Sekunder

Data sekunder dalam penelitian ini diperoleh dari berbagai instansi resmi, seperti Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), Badan Pusat Statistik (BPS), Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), dan dinas terkait di lingkungan Pemerintah Kabupaten Sumedang. Berikut ini merupakan data yang diambil dari instansi tersebut:

- 1) Parameter bahaya gempa: data DEM, data *Peak Ground Acceleration* (PGA), data VS30.
- 2) Parameter kerentanan: data tutupan lahan, data kependudukan, data fasilitas umum, data fasilitas kritis, data fungsi kawasan, serta data PDRB.
- 3) Parameter kapasitas: data jumlah fasilitas kesehatan,

3.7.2 Data Primer

- 1) Observasi

Observasi dilakukan sebagai metode untuk mengumpulkan informasi di lapangan terkait kondisi fisik dan lingkungan di titik-titik tertentu. Titik lokasi

observasi ditentukan secara *purposive* berdasarkan kategori kelas bahaya (tinggi, sedang, rendah) pada setiap kecamatan di wilayah kajian. Aspek yang diamati meliputi bentuk topografi, kepadatan bangunan, serta kemiringan lereng. Observasi ini menjadi dasar pengumpulan data primer lapangan untuk melengkapi dan memverifikasi data sekunder yang digunakan dalam analisis.

2) Wawancara

Data kapasitas daerah diperoleh melalui wawancara dengan pihak Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Sumedang. Selain itu, wawancara Bersama masyarakat diperlukan untuk mendapatkan data kesiapsiagaan masyarakat. Informasi yang dikumpulkan mencakup 26 kecamatan di Kabupaten Sumedang dan digunakan untuk menyusun indeks kapasitas wilayah.

3.8 Teknik Pengolahan Data

3.8.1 Bahaya

Proses pembuatan peta gempa bumi, menurut (*Earthquake Research Committee*, 2005) biasanya terdiri dari dua langkah pembuatan:

1. Pemetaan intensitas guncangan (percepatan puncak) pada batuan dasar menggunakan analisis skenario gempa bumi atau pendekatan probabilistik dan hubungan jarak atenuasi (berkurangnya intensitas sinyal).
2. Pemetaan intensitas guncangan di permukaan dengan perkalian faktor amplifikasi tanah dan intensitas guncangan di batuan dasar.

Ditinjau dari proses langkah ke-2, salah satu parameter yang digunakan untuk menentukan factor amplifikasi tanah yaitu nilai distribusi kecepatan gelombang geser rata rata dari permukaan tanah sampai kedalaman 30 m (V_{s30} atau $AVS30$). Data-data yang digunakan dalam menyusun peta bahaya gempa bumi, diantaranya adalah:

Tabel 3. 7 Kebutuhan Data Parameter Bahaya

Kebutuhan Data			
No.	Jenis Data	Bentuk Data	Sumber
1.	Batas Administrasi	GIS Vektor (Polygon)	PUPR Sumedang, (2024)

Kebutuhan Data			
No.	Jenis Data	Bentuk Data	Sumber
2.	DEM 30 meter	Raster	Ina-geoportal (BIG), (2018)
3.	Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar untuk untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun (Peta Sumber Dan Bahaya Indonesia Tahun 2017)	GIS Vektor (Polygon)	PVMBG, (2024)
4.	Referensi nilai AVS30 (<i>Average Shear wave Velocity in the upper 30m</i>)	Tabular	PVMBG, (2022)

(Sumber: BNPB, *Modul Teknis Kajian KRB Gempa Bumi*, 2019)

Semua proses analisis dalam penyusunan peta bahaya ini dilakukan dengan menggunakan metode GIS dibantu perangkat lunak *ArcGIS Desktop – ArcMap*. Sebelum melakukan pengolahan data, sebaiknya melakukan reproyeksi system koordinat menjadi koordinat UTM (*Universal Transverse Mercator*) atau *World Mercator*. Hal ini bertujuan agar proses analisis matematis dilakukan langsung dengan satuan unit meter. Selanjutnya pembuatan peta bahaya gempa mulai dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

1. PGA

Peta percepatan puncak atau disebut sebagai peta intensitas guncangan di batuan dasar, berupa data digital berformat GIS dengan tipe area (*polygon*). Peta tersebut dianalisis dengan melakukan ekstraksi data garis kontur yang mengikuti pola area (*polygon*) zona nilai (PGA).

2. AVS30

Nilai Vs30 yang digunakan berdasarkan hasil perhitungan dari penggabungan dua metode oleh Matsuoka dkk (2006), Wakamatsu dkk (2006), serta Wakamatsu & Matsuoka (2006), yang disebut metode klasifikasi geomorfologi teknik. Pendekatan ini digunakan oleh Badan Geologi dalam memperkirakan nilai Vs30, yang kemudian

dimanfaatkan untuk keperluan studi mikrozonasi dan pemodelan *ground motion*. Nilai Vs30 yang dihasilkan dari metode ini disebut sebagai Vs30 geomorfologi teknik.

3. Faktor Amplifikasi

Proses berikutnya yaitu mengkonversi nilai AVS30 menjadi nilai Faktor Amplifikasi (*Ground Amplification Factor*) menggunakan persamaan yang diusulkan oleh Midorikawa dkk. (1994):

$$\text{Log } (G) = 1,35 - 0,47\text{Log}AVS30 \pm 0,18$$

dimana, G adalah *ground amplification factor* untuk PGA (percepatan puncak).

4. Indeks Bahaya

Selanjutnya adalah membuat data intensitas guncangan di permukaan berdasarkan hasil perkalian antara nilai faktor amplifikasi dengan nilai intensitas guncangan (percepatan puncak) di batuan dasar. Proses ini diakhiri dengan membuat data indeks bahaya gempabumi berdasarkan nilai dari intensitas guncangan di permukaan.

