

LAPORAN KERENTANAN SEISMIK WONOSOBO



2025



**TIM KERJA SEISMOLOGI TEKNIK
DIREKTORAT SEISMOLOGI TEKNIK GEOFISIKA POTENSIAL DAN TANDA WAKTU
KEDEPUTIAN GEOFISIKA
BADAN METEOROLOGI KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA**

KEGIATAN SWAKELOLA T.A 2025

LAPORAN KEGIATAN KERENTANAN SEISMIK KABUPATEN WONOSOBO

**TIM KERJA SEISMOLOGI TEKNIK
DIREKTORAT SEISMOLOGI TEKNIK,
GEOFISIKA POTENSIAL, DAN TANDA WAKTU
TAHUN ANGGARAN 2025**

TIM PENYUSUN

1. Pengarah

Prof. Ir. Teuku Faisal Fathani, Ph. D

Dr. Nelly Florida Riama, S.Si, M.Si

2. Penanggung Jawab

Setyoajie Prayoadhie, ST, M.DM

3. Penyusun

Dr. Sigit Pramono, M.Si

Oriza Sativa. ST., M. Eng

Ardian Yudhi Octantyo, S.Tr, M.DM

Dadang Permana, S.Si, M.Si

Dr. I Nyoman Sukanta, ST, MT

Fajri Syukur Rahmatullah, S.Si, MT

Moehajirin

Edy Santoso, S.Si, M.Si

Nur Hidayati Oktavia, S.Si, M.Si

Audia Kaluku, S.Tr

Robby Wallansha, S.Tr, M.Si

Juwita Sari Pradita, S.Tr

Nur Fani Habibah, S.T

Dedi Sugianto, S.Si, M.Si

Yoga Dharma Persada, S.Tr. Geof

Ulfa Nur Silvia, S.Tr.Geof

Fauzi, S.Tr

Erdin Krismanto, S.Tr. Geof

Randy Sitorus Pane, S.Tr

Riski Ananda, M.T

Rani Fitri Febriyanti, S.T, M.S

Silvie Farahdila, S.T

Tim Stasiun Geofisika Kelas III Banjarnegara

Tim BPBD Kabupaten Wonosobo

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena atas perkenan-Nya, laporan pelaksanaan survei kerentanan seismik di Kabupaten Wonosobo, khususnya aspek kegempaan, berupa kajian kerentanan seismik dapat diselesaikan dengan baik.

Tujuan dari pembuatan laporan ini adalah untuk mengidentifikasi potensi bahaya kegempaan pada wilayah yang diproyeksikan akan terus berkembang dengan pembangunan infrastruktur, melalui pengumpulan data dan analisis kerentanan seismik di Kabupaten Wonosobo.

Laporan ini menyampaikan informasi hasil analisis kerentanan seismik yang dapat menjadi salah satu rujukan teknis serta bahan pertimbangan untuk mendukung pengambilan keputusan dalam hal penataan wilayah dan pembangunan infrastruktur berbasis mitigasi bencana gempabumi pada kawasan Kabupaten Wonosobo.

Analisis kerentanan seismik dalam laporan ini dilaksanakan berdasarkan pada data primer hasil survei lapangan serta data sekunder yang terkait dengan historis kegempaan yang diperkirakan dapat berdampak pada kawasan Kabupaten Wonosobo.

Kami berharap hasil kajian kerentanan seismik ini dapat bermanfaat khususnya bagi pemangku kepentingan, serta bagi masyarakat Kabupaten Wonosobo secara umum. Kami juga mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif dari berbagai pihak terhadap laporan ini agar dapat semakin baik.

Jakarta, November 2025

Tim Survei Kerentanan Seismik BMKG

DAFTAR ISI

TIM PENYUSUN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
1 PENDAHULUAN	9
1.1 DASAR HUKUM	9
1.2 LATAR BELAKANG	9
1.3 TUJUAN	10
1.4 LINGKUP PEKERJAAN	10
1.5 OUTPUT	12
1.6 OUTCOME / MANFAAT	12
2 TINJAUAN PUSTAKA	13
2.1 TEKTONIK JAWA TENGAH DAN SEKITARNYA	13
2.1.1 Geologi Regional Daerah Jawa Tengah	15
2.1.2 Kegempaan Daerah Jawa Tengah dan Sekitarnya	17
2.2 MIKROZONASI GEMPABUMI	19
2.2.1 Mikrotremor	19
2.2.2 Frekuensi / Periode Dominan (F_{dom} / T_{dom})	20
2.2.3 Hubungan Antara Spektrum Mikrotremor Dengan Tingkat Kerusakan	21
2.2.4 Indeks Kerentanan Seismik (K_g)	21
2.2.5 Interpretasi Regang Geser Tanah (Ground Shear - Strain)	22
2.2.6 Spatial Auto-Correlation (SPAC) Analysis	22
2.2.7 Multi-Channel Analysis of Surface Waves (MASW)	25
2.2.8 Shakemap Scenario	26
3 METODE SURVEI	28
3.1 MULTI-CHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE (MASW)	28
3.2 MIKROTREMOR	31
3.2.1 Periode Dominan	31
3.2.2 Indeks Kerentanan Seismik	33
3.2.3 Interpretasi Regang Geser Tanah (Ground Shear Strain)	33
3.2.4 Mikrotremor Array	34
3.3 DIAGRAM ALIR PENELITIAN	39
3.4 LOKASI SURVEI	39

4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN	42
4.1 MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MASW)	42
4.2 MIKROTREMOR	51
4.2.1 Mikrotremor Array	51
Gambar 4- 5. Dokumentasi survei pengukuran Mikrotremor Array.	52
4.2.2 Periode Dominan	63
4.2.3 Analisis Kerentanan Seismik (Kg)	70
4.2.4 Interpretasi Regang Geser Tanah (Ground Shear Strain)	71
4.3 PETA SKENARIO GUNCANGAN TANAH (SHAKEMAP) Vs30 SURVEI	74
4.3.1 Peta Skenario Guncangan Tanah (Shakemap) Vs30 Survei untuk Sesar Baribis - Kendeng (Segmen Weleri)	75
4.3.2 Peta Skenario Guncangan Tanah (Shakemap) Vs30 Survei untuk Megathrust Segmen Jawa Barat - Jawa Tengah	76
4.4 PETA SKENARIO GUNCANGAN TANAH (SHAKEMAP) Vs30 USGS	78
4.4.1 Peta Skenario Guncangan Tanah (Shakemap) Vs30 USGS untuk Sesar Baribis - Kendeng (Segmen Weleri)	79
4.4.2 Peta Skenario Guncangan Tanah (Shakemap) Vs30 USGS untuk Java Megathrust Segmen Jawa Barat - Jawa Tengah	80
5 KESIMPULAN	83
DAFTAR PUSTAKA	85
DAFTAR ISTILAH (Glossary)	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1. Peta Geologi Lembar Jawa Bagian Tengah	13
Gambar 2-2. Peta Geologi Kab. Wonosobo, Provinsi Jawa Tengah	15
Gambar 2-3. Peta Kemiringan Lereng Kab. Wonosobo, Provinsi Jawa Tengah	16
Gambar 2-4. Peta Seismisitas gempabumi tahun 2024 di wilayah Jawa Tengah dan sekitarnya (Sumber : Stasiun Geofisika Banjarnegara, Jawa Tengah)	18
Gambar 2- 5. Konsep pengukuran dan akuisisi data pada survei mikrotremor Array (Tim Kerja Seismologi Teknik BMKG, 2025)	24
Gambar 2-6. Peralatan dan pengolahan data yang digunakan pada metode survei MASW (Tim Kerja Seismologi Teknik BMKG, 2025)	26
Gambar 3-1. Skema peralatan dan setting survei MASW.	28
Gambar 3-2. Tahapan akuisisi dan analisis MASW.	30
Gambar 3-3. Peralatan Survei dan Analisis Data Mikrotremor	32
Gambar 3- 4. Skema peralatan dan setting survei Mikrotremor Array.	34
Gambar 3- 5. Analisis Metode SPAC dalam Mikrotremor Array (Hayashi, 2012).	36
Gambar 3- 6. Perbandingan Karakteristik dan Aplikasi Survei Mikrotremor Array dan Survei MASW (Hayashi, 2011).	38
Gambar 3- 7. Kurva dispersi gabungan survei MA dan MASW memberikan kurva dispersi yang komprehensif pada rentang frekuensi yang besar (Hayashi, 2011).	38
Gambar 3- 8. Diagram alir Penelitian.	39
Gambar 3- 9. Peta Kabupaten Wonosobo.	40
Gambar 3- 10. Desain survei lokasi pengukuran MASW, Microtremor Single Station, dan Microtremor Array.	41
Gambar 4- 1. Dokumentasi pelaksanaan pengukuran MASW	43
Gambar 4- 2. Peta Klasifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Vs30 Kabupaten Wonosobo.	47
Gambar 4-3. Skema Cross-section dari beberapa titik pengukuran MASW.	49
Gambar 4-4. Cross-section dari beberapa titik pengukuran MASW, (a) Cross-section 1; (b) Cross-section 2; (c) Cross-section 3; (c) Cross-section 4; (e) Cross-section 5.	51
Gambar 4- 5. Dokumentasi survei pengukuran Mikrotremor Array.	52
Gambar 4- 6. Kurva dispersi SPAC 01.	53
Gambar 4- 7. Profil kecepatan gelombang geser (Vs) pada SPAC 01.	55
Gambar 4- 8. Kurva Dispersi SPAC 02.	56
Gambar 4- 9. Profil kecepatan gelombang geser (Vs) pada SPAC 02.	57
Gambar 4- 10. Kurva Dispersi SPAC 03.	58
Gambar 4- 11. Profil kecepatan gelombang geser (Vs) pada SPAC 03.	59
Gambar 4- 12. Kurva dispersi SPAC 04.	60
Gambar 4- 13. Profil kecepatan gelombang geser (Vs) pada SPAC 04.	61
Tabel 4- 6. Hasil pengukuran Mikrotremor Array di daerah survei.	62
Gambar 4- 14. Peta kedalaman batuan dasar (engineering bedrock) wilayah Wonosobo.	63