5. Kajian Kelas Bahaya

Kajian bahaya dilakukan untuk memperoleh kesimpulan dari hasil analisis indeks bahaya (H) berupa kelas bahaya. Kelas bahaya diklasifikasi berdasarkan pengelompokan nilai indeks bahaya sebagai berikut: Mengklasifikasikan kelas bahaya gempabumi.

Tabel 3. 8 Klasifikasi Kelas Bahaya

Kelas Bahaya	Klasifikasi
Rendah	$H < 0,333$
Sedang	$0,333 < H < 0,666$
Tinggi	$H > 0,666$

(Sumber: BNPB, *Modul Teknis Kajian KRB Gempa Bumi*, 2019)

3.8.2 Kerentanan

Analisis kerentanan dilakukan secara spasial dengan menggabungkan semua komponen penyusun kerentanan. Selain itu, masing-masing komponen kerentanan diperoleh melalui proses penggabungan parameter penyusun yang berbeda. Metode yang digunakan dalam menggabungkan seluruh komponen kerentanan, baik masing-masing parameter penyusun komponen kerentanan, adalah metode spasial MCDA (*Multi-Criteria Decision Analysis*). MCDA menggabungkan seluruh komponen

kerentanan dan masing-masing parameter yang menyusunnya (Malczewski, 1999). Penggabungan beberapa kriteria dilakukan dengan proses tumpang susun (*overlay*) berdasarkan skor (*score*) dan bobot (*weight*) masing-masing komponen maupun parameter penyusun komponen mengacu pada Perka BNPB 2/2012.

Tabel 3. 9 Kebutuhan Data Parameter Kerentanan

Kebutuhan Data			
No.	Jenis Data	Bentuk Data	Sumber
1.	Batas Administrasi Desa/Kelurahan	GIS Vektor (Polygon)	PUPR Kab. Sumedang, (2024)
2.	Tutupan/Penggunaan Lahan	GIS Vektor (Polygon)	PUPR Kab. Sumedang, (2024)
3.	Sebaran Rumah/Permukiman	GIS Vektor (Polygon/Point)	Ina-geoportal (BIG), (2018)
4.	Sebaran Fasilitas Umum	GIS Vektor (Polygon/Point)	Ina-geoportal (BIG), (2018)
5.	Sebaran Fasilitas Kritis	GIS Vektor (Polygon)	Ina-geoportal (BIG), (2018)
6.	Fungsi Kawasan	GIS Vektor (Polygon)	Data RTRW Kab. Sumedang 2022 – 2042, Dinas PUPR Kab. Sumedang
7.	Jumlah Penduduk (Laki-laki dan Perempuan)	Tabular	BPS (2025). <i>Kabupaten Sumedang dalam Angka 2025</i>
8.	Jumlah Kelompok Umur (<5 dan >65 tahun)	Tabular	BPS (2025). <i>Kabupaten Sumedang dalam Angka 2025</i>
9.	Jumlah Penyandang Disabilitas	Tabular	BPS (2025). <i>Kabupaten</i>

			<i>Sumedang dalam Angka 2025</i>
10	Jumlah Penduduk Miskin	Tabular	BPS (2025). <i>Kabupaten Sumedang dalam Angka 2025</i>
11.	PDRB per sektor	Tabular	BPS (2024). <i>Produk Domestik Regional Bruto Kabupaten Sumedang Menurut Lapangan Usaha 2019–2024</i>
12.	Satuan Harga Daerah (sebagai stimulant penggantian kerusakan)	Tabular	BPS (2025). <i>Kabupaten Sumedang dalam Angka 2025</i>

(Sumber: BNPB, Modul Teknis Kajian KRB Gempa Bumi, 2019)

Dalam analisis risiko bencana, penting untuk memahami kerentanan suatu wilayah. Komponen penyusun kerentanan terdiri dari berbagai parameter yang menunjukkan seberapa baik suatu daerah dapat menghadapi dan pulih dari dampak bencana. terdiri dari:

1. Kerentanan Sosial

Kerentanan sosial terdiri dari parameter kepadatan penduduk dan kelompok rentan. Kelompok rentan terdiri dari rasio jenis kelamin, rasio kelompok umur rentan, rasio penduduk miskin, dan rasio penduduk cacat. Masing-masing parameter dianalisis dengan menggunakan metode MCDA sesuai Perka BNPB No. 2 Tahun 2012 untuk memperoleh nilai indeks kerentanan sosial.

a. Kepadatan Penduduk

Parameter kepadatan penduduk dipetakan menggunakan metode pemetaan *dasymetric*. Pemetaan *dasymetric* merupakan salah satu metode pemetaan tematik berbasis wilayah yang menghasilkan informasi spasial lebih rinci (Khomarudin, 2010).

Hasil analisis berupa data distribusi kepadatan penduduk. Selanjutnya, proses penentuan skor kepadatan penduduk akan dihitung berdasarkan kepadatan penduduk per daerah bahaya per kecamatan di dalam area permukiman dengan satuan unit jiwa/ha. Untuk menghitung skor kepadatan penduduk, analisis ini menggunakan pendekatan logika fuzzy. Metode ini menghasilkan sebaran nilai ideal keanggotaan fuzzy berdasarkan aturan tertentu.

b. Kelompok Rentan

Sesuai pada proses analisis kepadatan penduduk, untuk menganalisis kelompok rentan dilakukan dengan metode yang sama yaitu distribusi spasial pada masing-masing parameter kelompok rentan. Perhitungan indeks rasio kelompok rentan dalam penelitian ini menggunakan pendekatan logika fuzzy. Untuk indikator rasio jenis kelamin, keanggotaan fuzzy ditentukan berdasarkan prinsip bahwa semakin besar nilai rasio (>40), maka nilainya akan cenderung mendekati 0 dan termasuk dalam kategori kelas rasio rendah. Sebaliknya, jika nilai rasionya lebih kecil (<20), maka nilai keanggotaannya akan semakin mendekati 1 dan tergolong dalam kelas rasio tinggi. Pola ini berbeda dengan indikator kelompok rentan lainnya, seperti rasio penduduk usia rentan, penyandang disabilitas, dan penduduk miskin, yang mengikuti aturan sebaliknya: semakin tinggi nilai rasio (>40), maka nilai keanggotaan fuzzy justru mendekati 0 dan berada pada kelas rasio tinggi.

Setelah data indeks untuk masing-masing parameter penyusun kerentanan sosial diperoleh, langkah berikutnya adalah menggabungkan semua indeks parameter menjadi indeks kerentanan sosial dengan menggunakan persamaan berikut yang digunakan dalam Modul Teknis KRB Gempa Bumi, BNPB Tahun 2019:

$$V_s = FM(0.6v_{kp}) + FM(0.1v_{rs}) + FM(0.1v_{ru}) + FM(0.1v_{rd}) + FM(0.1v_{rm})$$

dimana, V_s adalah indeks kerentanan sosial; FM adalah fungsi keanggotaan fuzzy; V_{kp} adalah indeks kepadatan penduduk; V_{rs} adalah indeks rasio jenis kelamin; V_{ru} adalah indeks rasio penduduk umur rentan; V_{rd} adalah indeks rasio penduduk disabilitas; V_{rm} adalah indeks rasio penduduk miskin.

2. Kerentanan Fisik

Kerentanan fisik terdiri dari parameter rumah, fasilitas umum (fasum) dan fasilitas kritis (faskris). Untuk menghitung nilai indeks kerentanan fisik, metode

MCDA, yang diatur dalam Perka BNPB No. 2 Tahun 2012, digunakan untuk menganalisis masing-masing parameter.

a. Rumah

Dalam kajian kerentanan fisik, parameter rumah adalah banyaknya rumah, atau bangunan tempat tinggal, yang berpotensi mengalami kerusakan dan mengalami kerugian di wilayah yang berpotensi bahaya di dalam sebuah desa atau kelurahan. Berdasarkan data Podes tahun 2008, jumlah penduduk per rumah rata-rata adalah 5 orang/rumah. Berdasarkan angka ini, distribusi spasial jumlah rumah per grid (1 ha) dapat dianalisis dengan pendekatan berdasarkan sebaran spasial. Untuk menghitung jumlah rumah, satuan harga penggantian kerugian digunakan berdasarkan tingkat kerusakan rumah yang dialami oleh masing-masing Pemerintah Daerah dengan melakukan penyesuaian terhadap kelas bahaya (kerusakan) yang ada yaitu:

Tabel 3. 10 Klasifikasi Rumah Berdasarkan Kelas Bahaya

Kelas Bahaya	Ciri Bangunan	Contoh	Referensi
Rendah	Permanen, konstruksi beton bertulang, sesuai standar tahan gempa (SNI 1726:2019)	Rumah permanen dengan standar teknis	BNPB (2019); SNI 1726:2019
Sedang	Semi-permanen, ada penguatan tapi tidak memenuhi standar gempa	Rumah bata dengan sedikit tulangan, kombinasi kayu-bata	BNPB (2019)
Tinggi	Non-engineered, tanpa perencanaan teknis; bata tanpa tulangan; batu kali; kayu rapuh	Rumah tradisional, rumah sederhana	BNPB (2019); UNDRO (1980); Coburn & Spence (2002)

(Sumber: BNPB, Modul Teknis Kajian KRB Gempa Bumi, 2019)

Selain menggunakan jumlah rumah terdampak sebagaimana acuan BNPB (2019), penilaian kerentanan fisik rumah juga memperhatikan kualitas struktur bangunan. Menurut SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa

untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung, rumah yang tidak memenuhi ketentuan perencanaan seismik dapat dikategorikan rentan terhadap kerusakan.

Kerentanan tersebut dapat dilihat dari beberapa aspek teknis. Pertama, pondasi yang dangkal, dibangun di tanah labil, atau tanpa perkuatan struktural berpotensi gagal menopang beban lateral ketika terjadi guncangan gempa (SNI 1726:2019, Pasal 7.13). Kedua, dari sisi dinding, rumah dengan pasangan bata atau batako tanpa tulangan beton bertulang (*unconfined masonry*) sangat rentan mengalami keruntuhan, berbeda dengan sistem *confined masonry* yang lebih kokoh (SNI 1726:2019, Pasal 3.7.1–3.7.2; 3.13). Ketiga, sistem struktur utama yang tidak dilengkapi elemen pemikul gaya lateral, seperti dinding geser atau rangka pemikul momen, akan menyebabkan bangunan kehilangan kapasitas untuk menahan beban seismik (SNI 1726:2019, Pasal 7.2).

Selain itu, ketidakberaturan bentuk bangunan, baik secara horizontal (denah tidak simetris) maupun vertikal (perbedaan tinggi dan massa antar lantai), memperbesar konsentrasi gaya pada titik tertentu dan meningkatkan risiko keruntuhan (SNI 1726:2019, Pasal 7.3). Pada bagian atap dan sambungan, konstruksi atap berat tanpa pengikat, sambungan yang tidak memadai, serta detailing tulangan yang tidak sesuai standar merupakan faktor kerentanan tambahan (SNI 1726:2019, Pasal 7.10). Sementara itu, elemen non-struktural seperti partisi, plafon, serta komponen mekanikal dan elektrik yang tidak diangkur dengan baik juga sangat berisiko terlepas atau runtuh ketika terjadi gempa (SNI 1726:2019, Pasal 9.2).

b. Fasilitas Umum

Dalam kajian kerentanan fisik, parameter fasilitas umum (fasum) yaitu bangunan yang menyediakan layanan publik yang cukup rentan dan berpotensi mengalami kerusakan dan kerugian di wilayah yang berpotensi bahaya di suatu kecamatan. Data spasial fasum, dapat berupa titik (*point*) atau area (*polygon*), yang banyak digunakan untuk mengkaji kerentanan dan risiko bencana. Jenis data fasum minimal yang diperlukan untuk analisis kerentanan adalah data fasilitas pendidikan dan kesehatan. Nilai kerugian fasum dihitung untuk fasilitas pendidikan dan kesehatan, serta fasilitas lainnya yang termasuk dalam kategori fasum. Analisis potensi kerugian dilakukan dengan menggunakan satuan harga pemerintah daerah untuk merencanakan perbaikan atau pembangunan kembali bangunan fasum. Untuk melakukan ini, kelas bahaya (kategori kerusakan) yang ada disesuaikan dengan nilai fasum saat ini.