Gambar 4- 15. Dokumentasi pelaksanaan pengukuran Periode Dominan.	65
Gambar 4- 16. Peta Klasifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Periode Dominan (Tdom) Kabupaten Wonosobo.	69
Gambar 4- 17. Kontur Indeks Kerentanan Seismik (Kg) Kabupaten Wonosobo.	71
Gambar 4- 18. Kontur Nilai Ground Shear-Strain 1000 tahun Kabupaten Wonosobo.	73
Gambar 4- 19. Kontur Nilai Ground Shear-Strain 2500 tahun Kabupaten Wonosobo.	74
Gambar 4- 20. Shakemap berdasarkan Vs30 survei untuk skenario gempabumi Sesar Baribis - Kendeng (Segmen Weleri).	76
Gambar 4- 21. Shakemap berdasarkan Vs30 survei untuk skenario gempabumi Java Megathrust Segmen Jawa Barat - Jawa Tengah.	78
Gambar 4- 22. Shakemap berdasarkan Vs30 USGS untuk skenario gempabumi Sesar Baribis - Kendeng (Segmen Weleri).	80
Gambar 4- 23. Shakemap berdasarkan Vs30 USGS untuk skenario gempabumi Java Megathrust Segmen Jawa Barat - Jawa Tengah.	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2- 1. Historis Gempabumi Signifikan dan Merusak di Wilayah Kabupaten Wonosobo	18
Tabel 3- 1. Klasifikasi Jenis Tanah SNI 03-1726-2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2019)	31
Tabel 4- 1. Tabel hasil pengolahan MASW.	44
Tabel 4- 2. Frekuensi pada kurva dispersi pada SPAC 01.	54
Tabel 4- 3. Frekuensi pada kurva dispersi pada SPAC 02.	56
Tabel 4- 4. Frekuensi pada kurva dispersi pada SPAC 03.	58
Tabel 4- 5. Frekuensi pada kurva dispersi pada SPAC 04.	60
Tabel 4- 6. Hasil pengukuran Mikrotremor Array di daerah survei.	62
Tabel 4- 7. Tabel hasil pengolahan Tdom.	65
Tabel 4-8. Interpretasi indeks Ground Shear Strain terhadap kondisi fisis dan karakteristik dinamis tanah (Ishihara, 1996)	72
Tabel 4 - 9. Tabel Intensitas Gempabumi (Modified Mercalli Intensity).	82

1 PENDAHULUAN

1.1 DASAR HUKUM

Dasar hukum dari kegiatan ini adalah :

- a. Daftar isian pelaksanaan anggaran (DIPA) Sekretariat Utama BMKG tahun anggaran 2025 No. DIPA 075.01.1.436766/2025.
- b. Program Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, kegiatan Pengelolaan Seismologi Teknik, Geofisika Potensial dan Tanda Waktu, Rincian Output Layanan Informasi Kerentanan Seismik di Kota Besar.

1.2 LATAR BELAKANG

Secara tektonik wilayah kepulauan Indonesia terletak pada pertemuan 3 (tiga) lempeng tektonik utama dunia, yaitu lempeng tektonik Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik (Bock et al., 2003). Disamping terletak pada pertemuan ketiga lempeng tektonik utama dunia, juga adanya dorongan lempeng mikro Filipina dari sebelah utara wilayah Indonesia. Pada wilayah pertemuan lempeng tektonik ini, kerap terjadinya gempabumi tektonik yang sering menimbulkan kerusakan dan bahkan dapat memicu timbulnya tsunami. Selain itu juga terdapat sesar-sesar atau patahan aktif di darat kepulauan Indonesia yang juga dapat memicu terjadinya gempabumi kuat. Oleh karena itu tidak mengherankan bila wilayah kepulauan Indonesia merupakan salah satu wilayah di dunia yang paling rawan terjadinya gempabumi tektonik merusak. Untuk mengurangi atau meminimalisir resiko terhadap bahaya gempabumi yang ditimbulkannya perlu dibangun infrastruktur tahan gempabumi, termasuk bangunan-bangunan monumental, gedung bertingkat, dan lain sebagainya yang berada pada wilayah-wilayah yang dianggap sebagai wilayah rawan terjadinya gempabumi.

Getaran gempabumi di permukaan tidak hanya dipengaruhi oleh magnitudo gempabumi dan jarak hiposenter, namun juga dipengaruhi oleh karakteristik tanah setempat sebagai media perambatan gelombang gempabumi dari batuan dasar ke permukaan tanah. Variasi dan perubahan karakteristik tanah dari kedalaman batuan dasar hingga ke permukaan dapat menimbulkan perbesaran (amplifikasi) getaran

gempabumi sehingga turut mempengaruhi dampak yang mungkin ditimbulkannya di permukaan, termasuk dampak pada bangunan. Karakteristik tanah sangat bervariasi bahkan dalam jarak yang relatif dekat sehingga untuk pemetaan bahaya gempabumi di kota-kota dengan ancaman bencana tersebut perlu dilakukan kajian terhadap karakteristik tanah setempat dalam skala detail atau skala mikro (mikrozonasi).

Wonosobo merupakan wilayah kabupaten yang terletak di Provinsi Jawa Tengah. Pembangunan konstruksi dan infrastruktur di Kabupaten Wonosobo, harus mempertimbangkan risiko yang disebabkan oleh aktivitas seismik. Penilaian risiko harus didukung oleh informasi karakteristik bawah permukaan. Parameter karakteristik bawah permukaan dikaitkan dengan estimasi guncangan tanah di lokasi selama terjadinya gempabumi. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengukuran parameter kerentanan seismik (mikrozonasi) di Kabupaten Wonosobo, yang meliputi pengukuran Mikrotremor *Array, Multichannel Analysis of Surface Wave* (MASW) dan Periode Dominan tanah. Parameter-parameter mikrozonasi itu sangat diperlukan untuk mendukung perencanaan tata ruang di Kabupaten Wonosobo.

1.3 TUJUAN

Tujuan dari kajian kerentanan seismik ini adalah untuk mengkarakteristikan tanah di Kabupaten Wonosobo dalam skala detail atau skala mikro (mikrozonasi) sehingga diketahui informasi klasifikasi jenis tanah sampai dengan kedalaman 30 meter yang terkait dengan kerentanan bahaya gempabumi terhadap struktur bawah permukaan pada kondisi kedalaman dangkal. Selain itu, kegiatan ini juga bertujuan untuk mengetahui estimasi kedalaman *engineering bedrock*, serta menyediakan informasi dalam bentuk peta spasial skala detail dari parameter geoteknik, dalam rangka data dukung RTRW wilayah Kabupaten Wonosobo sebagai pertimbangan dan perhitungan dalam pembangunan infrastruktur tahan gempa.

1.4 LINGKUP PEKERJAAN

a. Waktu dan Lokasi Pelaksanaan

1. Waktu

- Lama kegiatan : 5 bulan
- Waktu pelaksanaan : Juli - November 2025

2. Lokasi

Lokasi Pengukuran kegiatan : Kabupaten Wonosobo

b. Tahapan Kegiatan

1. Persiapan

- Dilakukan pengecekan alat dan persiapan alat.
- Pembuatan peta rencana lokasi pengukuran.
- Pembuatan surat pemberitahuan ke BPBD Kabupaten Wonosobo.
- Koordinasi untuk bertemu BPBD Kabupaten Wonosobo.

2. Pelaksanaan

Pelaksanaan kegiatan Mikrozonasi untuk pengukuran MASW, pengukuran Mikrotremor *Array* dan pengukuran Periode Dominan dilakukan oleh 3 (tiga) orang dari BMKG Pusat (Tim Kerja Seismologi Teknik), 2 (dua) orang dari Stasiun Geofisika Banjarnegara dan 2 (dua) orang dari BPBD Kabupaten Wonosobo sebagai pendamping.

Lingkup pelaksanaannya terdiri dari :

1. Koordinasi awal dengan BPBD Kabupaten Wonosobo didampingi Stasiun Geofisika Banjarnegara.
2. Perjalanan dinas pengambilan data primer terdiri dari survei Mikrotremor *Array* untuk menentukan kedalaman *engineering bedrock* ($V_s > 760$ m/detik), menentukan kecepatan gelombang geser rata - rata hingga kedalaman 30 meter (V_{s30}) melalui pengukuran MASW untuk mengetahui situs kelas jenis tanah di lokasi pengukuran, dan menentukan periode dominan tanah (T_{dom}).
3. Studi literatur kondisi tektonik dan geologi.
4. Pengolahan dan analisis data Mikrotremor *Array*, *Multichannel Analysis of Surface Wave* dan Periode Dominan Tanah (T_{dom}).
5. Interpretasi hasil analisis kedalaman *engineering bedrock*, kecepatan gelombang geser rata-rata sampai kedalaman 30 meter (V_{s30}), periode dominan tanah, kerentanan seismik (K_g) dan *ground shear strain (GSS)*.

6. Penyusunan peta kedalaman *engineering bedrock*, peta kecepatan gelombang geser (V_{s30}), peta periode dominan tanah (T_{dom}), peta kerentanan seismik (K_g) dan peta *ground shear strain* (GSS).
7. Penyusunan laporan akhir kegiatan.

1.5 OUTPUT

Hasil atau *output* dari kegiatan kajian kerentanan seismik adalah :

- a. Mengetahui kecepatan rata-rata gelombang geser sampai kedalaman 30 meter (V_{s30}) yang merupakan representasi dari klasifikasi jenis tanah sesuai standar teknik sipil internasional menggunakan metode *Multichannel Analysis of Surface Wave* (MASW).
- b. Mengetahui informasi secara dini kondisi efek getaran lokal terhadap bangunan dan infrastruktur di atas permukaan tanah dari hasil analisis data periode dominan tanah (T_{dom}) menggunakan metode *Horizontal to Vertikal Spectral Ratio* (HVSr).
- c. Mengetahui estimasi kedalaman *engineering bedrock* ($V_s = 750$ m/s) dengan metode *Spatial Autocorrelation* (SPAC).
- d. Mengetahui nilai kerentanan seismik (K_g) dan *ground shear strain* menggunakan data periode dominan tanah (T_{dom}).

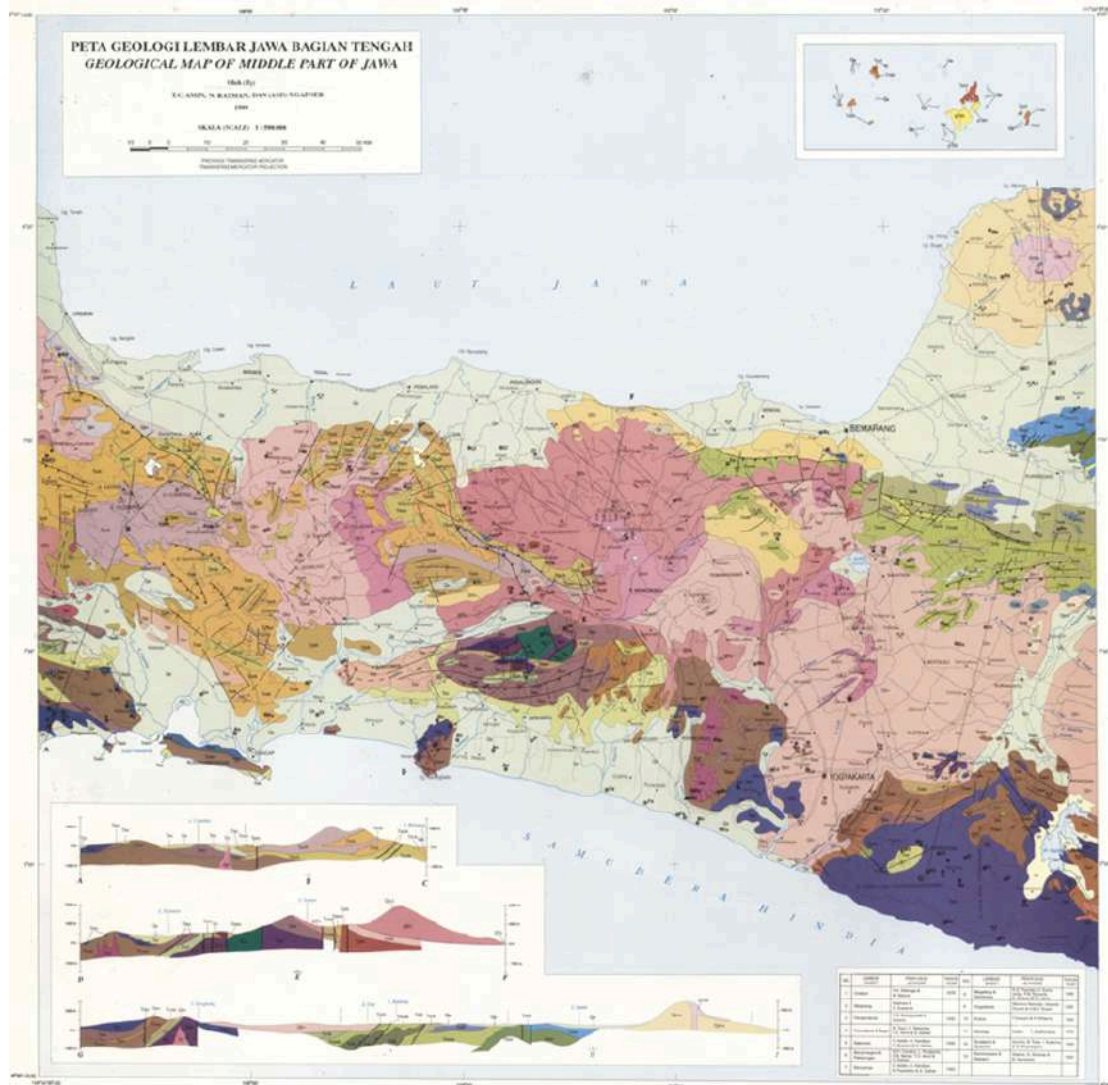
1.6 OUTCOME / MANFAAT

Adapun manfaat dari kegiatan mikrozonasi ini adalah termanfaatkannya peta estimasi kedalaman *engineering bedrock*, peta kecepatan rata-rata gelombang geser sampai kedalaman 30 meter (V_{s30}), peta kerentanan seismik (K_g), dan peta *ground shear strain* di Kabupaten Wonosobo untuk mendukung :

- a. Penyusunan tata ruang dan peraturan.
- b. Penyusunan perencanaan bangunan tahan gempa.
- c. Perumusan kebijakan, penyiapan, penanganan dan manajemen mitigasi bencana gempa bumi.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 TEKTONIK JAWA TENGAH DAN SEKITARNYA



Gambar 2-1. Peta Geologi Lembar Jawa Bagian Tengah

Secara tektonik, Kabupaten Wonosobo berada di bagian tengah Pulau Jawa yang termasuk dalam segmen tengah Busur Sunda, hasil dari penunjaman miring (*oblique subduction*) Lempeng Indo-Australia di bawah Lempeng Eurasia/Sunda (Hamilton et al., 1979). Busur Sunda ini merupakan salah satu sistem subduksi aktif terpanjang di dunia, memanjang dari Sumatra hingga Laut Banda, dan menghasilkan jalur gunung api aktif yang melintasi Jawa, termasuk kawasan Dieng–Wonosobo (Hall, 2009).

Pada bagian tengah Jawa, kecepatan penunjaman berkisar antara 6–7 cm/tahun dengan arah konvergensi miring, menghasilkan kombinasi gaya kompresi dan geser. Kombinasi ini menyebabkan terbentuknya sistem sesar busur (*arc-parallel faults*) seperti Sesar Opak, Sesar Kebumen–Banjarnegara, dan Sesar Lembang–Serayu Selatan, yang memiliki pengaruh besar terhadap aktivitas tektonik dan seismik di sekitar Wonosobo (Nishimura & Suparka, 1990).

Penelitian tomografi mantel menunjukkan bahwa *slab* Indo-Australia menunjam hingga kedalaman lebih dari 600 km di bawah Jawa Tengah, dengan kedalaman sekitar 110–130 km di bawah jalur gunung api aktif, termasuk komplek Gunung Dieng yang menjadi pusat aktivitas vulkanik di Wonosobo (Hall & Spakman, 2015). Hasil ini memperkuat hubungan langsung antara kedalaman *slab* dan letak jalur vulkanik Jawa bagian tengah.