Tabel 3. 11 Kerusakan Fasilitas Umum

Kelas Bahaya	Kerusakan
Rendah	Tidak ada kerusakan
Sedang	50% dari satuan harga daerah terdampak rusak ringan;
Tinggi	50% dari satuan harga daerah rusak sedang, dan 50% satuan harga daerah terdampak rusak berat dikali satuan harga daerah;

(Sumber: BNPB, Modul Teknis Kajian KRB Gempa Bumi, 2019)

Angka 50% digunakan sebagai asumsi bahwa tidak semua bangunan fasum mengalami kerusakan di area yang dapat mengancam.

c. Fasilitas Kritis

Dalam kajian kerentanan fisik, banyaknya bangunan yang beroperasi selama keadaan darurat sangat penting (kritis) dan berpotensi (rentan) mengalami kerusakan dan menimbulkan kerugian di wilayah yang berpotensi bahaya di dalam kecamatan. Faskris adalah jenis bangunan infrastruktur penting yang dapat berhenti berfungsi ketika terdampak bencana. Fasilitas yang digunakan untuk faskris adalah rumah sakit dan pembangkit listrik, yang rentan terhadap dampak dari bencana gempa bumi.

d. Indeks Kerentanan Fisik

Setelah data indeks untuk masing-masing parameter penyusun kerentanan fisik diperoleh, digunakan persamaan berikut untuk menggabungkan semua indeks parameter menjadi indeks kerentanan fisik, sesuai dengan acuan Modul Teknis KRB Gempa Bumi Tahun 2019 oleh BNPB:

$$Vf = FM(0.4v_{rm}) + FM(0.3v_{fu}) + FM(0.3v_{fk})$$

dimana, Vf adalah indeks kerentanan sosial; FM adalah fungsi keanggotaan *fuzzy*; v_{rm} adalah indeks kerugian rumah; v_{fu} adalah indeks kerugian fasum; v_{fk} adalah indeks kerugian faskris.

3. Kerentanan Ekonomi

Berdasarkan Perka BNPB No. 2 Tahun 2012 untuk memperoleh nilai indeks kerentanan ekonomi, menggunakan parameter PDRB (Produk Domestik Regional Bruto) dan lahan produktif sebagai komponen dari kerentanan ekonomi. Metode MCDA digunakan untuk menganalisis masing-masing parameter.

a. Kontribusi PDRB

Dalam kajian kerentanan ekonomi, parameter PDRB dihitung sebagai nilai kontribusi PDRB sektor terkait lahan produktif yang dapat terdampak secara langsung oleh bencana. PDRB sektor lahan produktif, khususnya pertanian, diukur dan dianalisis secara spasial menggunakan pendekatan penggunaan lahan di suatu wilayah, dengan menggunakan reklasifikasi. Jenis sektor pertanian yang tersedia pada data PDRB masing-masing kabupaten/kota dapat disandingkan dengan data penggunaan/penutup lahan (*landuse/landcover*). Selanjutnya, metode untuk menghitung indeks kontribusi PDRB menggunakan pendekatan logika *fuzzy*.

b. Lahan Produktif

Dalam kajian kerentanan ekonomi, parameter lahan produktif didefinisikan sebagai jumlah kerugian yang berpotensi mengalami kerusakan oleh (bahaya) bencana. Lahan produktif biasanya merupakan lahan pertanian (lahan pertanian, perkebunan, dan perikanan darat), yang berada di wilayah berpotensi terdampak. Untuk menghitung nilai ekonomi lahan produktif, data analisis kontribusi PDRB harus disesuaikan dengan kelas bahaya yang ada, yaitu dengan asumsi:

Tabel 3. 12 Kerugian Lahan Produktif

Kelas Bahaya	Kerusakan
Rendah	Tidak ada kerusakan
Sedang	50% jumlah kerugian lahan produktif;
Tinggi	100% jumlah kerugian lahan produktif;

(Sumber: BNPB, Modul Teknis Kajian KRB Gempa Bumi, 2019)

Selanjutnya, proses perhitungan indeks lahan produktif dilakukan dengan menggunakan pendekatan logika *fuzzy*.

c. Indeks Kerentanan Ekonomi

Setelah data indeks untuk masing-masing parameter penyusun kerentanan ekonomi diperoleh, langkah berikutnya adalah menggabungkan semua indeks tersebut menjadi indeks kerentanan ekonomi dengan menggunakan persamaan dari Modul Teknis KRB Gempa Bumi Tahun 2019 oleh BNPB:

$$Ve = FM(0.6v_{pd}) + FM(0.4v_{lp})$$

dimana, Ve adalah indeks kerentanan ekonomi; FM adalah fungsi keanggotaan *fuzzy*; v_{pd} adalah indeks kontribusi PDRB; v_{lp} adalah indeks kerugian lahan produktif.