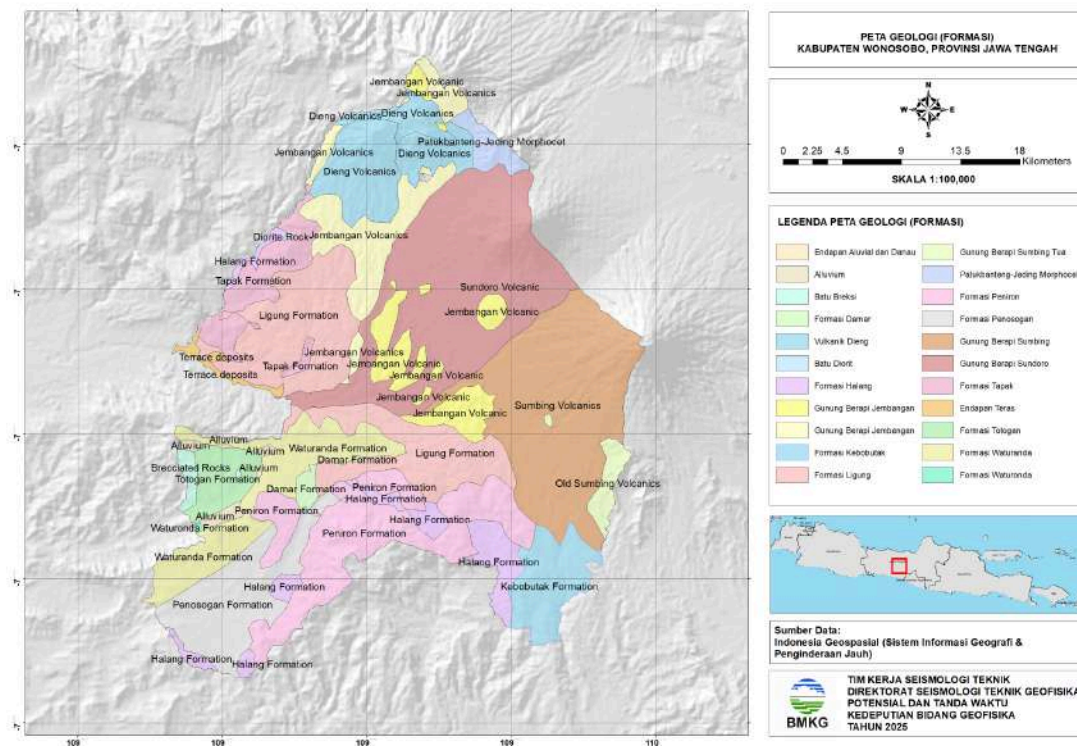
Dalam konteks regional Asia Tenggara, Pulau Jawa dan Wonosobo termasuk dalam zona transisi antara kerak benua *Sundaland* dan kerak samudra Indo-Australia, yang telah aktif sejak awal Tersier. Evolusi ini merupakan hasil penutupan Samudra Neo-Tethys dan proses akresi berbagai fragmen Gondwana ke tepi selatan Eurasia (Metcalf, 2017; Zahirovic et al., 2014). Proses ini menghasilkan zona busur kompleks dengan sisa-sisa batuan ofiolit dan terrane akresi di bawah Jawa, serta menghasilkan zona deformasi yang masih aktif hingga kini (Hartono & Tjokrosoepoetro, 1986).

Citra gravitasi dan seismik menunjukkan bahwa di bawah Jawa Tengah terdapat zona wedge akresi yang menebal ke arah selatan, dengan sedimen laut dalam yang terdeformasi dan menumpuk di depan busur. Di bagian utara, akresi ini dibatasi oleh Cekungan Jawa Tengah, sedangkan ke arah dalam busur, zona vulkanik Dieng–Wonosobo merupakan area dominasi magmatisme subduksi dan intrusi menengah (Hall, 2009; Hamilton et al., 1979).

Dengan demikian, secara tektonik, Wonosobo adalah hasil interaksi kompleks antara subduksi aktif, deformasi kerak, dan magmatisme busur yang berkelanjutan sejak Neogen. Adanya sistem sesar aktif serta aktivitas vulkanik intensif menjadikan daerah ini bagian dari segmen tektonik paling dinamis di Jawa (Hutchings & Mooney, 2021).

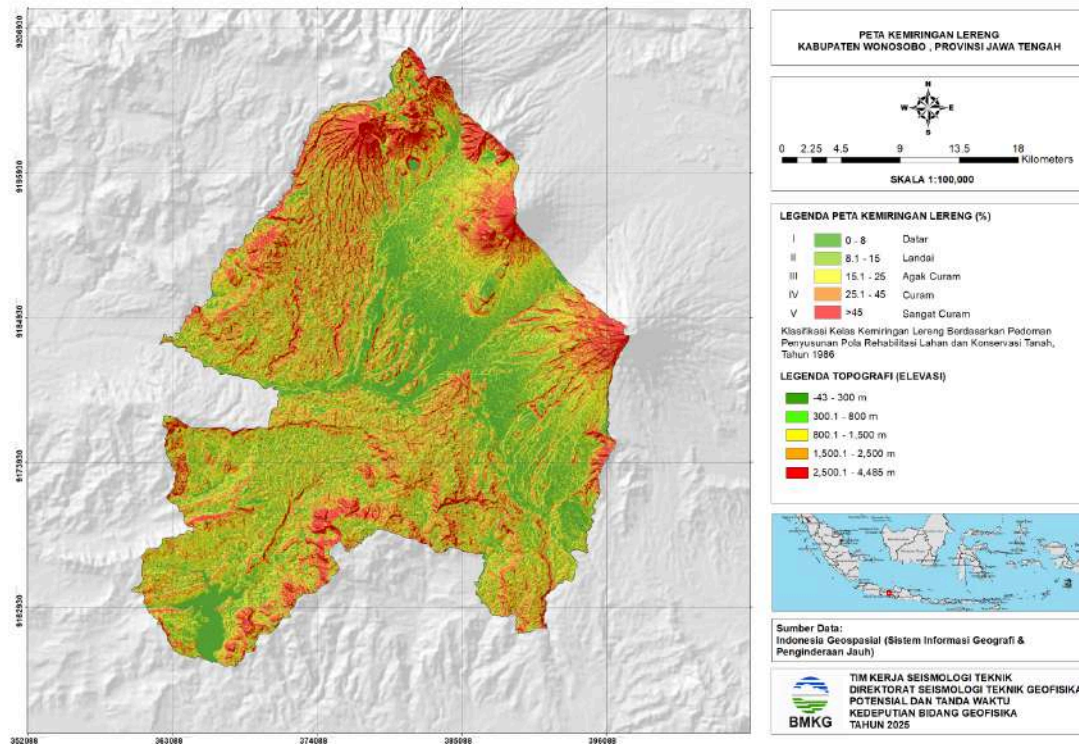
2.1.1 Geologi Regional Daerah Jawa Tengah

Secara geologi regional, Kabupaten Wonosobo berada di jalur busur magmatik Jawa bagian tengah, yang terdiri atas tiga satuan utama: zona busur luar (*outer arc*) di lepas pantai selatan, cekungan busur tengah, dan zona busur dalam vulkanik yang diwakili oleh rangkaian Gunungapi Dieng, Sumbing, dan Sindoro di sekitar Wonosobo (Hamilton et al., 1979). Daerah ini termasuk bagian dalam busur vulkanik aktif, dengan batuan dominan berupa lava andesitik, breksi piroklastik, tuf, dan endapan lahar yang berumur Kuartar (Hall, 2009).



Gambar 2-2. Peta Geologi Kab. Wonosobo, Provinsi Jawa Tengah

Gambar 2-2 menunjukkan sebaran formasi geologi di Kabupaten Wonosobo. Endapan vulkanik Kuartar menutupi satuan yang lebih tua dari Formasi Kalibiuk dan Formasi Halang berumur Miosen–Pliosen, yang tersusun oleh batupasir tufaan, batulempung, konglomerat, dan sisipan napal laut dangkal. Formasi-formasi ini merupakan hasil sedimentasi di cekungan busur tengah sebelum aktivitas vulkanik Dieng berkembang (Darman, 2000). Ketebalan endapan vulkanik di sekitar Wonosobo dapat mencapai lebih dari 1000 meter akibat pengisian berulang oleh letusan gunung api kompleks Dieng sejak Pleistosen (Van Bemmelen, 1949).