4. Kerentanan Lingkungan

Perhitungan nilai indeks kerentanan lingkungan, menggunakan metode MCDA, yang didasarkan pada Perka BNPB No. 2 Tahun 2012, untuk menganalisis tiap parameter. Karena data spasial yang tidak saling bersinggungan dan dapat diakses secara langsung dari data penggunaan/penutup lahan, analisis parameter kerentanan lingkungan menganalisis masing-masing parameter sebagai jumlah luasan (Ha) lahan yang berfungsi ekologis lingkungan, namun berpotensi (terdampak) mengalami kerusakan sebagai akibat dari berada di lokasi (bahaya) bencana. Ada kemungkinan bahwa kondisi parameter akan disesuaikan untuk masing-masing kelas bahaya sebagai berikut:

Tabel 3. 13 Kerusakan Lingkungan

Kelas Bahaya	Kerusakan
Rendah	Tidak ada kerusakan
Sedang	50% luasan lingkungan terdampak kerusakan;
Tinggi	100% luasan lingkungan terdampak kerusakan;

(Sumber: BNPB, Modul Teknis Kajian KRB Gempa Bumi, 2019)

5. Indeks Kerentanan

Peta indeks kerentanan dibuat setelah semua data hasil analisis komponen kerentanan dikumpulkan. Hasil dari data indeks kerentanan adalah data raster dengan ukuran *grid*/sel 100. Untuk membuat indeks risiko bencana yang sesuai dengan ukuran *grid*/sel data indeks bahaya, ukuran *grid*/sel harus diubah dari 100 menjadi 30, menggunakan teknik resampling yang mempertahankan cakupan dan posisi data indeks bahaya. Kajian kerentanan dilakukan untuk memperoleh kesimpulan dari hasil analisis masing masing komponen kerentanan yaitu berupa:

- Potensi Penduduk Terpapar
- Potensi Kerugian (Fisik dan Ekonomi)
- Potensi Kerusakan Lingkungan
- Kelas Kerentanan

Kelas kerentanan diklasifikasi berdasarkan pengelompokan nilai indeks kerentanan sebagai berikut:

Tabel 3. 14 Klasifikasi Kelas Kerentanan

Kelas Kerentanan	Klasifikasi
Rendah	$V < 0,333$
Sedang	$0,333 < V < 0,666$
Tinggi	$V > 0,666$

(Sumber: BNPB, Modul Teknis Kajian KRB Gempa Bumi, 2019)

3.8.3 Kapasitas

Penghitungan kapasitas diperoleh dari kombinasi Indeks Ketahanan Daerah (IKD) dan Indeks Kesiapsiagaan Masyarakat (IKM). Bobot dari masing-masing variabel telah ditentukan dalam pada buku Petunjuk Teknis Perangkat Penilaian Kapasitas Daerah yang diterbitkan oleh Direktorat Pengurangan Risiko Bencana – BNPB, (2017). Nilai indeks kapasitas dikumpulkan berdasarkan indikator pencapaian dan disusun berdasarkan lima tingkatan pencapaian daerah penanggulangan bencana.

- Level 1: Daerah telah melakukan beberapa langkah maju dalam rencana atau kebijakan untuk mengurangi risiko bencana.
- Level 2: Daerah telah melakukan beberapa tindakan untuk mengurangi risiko bencana, tetapi pencapaian hanya sporadis (tidak teratur) karena kurangnya kebijakan sistematis dan komitmen kelembagaan.
- Level 3: Komitmen pemerintah dan beberapa komunitas untuk mengurangi risiko bencana di suatu daerah telah dicapai dan didukung oleh kebijakan sistematis.
- Level 4: Upaya pengurangan risiko bencana di suatu wilayah telah dicapai dengan dukungan komitmen dan kebijakan yang menyeluruh, tetapi masih ada keterbatasan dalam komitmen, sumber daya finansial, dan kapasitas operasional untuk melaksanakannya.
- Level 5: Capaian komprehensif telah dicapai dengan komitmen dan kapasitas yang memadai di semua tingkat dan jenjang organisasi.

Nilai indeks ketahanan daerah dan kesiapsiagaan masyarakat berada pada rentang nilai 0 – 1, dengan pembagian kelas sebagai berikut:

Tabel 3. 15 Klasifikasi Indeks Kapasitas

Indeks Kapasitas	Klasifikasi
Rendah	$C < 0,4$
Sedang	$0,4 < C < 0,8$
Tinggi	$0,8 < C < 1$

(Sumber: BNPB, Modul Teknis Kajian KRB Gempa Bumi, 2019)

Selain itu, data kesiapsiagaan masyarakat diproses dengan metode *Join*, bersama dengan data batas administratif desa. Hasil dari penilaian ketahanan daerah dan kesiapsiagaan masyarakat masih berupa nilai indeks. Sehingga proses selanjutnya yaitu melakukan konversi dari format data tabel menjadi data spasial. Setelah data kapasitas diproses secara menyeluruh, hasilnya disajikan dalam bentuk "peta kapasitas" sesuai dengan standar yang ditetapkan dalam Perka BNPB 2/2012, dengan penentuan bobot sebagai berikut.

Tabel 3. 16 Penentuan Bobot dan Indkes masing-masing Komponen Kapasitas

Komponen	Bobot	Kelas		
		Rendah (0 – 0,333)	Sedang (0,334 – 0,666)	Tinggi (0,667 – 1,00)
Ketahanan Daerah	40%	Transformasi nilai 0 – 0,40	Transformasi nilai 0,41 – 0,80	Transformasi nilai 0,81 - 1
Kesiapsiagaan Masyarakat	60%	< 0,33	0,34 – 0,66	0,67 – 1,00

(Sumber: Modul Teknis KRB Gempa Bumi, BNPB, 2019)

Selain peta, hasil analisis ditampilkan dalam tabel yang membagi kapasitas daerah menurut tingkat ketahanan dan kesiapsiagaan masyarakat. Semua teknik ini bertujuan untuk memastikan bahwa data kapasitas dapat diintegrasikan dengan analisis risiko bencana sehingga mendukung perencanaan mitigasi yang lebih efektif.

3.8.4 Risiko

Perhitungan risiko dilakukan dengan menggabungkan data indeks yang sudah diolah sebelumnya, yaitu indeks bahaya, indeks kerentanan, serta indeks kapasitas. Pengolahan kajian risiko ini dilakukan dengan menggunakan metode SIG. Sementara itu, perhitungan indeks risiko secara matematis dan spasial dapat menggunakan persamaan berdasarkan Modul Teknis KRB Gempa Bumi Tahun 2019 oleh BNPB:

$$R = (H \times V \times (1 - C))^{1/3} \quad \text{atau} \quad R = \sqrt[3]{H \times V \times (1 - C)}$$

Persamaan ini menyesuaikan kapasitas sebagai faktor yang dapat menurunkan risiko.

Setelah indeks risiko dihitung, data diklasifikasikan ke dalam tiga kategori:

Tabel 3. 17 Klasifikasi Kelas Risiko

Kelas Bahaya	Klasifikasi
Rendah	$R \leq 0,333$
Sedang	$0,333 < R \leq 0,666$
Tinggi	$R > 0,666$

(Sumber: BNPB, Modul Teknis Kajian KRB Gempa Bumi, 2019)

3.9 Teknik Analisis Data

3.9.1 Bahaya

Tingkat bahaya gempa bumi ditentukan berdasarkan metodologi JICA (2015) dengan menganalisis intensitas guncangan di permukaan. Intensitas ini diperoleh dari kombinasi data guncangan di batuan dasar dan faktor amplifikasi tanah. Data guncangan di batuan dasar berasal dari Peta *Hazard Gempabumi* Indonesia (Kementerian PU, 2010), sementara faktor amplifikasi tanah dihitung dari AVS30 yang diperkirakan menggunakan data DEM. Indeks bahaya gempa bumi dibuat dengan mengelompokkan skor intensitas guncangan di permukaan. Parameter indeks bahaya terdiri dari:

- DEM 30 meter
- Peta percepatan puncak (*PGA/peak ground acceleration*) di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun (Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Tahun 2017)
- Referensi nilai AVS30 (*Average Shear wave Velocity in the upper 30m*)

Perhitungan data intensitas guncangan di permukaan dilakukan dengan cara mengalikan nilai faktor amplifikasi (GAF) dengan nilai intensitas guncangan percepatan puncak (PGA) di batuan dasar (*bedrock*). Faktor amplifikasi menggambarkan efek kondisi geologi dan jenis tanah permukaan terhadap penguatan gelombang seismik. Pada lokasi dengan tanah lunak, nilai GAF cenderung lebih besar sehingga memperkuat guncangan di permukaan. Sebaliknya, pada tanah keras atau batuan, nilai GAF lebih kecil sehingga guncangan di permukaan relatif lebih lemah. Secara matematis, hubungan ini dinyatakan sebagai:

$$\text{Intensitas Guncangan Permukaan} = GAF \times PGA$$

dengan:

- Intensitas Guncangan Permukaan = percepatan tanah puncak di permukaan,
- GAF (*ground factor amplification*) = faktor amplifikasi tanah,
- PGA (*peak ground acceleration*) = percepatan tanah puncak pada batuan dasar.

Perkalian ini bertujuan untuk memperoleh nilai intensitas pada kondisi permukaan, karena gempa yang dirasakan manusia bukan hanya dipengaruhi oleh energi seismik dari sumber gempa, tetapi juga oleh kondisi geologi lokal. Dengan demikian, hasil perhitungan ini menghasilkan peta intensitas guncangan permukaan yang dapat digunakan sebagai dasar analisis bahaya gempa (BNPB, 2019).

3.9.2 Kerentanan

Indeks kerentanan masing-masing diperoleh dari hasil penggabungan skor kerentanan sosial, fisik, dan ekonomi dengan menggunakan bobot masing-masing komponen kerentanan yang didapat dari Modul Teknis KRB Gempa Bumi Tahun 2019 oleh BNPB, berikut merupakan persamaannya:

$$\text{Indeks Kerentanan Gempa} = (\text{IKS} \times 40\%) + (\text{IKF} \times 30\%) + (\text{IKE} \times 30\%)$$

Dimana:

IKS = Indeks Kerentanan Sosial

IKF = Indeks Kerentanan Fisik

IKE = Indeks Kerentanan Ekonomi

Indeks kerentanan terbagi kedalam empat indeks penyusun, diantaranya adalah:

1. Kerentanan Sosial

Kerentanan sosial terdiri dari parameter kepadatan penduduk dan kelompok rentan. Kelompok rentan terdiri dari rasio jenis kelamin, rasio kelompok umur rentan, rasio penduduk miskin, dan rasio penduduk cacat. Secara spasial, masing-masing skor parameter didistribusikan di wilayah pemukiman per desa/kelurahan dalam bentuk grid *raster* (piksel). Setiap piksel merepresentasikan skor parameter sosial (jumlah jiwa) di seluruh wilayah pemukiman.

Masing-masing parameter dianalisis dengan menggunakan metode skoring sesuai Perka BNPB No. 2 Tahun 2012 untuk memperoleh skor kerentanan sosial.

Tabel 3. 18 Pembobotan Kerentanan Sosial

Parameter	Bobot	Kelas		
		Rendah	Sedang	Tinggi
Kepadatan Penduduk	60	<5jiwa/ha	5–10 jiwa/ha	>10 jiwa/ha
Kelompok Rentan				
Rasio Jenis Kelamin (10%)	40	<40	20 – 40	<20
Rasio Kelompok Rentan (10%)		<20	20 – 40	>40
Rasio Penduduk Miskin (10%)				
Rasio Penduduk Cacat (10%)				

(Sumber: BNPB, Modul Teknis Kajian KRB Gempa Bumi, 2019)

2. Kerentanan Fisik

Kerentanan fisik terdiri dari parameter rumah, fasilitas umum dan fasilitas kritis. Jumlah nilai rupiah rumah, fasilitas umum, dan fasilitas kritis dihitung berdasarkan kelas bahaya di area yang terdampak. Distribusi spasial nilai rupiah untuk parameter rumah dan fasilitas umum dianalisis berdasarkan sebaran wilayah pemukiman seperti yang dilakukan untuk analisis kerentanan sosial. Masing-masing parameter dianalisis dengan menggunakan metode skoring sesuai Perka BNPB No. 2 Tahun 2012 untuk memperoleh skor kerentanan fisik.