Gambar 2-3. Peta Kemiringan Lereng Kab. Wonosobo, Provinsi Jawa Tengah

Morfologi wilayah Wonosobo dicirikan oleh dataran tinggi (*plateau*) dengan lembah-lembah curam yang terbentuk akibat aktivitas vulkanik dan erosi sungai (**Gambar 2-3**). Kompleks vulkanik Dieng membentuk kaldera besar dengan kawah hidrotermal aktif, manifestasi panas bumi, serta rekahan yang menunjukkan aktivitas tektonik muda (Verstappen, 2010). Kombinasi antara aktivitas tektonik dan vulkanik tersebut menjadikan Wonosobo daerah yang rawan terhadap gempa vulkanik dan pergerakan tanah.

Secara struktur, Jawa Tengah memiliki sejumlah sesar utama berorientasi barat–timur dan barat laut–tenggara yang menandai deformasi akibat subduksi miring. Sesar-sesar ini antara lain Sesar Kebumen–Banjarnegara–Wonosobo dan Sesar Serayu, yang berperan dalam pembentukan lembah dan kontrol terhadap aliran fluida panas bumi di Dieng (Nishimura & Suparka, 1990). Data geofisika menunjukkan bahwa zona ini masih aktif dan sering menghasilkan gempa kecil hingga sedang, sesuai dengan karakter busur Sunda aktif (Hutchings & Mooney, 2021).

Dalam kerangka evolusi geologi, wilayah Jawa Tengah terbentuk melalui tiga tahap besar: (1) pembentukan dasar busur selama Oligosen–Miosen akibat subduksi

Indo-Australia, (2) pembentukan cekungan busur tengah dan pengendapan sedimen laut dangkal selama Miosen–Pliosen, serta (3) aktivitas vulkanik intensif sejak Pleistosen yang membentuk topografi tinggi di Dieng dan Wonosobo sekarang (Darman, 2000; Hall, 2009).

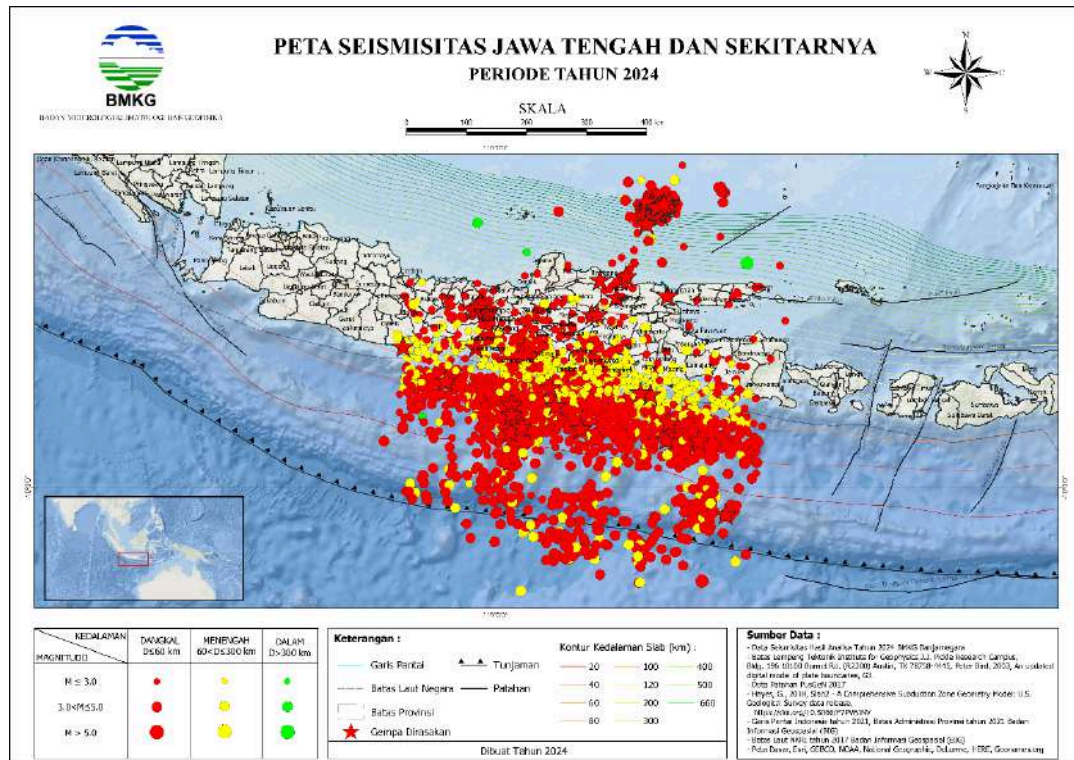
Dengan demikian, Kabupaten Wonosobo merupakan hasil dari evolusi tektonik aktif yang terus berlangsung, di mana kombinasi antara subduksi, deformasi kerak, vulkanisme, dan sedimentasi Kuartar menghasilkan morfologi kompleks serta keragaman litologi yang khas bagi Jawa bagian tengah. Geologi dan tektonik di daerah ini memperlihatkan dinamika tinggi, menjadikannya area penting untuk memahami perkembangan busur Sunda bagian tengah (Hall, 2009; Hamilton et al., 1979; Van Bemmelen, 1949).

2.1.2 Kegempaan Daerah Jawa Tengah dan Sekitarnya

Kegempaan regional Jawa Tengah merupakan pencerminan kegempaan wilayah Jawa secara umum. Kegempaan wilayah ini dapat dibagi atas dua kelompok berdasarkan asal-usul terjadinya yakni gempabumi tektonik bersumber pada lajur tunjaman selatan Jawa Tengah dan gempabumi tektonik bersumber pada sesar-sesar aktif di daratan Jawa Tengah.

Gempabumi berasal dari lajur tunjaman dapat dikenali dari mekanisme gempa, kedalaman, serta kedudukan episenternya. Demikian pula dengan gempabumi pada sesar aktif, umumnya gempabumi utama lajur tunjaman memperlihatkan mekanisme sesar naik, untuk wilayah di sebelah selatan Jawa Tengah, berbeda dengan gempabumi-gempabumi tunjaman yang berada di sebelah utara Jawa Tengah cenderung memperlihatkan mekanisme sesar normal. Mekanisme sesar normal juga dapat diamati di sebelah selatan Jawa Tengah.

Berdasarkan peta sebaran gempabumi pada **Gambar 2-4** yang telah dirilis oleh Stasiun Geofisika Banjarnegara selama tahun 2024, terlihat bahwa Kabupaten Wonosobo memiliki intensitas terjadinya gempabumi dari sesar - sesar aktif yang berada di bagian utara Dieng. Selain itu, gempabumi yang terjadi akibat aktivitas *Megathrust* Selatan Jawa dengan intensitas lebih banyak daripada sesar aktif juga memiliki dampak untuk Kabupaten Wonosobo.



Gambar 2-4. Peta Seismisitas gempabumi tahun 2024 di wilayah Jawa Tengah dan sekitarnya (Sumber : Stasiun Geofisika Banjarnegara, Jawa Tengah)

Gempabumi signifikan terakhir yang tercatat mengguncang Kabupaten Wonosobo terjadi pada 31 Oktober 2025 dengan magnitudo 3,4 dan intensitas II MMI, berpusat di wilayah Timur Laut Wonosobo. Guncangan ini disebabkan oleh aktivitas sesar aktif yang relatif dangkal. Secara historis, Kabupaten Wonosobo beberapa kali pernah dilanda guncangan akibat gempabumi dengan jarak episenter dan intensitas yang bervariasi. **Tabel 2-1** berikut menyajikan beberapa gempabumi merusak yang dirasakan hingga Kabupaten Wonosobo.

Tabel 2- 1. Historis Gempabumi Signifikan dan Merusak di Wilayah Kabupaten Wonosobo

No	Tanggal	Magnitudo	Intensitas	Dampak
1	12 November 1924	-	IX MMI	<ul style="list-style-type: none"> ● Ratusan orang meninggal ● Ribuan rumah rusak
2	02 Desember 1924	-	IX MMI	<ul style="list-style-type: none"> ● 727 orang meninggal ● 2.250 rumah rusak berat ● Kerugian mencapai 61.000 gulden

3	19 April 2013	4,8	II MMI	<ul style="list-style-type: none"> • 2 orang luka - luka • 311 unit rumah rusak
4	19 Oktober 2020	3,0	II-III MMI	<ul style="list-style-type: none"> • Dirasakan di wilayah Dieng
5	Januari - Februari 2023	1,0 - 3,0	II-III MMI	<ul style="list-style-type: none"> • Terjadi rangkaian ~ 15 kejadian gempabumi • Dirasakan di wilayah Dieng, Wonosobo & Banjarnegara
6	31 Oktober 2025	3,4	II-III MMI	<ul style="list-style-type: none"> • 4 rumah rusak di Kec. Bawang, Kab. Batang • Dirasakan di wilayah Kab. Wonosobo & Kab. Batang

2.2 MIKROZONASI GEMPABUMI

Getaran gempabumi di permukaan tidak hanya dipengaruhi oleh magnitudo gempabumi dan jarak hiposenter, namun juga dipengaruhi oleh karakteristik tanah setempat sebagai media perambatan gelombang gempabumi dari batuan dasar ke permukaan tanah. Variasi dan perubahan karakteristik tanah dari kedalaman batuan dasar hingga ke permukaan dapat menimbulkan perbesaran (amplifikasi) getaran gempabumi sehingga turut mempengaruhi dampak yang mungkin ditimbulkannya di permukaan, termasuk dampak pada bangunan. Karakteristik tanah sangat bervariasi bahkan dalam jarak yang relatif dekat, sehingga untuk pemetaan ancaman bahaya gempabumi perlu dilakukan kajian terhadap karakteristik tanah setempat tersebut dalam skala detail atau skala mikro (mikrozonasi). Dalam Kegiatan Kerentanan Seismik di Kabupaten Wonosobo ini dilakukan survei lapangan pengukuran data parameter dinamik tanah berupa pengukuran kedalaman *engineering bedrock*, kecepatan gelombang geser rata – rata hingga 30 meter (V_{s30}), dan pengukuran parameter periode dominan tanah (T_{dom}). Parameter tanah yang didapat selanjutnya dibuat sebaran spasialnya sehingga menghasilkan informasi peta mikrozonasi getaran tanah daerah tersebut.

2.2.1 Mikrotremor

Mikrotremor adalah getaran tanah natural dengan amplitudo rendah yang ada di permukaan bumi diakibatkan oleh berbagai penyebab alami seperti angin, gelombang laut, kebisingan kendaraan dan lainnya. Mikrotremor merupakan getaran yang

memiliki amplitudo sekitar 0.1–1 mikron dan kecepatan 0.001-0.01 cm/detik yang dapat dideteksi dengan menggunakan seismograph tertentu (Mirzaouglu, 2003). Periode gelombang mikrotremor telah diketahui memiliki hubungan dengan keadaan alami tanah dan karakteristik dinamik dari permukaan bawah tanah.

Observasi mikrotremor mulai diketahui memiliki banyak kegunaan pada bidang eksplorasi minyak, penyelidikan air bawah tanah hingga penyelidikan lapisan *engineering bedrock*. Penerapan observasi mikrotremor dapat menghasilkan seismik mikrozonasi atau proses pembagian area yang berpotensi akan proses seismik dan kegempaan dengan mempertimbangkan karakteristik geologi dan geofisika seperti getaran tanah, likuifaksi, tanah longsor dan lainnya serta menentukan kedalaman lapisan suatu sedimen.

Mikrotremor yang juga dikenal sebagai getaran alam (*ambient vibration*) berasal dari dua sumber utama yaitu alam dan manusia. Pada frekuensi rendah yaitu di bawah 1 Hz, sumber mikrotremor adalah alam. Gelombang laut menimbulkan *ambient vibration* dengan frekuensi sekitar 0.2 Hz sedangkan frekuensi sekitar 0.5 Hz dihasilkan oleh interaksi antara gelombang laut dan pantai. Untuk frekuensi di bawah 0.1 Hz, mikrotremor diasosiasikan dengan aktivitas di atmosfer. Frekuensi tinggi lebih dari 1 Hz bisa ditimbulkan oleh angin dan aliran air. Pada frekuensi tinggi yaitu lebih dari 1 Hz, sumber utamanya adalah aktivitas manusia seperti lalu lintas kendaraan, mesin dan lainnya. Lokasi sumber biasanya berada di permukaan tanah dan bervariasi antara siang dan malam hari.

2.2.2 Frekuensi / Periode Dominan (F_{dom} / T_{dom})

Frekuensi dominan adalah nilai frekuensi yang sering muncul, sehingga dapat dianggap sebagai nilai frekuensi dari lapisan batuan pada wilayah tersebut. Nilai frekuensi dominan dapat dipengaruhi oleh sifat fisik batuan penyusun suatu daerah. Daerah dengan batuan yang berusia lebih tua pada umumnya akan bersifat lebih kompak dan padat dan kemungkinan besar akan mempunyai nilai frekuensi dominan yang lebih tinggi.

Nilai frekuensi yang diperoleh kurva HVSR yang merupakan frekuensi resonansi lapisan permukaan dapat pula dinyatakan dalam nilai periode. Periode dimana rasio HVSR menunjukkan nilai maksimum menggambarkan adanya

perubahan kontras impedansi antara dua lapisan tanah yang berbeda. Periode ini dinamakan dengan periode dominan tanah (T_{dom}). Periode dominan merupakan waktu yang dibutuhkan gelombang mikrotremor untuk merambat melewati lapisan endapan sedimen permukaan atau mengalami satu kali pemantulan terhadap bidang pantulnya ke permukaan.

2.2.3 Hubungan Antara Spektrum Mikrotremor Dengan Tingkat Kerusakan

Periode dominan diperlukan sebagai parameter tanah dalam analisis respon gempabumi pada bangunan. Besar periode dominan menunjukkan tingkat risiko pada tiap titik pengukuran, dimana semakin besar nilai periode dominan semakin tinggi risiko akibat gempabumi. Jika periode dominan gempabumi ($T_{gempabumi}$), periode dominan tanah (T_{dom}) dan periode alami bangunan ($T_{bangunan}$) berada pada nilai yang sama, maka akan terjadi resonansi yang memperbesar goyangan pada bangunan. T_{dom} menggambarkan karakteristik lapisan tanah yang identik dengan ketebalan lapisan tanah hingga kedalaman *engineering bedrock* dan profil kecepatan rambat gelombang hingga keberadaan lapisan dengan perubahan kecepatan yang signifikan. Dengan mengetahui periode resonansi dan memanfaatkannya dalam merencanakan bangunan, diharapkan akan dapat mengurangi risiko bahaya gempabumi yang mungkin terjadi pada masa yang akan datang.

2.2.4 Indeks Kerentanan Seismik (K_g)

Indeks kerentanan seismik (K_g) adalah indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempabumi. Menurut Nakamura (2000), indeks kerentanan seismik diperoleh dengan mengkuadratkan nilai puncak spektrum mikrotremor dibagi frekuensi resonansi, yang dirumuskan sebagai :

$$K_g = A^2/f_o$$

dimana :

- K_g = indeks kerentanan seismik,
- A = faktor amplifikasi/puncak spektrum mikrotremor, dan
- f_o = frekuensi resonansi.

Indeks kerentanan seismik berkaitan dengan kondisi geomorfologis. Hasil survei Nakamura *et al.* (2000) di Kobe, Jepang menunjukkan bahwa indeks kerentanan seismik tinggi terdapat di daerah pesisir yang tersusun oleh material alluvium. Gurler *et al.* (2000) dalam surveinya di Meksiko City menemukan fakta bahwa indeks kerentanan seismik tinggi tersebar di zona bekas rawa dan daerah reklamasi, sedangkan di daerah transisi (antara daerah alluvium dan perbukitan) menunjukkan nilai indeks kerentanan seismik yang relatif rendah, selanjutnya pada kawasan perbukitan, indeks kerentanan seismik menunjukkan nilai sangat rendah. Dalam survei di distrik Marina, San Fransisco, Nakamura (2008) juga menemukan adanya hubungan antara indeks kerentanan seismik dengan kondisi geomorfologis.

2.2.5 Interpretasi Regang Geser Tanah (*Ground Shear - Strain*)

Menurut Nakamura (2000), Nakamura, *et al.* (2000), dan Nakamura (2007) nilai *ground shear strain* pada lapisan tanah permukaan menggambarkan kemampuan material lapisan tanah untuk saling meregang atau bergeser saat terjadi gempabumi. Untuk menghitung *ground shear strain* lapisan tanah di permukaan pada suatu tempat dengan mengalikan antara indeks kerentanan seismik dengan percepatan di batuan dasar. Nilai percepatan batuan dasar mengacu kepada Peta Sumber Gempabumi Baru Tahun 2017 periode 1000 tahun (0,25 g) dan 2500 tahun (0,4 g).

$$\gamma = K_g \times a$$

dimana :