Tabel 3. 19 Pembobotan Kerentanan Fisik

Parameter	Bobot (%)	Kelas		
		Rendah	Sedang	Tinggi
Rumah	40	<400 juta	400 – 800 juta	>800 juta
Fasilitas Umum	30	<500 juta	500 juta – 1 M	>1 M
Fasilitas Kritis	30	<500 juta	500 juta – 1 M	>1 M
Kerentanan Fisik = (0,4*skor rumah) + (0,3 skor*Fasum) + (0,3*skor Faskris)				
Perhitungan nilai setiap parameter (kecuali rumah) dilakukan berdasarkan:				
- Pada kelas bahaya RENDAH memiliki pengaruh 0% - Pada kelas bahaya SEDANG memiliki pengaruh 50% - Pada kelas bahaya TINGGI memiliki pengaruh 100%				
Perhitungan nilai parameter Rumah dilakukan berdasarkan:				

- Pada kelas bahaya RENDAH, jumlah rumah yang terdampak dikalikan 5 juta.
- Pada kelas bahaya SEDANG, jumlah rumah yang terdampak dikalikan 10 juta.
- Pada kelas bahaya TINGGI, jumlah rumah yang terdampak dikalikan 15 juta.

(Sumber: BNPB, Modul Teknis Kajian KRB Gempa Bumi, 2019)

3. Kerentanan Ekonomi

Kerentanan ekonomi terdiri dari parameter kontribusi PDRB dan lahan produktif. Nilai rupiah lahan produktif dihitung berdasarkan nilai kontribusi PDRB pada sektor yang berhubungan dengan lahan produktif (seperti sektor pertanian) yang dapat diklasifikasikan berdasarkan data penggunaan lahan. Reklasifikasi kelas penutupan/penggunaan lahan menjadi kelas lahan produktif:

Tabel 3. 20 Reklasifikasi Lahan Produktif

Reklasifikasi	
Penggunaan Lahan	Lahan Produktif
Hutan Tanaman Industri (HTI)	Kehutanan
Perkebunan	Perkebunan
Pertanian Lahan Kering	Tanaman Pangan
Sawah	
Pertambangan	Pertambangan
Lainnya	Non Produktif

(Sumber: BNPB, Modul Teknis Kajian KRB Gempa Bumi, 2019)

Masing-masing parameter dianalisis dengan menggunakan metode skoring sesuai Perka BNPB No. 2 Tahun 2012 untuk memperoleh skor kerentanan ekonomi.

Tabel 3. 21 Pembobotan Kerentanan Ekonomi

Parameter	Bobot (%)	Kelas		
		Rendah	Sedang	Tinggi
Lahan Produktif	60	<50 juta	50 - 200 juta	>200 juta
PDRB	40	<100 juta	100 - 300 juta	>300 juta

Kerentanan Ekonomi = $(0,6 \times \text{skor Lahan Produktif}) + (0,4 \times \text{skor PDRB})$
Perhitungan nilai setiap parameter dilakukan berdasarkan: - Pada kelas bahaya RENDAH memiliki pengaruh 0% - Pada kelas bahaya SEDANG memiliki pengaruh 50% - Pada kelas bahaya TINGGI memiliki pengaruh 100%

(Sumber: BNPB, Modul Teknis Kajian KRB Gempa Bumi, 2019)

4. Kerentanan Lingkungan

Kerentanan lingkungan terdiri dari parameter hutan lindung, hutan alam, hutan bakau/mangrove, semak belukar, dan rawa. Setiap parameter dapat diidentifikasi menggunakan data tutupan lahan. Masing-masing parameter dianalisis dengan menggunakan metode skoring sesuai Perka BNPB No. 2 Tahun 2012 untuk memperoleh skor kerentanan lingkungan.

Tabel 3. 22 Pembobotan Kerentanan Lingkungan

Parameter	Kelas			
	Rendah	Sedang	Tinggi	Skor
Hutan Lindung ^(a,b,c,d,e,f,g,h)	<20 ha	20 – 50 ha	>50 ha	Kelas / Skor Maks. Kelas
Hutan Alam ^(a,b,c,d,e,f,g,h)	<25 ha	25 – 75 ha	>75	
Hutan Bakau/Mangrove ^(a,b,c,d,e,f,g,h)	<10 ha	10 – 30 ha	>30	
Semak Belukar ^(a,b,c,d,e,f,g,h)	<10 ha	10 – 30 ha	>30	
Rawa ^(a,b,c,d,e,f,g,h)	<5 ha	5 – 20 ha	>20 ha	
a). Tanah Longsor				
b). Letusan Gunung Api				
c). Kekeringan				
d). Kebakaran Hutan dan Lahan				
e). Banjir				
f). Banjir Bandang				
g). Gelombanng Ekstrim dan Abrasi				
h). Tsunami				
- Pada kelas bahaya RENDAH memiliki pengaruh 0%				

- Pada kelas bahaya SEDANG memiliki pengaruh 50%
- Pada kelas bahaya TINGGI memiliki pengaruh 100%

(Sumber: BNPB, Modul Teknis Kajian KRB Gempa Bumi, 2019)

3.9.3 Kapasitas

1. Ketahanan Daerah

Pada tingkat kabupaten/kota untuk kajian risiko bencana, kapasitas daerah terdiri dari dua komponen utama yaitu ketahanan daerah dan kesiapsiagaan masyarakat. Ketahanan daerah dinilai berdasarkan capaian para pemangku kebijakan (instansi/lembaga) di level pemerintah kab/kota. Sedangkan kesiapsiagaan masyarakat dinilai berdasarkan capaian masyarakat di level desa/kelurahan.