γ = Ground Shear Strain

K_g = Indeks Kerentanan Seismik

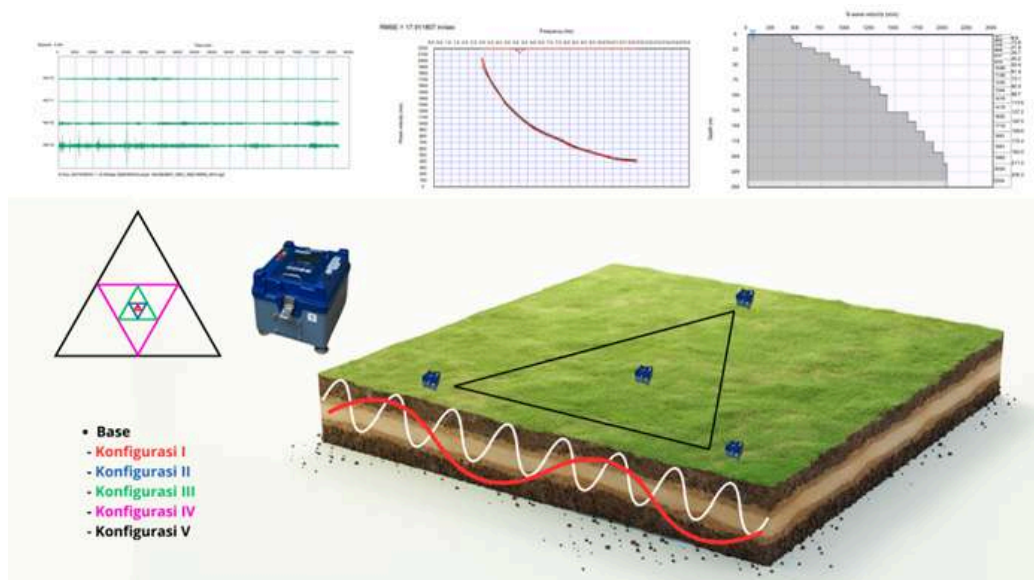
a = Percepatan tanah di batuan dasar (Bedrock)

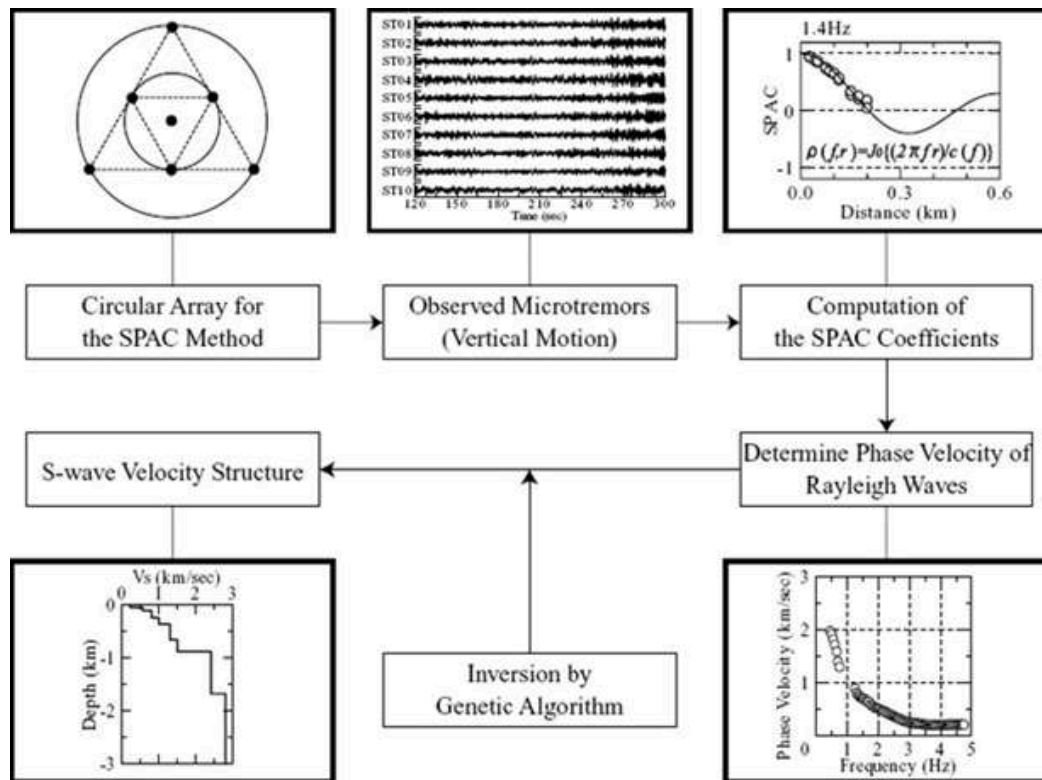
Interpretasi Ishihara (1996) menyusun hubungan antara *ground shear strain* akan menyebabkan lapisan tanah mudah mengalami deformasi, seperti rekahan tanah, penurunan tanah, likuifaksi dan longsoran. Sebaliknya semakin kecil *ground shear strain* menunjukkan lapisan tanah semakin kokoh dan sulit terjadi deformasi.

2.2.6 *Spatial Auto-Correlation* (SPAC) Analysis

Survei geofisika dengan Mikrotremor *Array* yang menggunakan metode *Spatial Auto-Correlation* (SPAC) didasarkan pada teori perambatan gelombang

permukaan Rayleigh dimana gelombang tersebut dihasilkan dari interaksi gelombang geser dengan lapisan tanah permukaan. Dengan mengukur kecepatan rambat gelombang permukaan Rayleigh maka dapat diperkirakan profil Vs30. Gelombang permukaan Rayleigh memiliki sifat dispersif, dimana kecepatan fase gelombangnya bergantung pada frekuensi gelombang. Gelombang dengan frekuensi tinggi memiliki panjang gelombang yang pendek sehingga akan merambat hingga kedalaman yang dangkal dengan kecepatan rendah. Sebaliknya, gelombang dengan frekuensi rendah memiliki panjang gelombang yang panjang sehingga akan merambat hingga kedalaman yang lebih dalam dengan kecepatan yang lebih tinggi (**Gambar 2-5**).





Gambar 2-5. Konsep pengukuran dan akuisisi data pada survei mikrotremor *Array* (Tim Kerja Seismologi Teknik BMKG, 2025)

Keuntungan dari sifat dispersif ini dimanfaatkan untuk mengidentifikasi ketebalan lapisan yang bersesuaian dengan kecepatan gelombang gesernya. Metode SPAC menggunakan sensor yang memiliki rentang frekuensi yang lebar dan sumber yang digunakan adalah getaran pasif dengan frekuensi yang bervariasi sehingga penetrasi gelombang yang dapat dijangkau menjadi dalam dan dapat menduga kedalaman *engineering bedrock* yang umumnya berada di kedalaman lebih dari 30 meter.

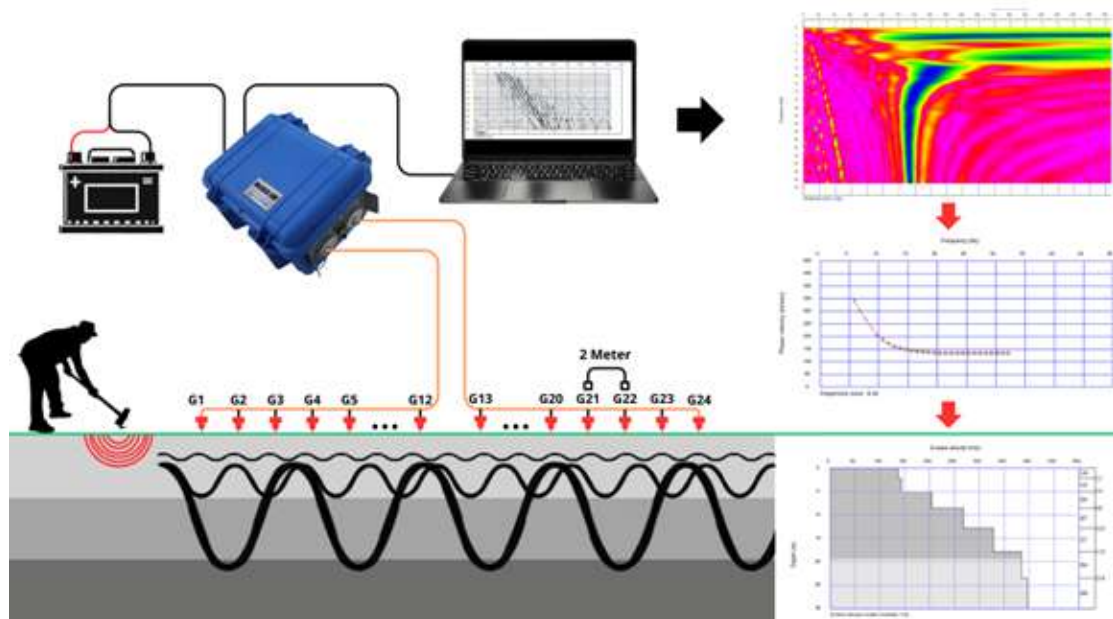
Pada umumnya, metode SPAC menggunakan lima konfigurasi *array* berbentuk segitiga, dengan panjang sisi mulai dari 62.5 meter hingga 1000 meter. Kelima konfigurasi tersebut—yakni konfigurasi 1, 2, 3, 4, dan 5, memiliki jarak antar sensor masing-masing sebesar 62.5 m, 125 m, 250 m, 500 m, dan 1000 m (**Gambar 2-5**). Dalam penelitian ini, selain menerapkan SPAC dengan konfigurasi panjang (~1000 m) untuk memperoleh profil Vs hingga kedalaman dalam, juga dilakukan pengukuran tambahan menggunakan konfigurasi SPAC pendek, yaitu konfigurasi 1, 2, dan 3, dengan jarak antar sensor masing-masing sekitar 20 m, 40 m, dan 60 m.