Pada awalnya, indeks dan tingkat ketahanan daerah dinilai dengan menggunakan indikator HFA (*Hyogo Framework for Actions*) yang telah tertuang di dalam Perka BNPB 3/2012. Kemudian diperbaharui berdasarkan Arah Kebijakan dan Strategi RPJMN 2015-2019 yaitu:

- Pengurangan risiko bencana dalam kerangka pembangunan berkelanjutan di pusat dan daerah,
- Penurunan tingkat kerentanan terhadap bencana, dan
- Peningkatan kapasitas pemerintah, pemerintah daerah dan masyarakat dalam penanggulangan bencana

Hasil perumusan pembaharuan tersebut disebut sebagai Indeks Ketahanan Daerah (IKD) yang diimplementasikan mulai tahun 2016 pada beberapa wilayah di Indonesia. Fokus prioritas dalam IKD terdiri dari:

1. Perkuatan kebijakan dan kelembagaan
2. Pengkajian risiko dan perencanaan terpadu
3. Pengembangan sistem informasi, diklat dan logistik
4. Penanganan tematik kawasan rawan bencana
5. Peningkatan efektivitas pencegahan dan mitigasi bencana
6. Perkuatan kesiapsiagaan dan penanganan darurat bencana, dan
7. Pengembangan sistem pemulihan bencana

2. Kesiapsiagaan Masyarakat

Kesiapsiagaan masyarakat atau Indeks Kesiapsiagaan Masyarakat (IKM) sebagai salah satu komponen kapasitas daerah merupakan penilaian tingkat

kesiapsiagaan yang dilakukan melalui metode survei dan wawancara kepada masyarakat dengan teknik *purposive sampling* pada beberapa kecamatan yang berpotensi terdampak bencana dengan menggunakan kuesioner. Skor indeks kesiapsiagaan masyarakat berada pada rentang 0 – 1, dengan pembagian kelas tingkat kesiapsiagaan masyarakat:

Tabel 3. 23 Skoring Kesiapsiagaan Masyarakat

Indeks	Kelas
< 0,4	Rendah
0,4 – 0,8	Sedang
0,8 – 1	Tinggi

(Sumber: BNPB, Modul Teknis Kajian KRB Gempa Bumi, 2019)

3.9.4 Risiko

Penentuan indeks risiko bencana dilakukan dengan menggabungkan nilai indeks bahaya, kerentanan, dan kapasitas. Proses ini dilakukan dengan menggunakan perhitungan secara spasial sehingga dapat menghasilkan peta risiko dan nilai grid yang dapat dipergunakan dalam menyusun penjelasan peta risiko. Menurut Modul Teknis KRB Gempa Bumi Tahun 2019 oleh BNPB, konsep umum pengkajian risiko bencana dilakukan dengan pendekatan formula berikut:

$$\text{Risiko (R)} = \text{Bahaya (H)} \times \frac{\text{Kerentanan (V)}}{\text{Kapasitas (C)}}$$

Risiko gempa bumi pada suatu wilayah merupakan hasil interaksi antara tingkat bahaya seismik, kerentanan elemen yang terpapar, serta kapasitas masyarakat dan pemerintah dalam mengurangi dampak bencana. Pendekatan ini digunakan untuk memperlihatkan hubungan antara bahaya, kerentanan dan kapasitas yang membangun perspektif tingkat risiko bencana suatu Kawasan. Dalam konteks penelitian ini, risiko dihitung dengan pendekatan *multi-criteria decision analysis* (MCDA), di mana indeks bahaya, kerentanan, dan kapasitas dinormalisasi ke dalam skala 0–1, kemudian digabungkan menggunakan fungsi matematis yang merepresentasikan hubungan ketiganya. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa risiko gempa akan semakin tinggi apabila suatu wilayah memiliki nilai bahaya dan kerentanan yang besar, sementara kapasitasnya rendah. Sebaliknya, meskipun suatu daerah memiliki bahaya gempa tinggi, risiko dapat ditekan apabila kapasitasnya memadai dan kerentanannya rendah. Dengan kata lain, risiko tidak hanya ditentukan oleh kekuatan guncangan gempa, tetapi juga oleh

kondisi fisik bangunan, karakteristik sosial-ekonomi, serta kesiapsiagaan kelembagaan di daerah tersebut.

Peta risiko yang dihasilkan dari proses ini mampu menggambarkan distribusi spasial tingkat risiko di seluruh wilayah penelitian. Wilayah yang masuk kategori risiko tinggi ditandai oleh akumulasi faktor bahaya tinggi, kerentanan tinggi, dan kapasitas rendah, sehingga sangat rentan mengalami kerugian besar apabila terjadi gempa. Sementara itu, wilayah dengan risiko rendah biasanya berada pada zona dengan bahaya relatif kecil atau memiliki kapasitas yang baik dalam mitigasi, seperti keberadaan infrastruktur tahan gempa, kesiapan jalur evakuasi, dan kesadaran masyarakat. Oleh karena itu, hasil analisis risiko ini dapat dijadikan dasar bagi perumusan kebijakan prioritas pengurangan risiko bencana, misalnya dengan memperkuat kualitas bangunan sesuai SNI 1726:2019 tentang struktur bangunan tahan gempa, meningkatkan kapasitas masyarakat melalui pelatihan kebencanaan, serta mengintegrasikan risiko ke dalam rencana tata ruang wilayah.

3.10 Pengujian Pengujian

Pengujian hasil penelitian dilakukan melalui metode *ground checking*, yaitu melihat langsung kondisi aktual di lapangan untuk membandingkan kesesuaian antara hasil analisis spasial dengan kondisi nyata di wilayah kajian. Lokasi pengamatan dipilih berdasarkan kelas bahaya di setiap kecamatan, kemudian dilakukan pencatatan kondisi eksisting, seperti jenis bangunan, kondisi infrastruktur, serta lingkungan sekitarnya. Metode yang digunakan adalah *purposive sampling*, di mana lokasi pengamatan dipilih secara sengaja berdasarkan kategori kelas bahaya: tinggi, sedang, dan rendah. Setiap titik observasi kemudian dianalisis secara visual dan deskriptif, mencakup kondisi geologi permukaan, bentuk topografi, jenis tanah, kepadatan bangunan, serta potensi kerusakan yang mungkin terjadi jika gempa bumi terjadi di lokasi tersebut. Hasil observasi lapangan digunakan untuk menilai kesesuaian klasifikasi tingkat bahaya pada peta terhadap kondisi aktual di lapangan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah hasil analisis spasial mencerminkan potensi risiko yang sebenarnya.