Pengukuran SPAC pendek dilakukan di lokasi yang berdekatan dengan titik-titik MASW yang memiliki bentangan kurang dari 50 meter. Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk melengkapi keterbatasan kedalaman pada data MASW dan memperoleh profil Vs hingga kedalaman 30 meter melalui integrasi kedua metode.

2.2.7 Multi-Channel Analysis of Surface Waves (MASW)

Kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter (V_{s30}) adalah indikator yang baik untuk menggambarkan karakteristik kekakuan dan kekuatan tanah. Meskipun demikian, pengukuran Vs secara langsung dengan kualitas data yang baik dan biaya operasional yang ekonomis umumnya sulit dilakukan. Konsep dasar survei MASW dalam pengukuran V_{s30} adalah pemanfaatan gelombang permukaan Rayleigh atau biasa disebut *ground roll* yang bersifat dispersif.

Pengukuran V_{s30} dilakukan melalui survei geofisika lapangan menggunakan metode *Multichannel Analysis of Surface Wave* (MASW). Prinsip survei MASW didasarkan pada teori perambatan gelombang permukaan Rayleigh dimana gelombang tersebut dihasilkan dari interaksi gelombang geser dengan lapisan tanah permukaan. Dengan mengukur kecepatan rambat gelombang permukaan Rayleigh maka dapat diperkirakan profil V_{s30} . Gelombang permukaan Rayleigh memiliki sifat dispersif, dimana kecepatan fase gelombangnya bergantung pada frekuensi gelombang. Gelombang dengan frekuensi tinggi memiliki panjang gelombang yang pendek sehingga akan merambat hingga kedalaman yang dangkal dengan kecepatan rendah. Sebaliknya, gelombang dengan frekuensi rendah memiliki panjang gelombang yang panjang sehingga akan merambat hingga kedalaman yang lebih dalam dengan kecepatan yang lebih tinggi. Keuntungan dari sifat dispersif ini dimanfaatkan untuk mengidentifikasi ketebalan lapisan yang bersesuaian dengan kecepatan gelombang gesernya sehingga dapat diperoleh profil V_{s30} , sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 2-6.** berikut, yang menunjukkan dispersi gelombang permukaan Rayleigh yang dijadikan dasar dalam survei MASW.



Gambar 2-6. Peralatan dan pengolahan data yang digunakan pada metode survei MASW (Tim Kerja Seismologi Teknik BMKG, 2025)

2.2.8 *Shakemap Scenario*

Prinsip dasar simulasi guncangan gempabumi adalah memodelkan guncangan tanah *Peak Ground Acceleration* (PGA) akibat suatu kejadian gempabumi dengan skenario terburuk pada permukaan tanah. Nilai guncangan tanah kemudian dikorelasikan dengan dampak gempabumi yang dinyatakan dengan parameter intensitas gempabumi dalam skala MMI. Semakin besar nilai PGA semakin besar nilai intensitas MMI. Intensitas MMI kecil umumnya hanya dirasakan oleh manusia saja. Pada intensitas MMI yang lebih besar, dampaknya mulai dirasakan pada benda dan struktur bangunan.

Simulasi guncangan dibuat dengan menggunakan program *Shakemap v.4* yang dikembangkan oleh *United States Geological Survey* (USGS). *Shakemap* adalah sebuah program untuk memperkirakan besarnya guncangan permukaan tanah akibat suatu gempabumi. Dalam pembuatan skenario *shakemap* membutuhkan parameter-parameter pendukung berupa parameter sumber gempabumi yaitu magnitudo, kedalaman, dan geometri bidang sesar.

Dalam simulasi ini, digunakan persamaan prediksi gerakan tanah (*Ground Motion Prediction Equation*) untuk sumber gempabumi *crustal* yaitu Boore-Atkinson

2008, NGA USGS 2008, Campbell-Bozorgnia 2014, NGA West2 2014 dan Chiou-Youngs 2014 West2 dengan pembobotan masing-masing 0.3. GMPE yang digunakan sama dengan GMPE pada kajian DSHA. Sedangkan untuk menentukan faktor amplifikasi masing-masing area yang disimulasikan menggunakan skema klasifikasi yang dikembangkan oleh *National Earthquake Hazards Reduction Program* (NEHRP) dari Amerika Serikat (NEHRP, 1994). Skema klasifikasi ini didasarkan pada kecepatan gelombang geser untuk kedalaman di atas 30 meter (V_{s30}). V_{s30} yang digunakan pada *shakemap* merupakan model yang diperoleh dari kemiringan *slope* topografi. V_{s30} ini digunakan sebagai input GMPE untuk memperkirakan besarnya nilai PGA pada permukaan.

Pada tahap terakhir, untuk mendapatkan intensitas dalam skala MMI digunakan persamaan konversi dari gerakan tanah ke intensitas (*Ground Motion to Intensity Conversion Equation*) dari Worden *et al.* (2010).

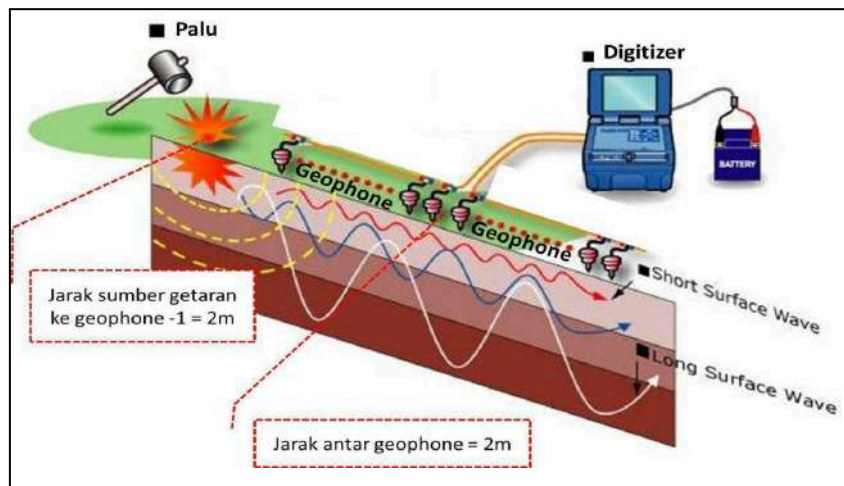
3 METODE SURVEI

3.1 MULTI-CHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE (MASW)

A. Peralatan dan Bahan

Skema peralatan dan *setting* survei MASW dapat dilihat dalam **Gambar 3-1** berikut :

1. Palu 10 kg dan tatakan besi
2. 24 buah sensor geofon dengan frekuensi 4.5Hz
3. Kabel data dan kabel *take-out*
4. *Seismograph* dilengkapi software akuisisi dan analisis data
5. Perangkat komputer : *keyboard*, *mouse*, dan *flashdisk*
6. Sumber daya *accu* 12V 24Ah



Gambar 3-1. Skema peralatan dan *setting* survei MASW.

Dari **Gambar 3-1** dapat dilihat bahwa gelombang permukaan *Rayleigh* dihasilkan dari pukulan palu yang menumbuk tatakan besi. Gelombang yang dihasilkan terdiri dari berbagai frekuensi dan merambat dengan kecepatan dan kedalaman yang bervariasi. Adanya perbedaan kecepatan rambat menyebabkan terjadinya variasi waktu tiba gelombang pada 24 sensor geofon. Setiap sinyal yang diterima oleh geofon selanjutnya diakuisisi dan dikonversi dengan *seismograph* hingga menghasilkan kurva jarak sumber getaran ke tiap sensor geofon dan waktu tiba gelombang di tiap sensor geofon dengan berbagai variasi frekuensi.

B. Teknis Pengambilan Data

Untuk memperoleh rekaman sinyal yang baik, survei MASW dilakukan berdasarkan kriteria berikut :

1. Lokasi survei dipilih pada permukaan tanah dengan kontur relatif datar.
2. 24 sensor geofon dipasang dengan konfigurasi segaris dan lurus dengan jarak antar geofon sepanjang 2 m.
3. Sensor geofon ditancapkan ke tanah hingga sensor stabil dan tidak bergerak.
4. Jarak sumber getaran ke sensor geofon pertama adalah 5 m.
5. Survei dilaksanakan pada situasi relatif tenang dan bebas gangguan getaran akibat lalu lintas atau industri.
6. Pengukuran dilakukan dengan metode *fixed spread / fixed receiver* dimana lokasi sensor geofon tidak berpindah

C. Analisis MASW

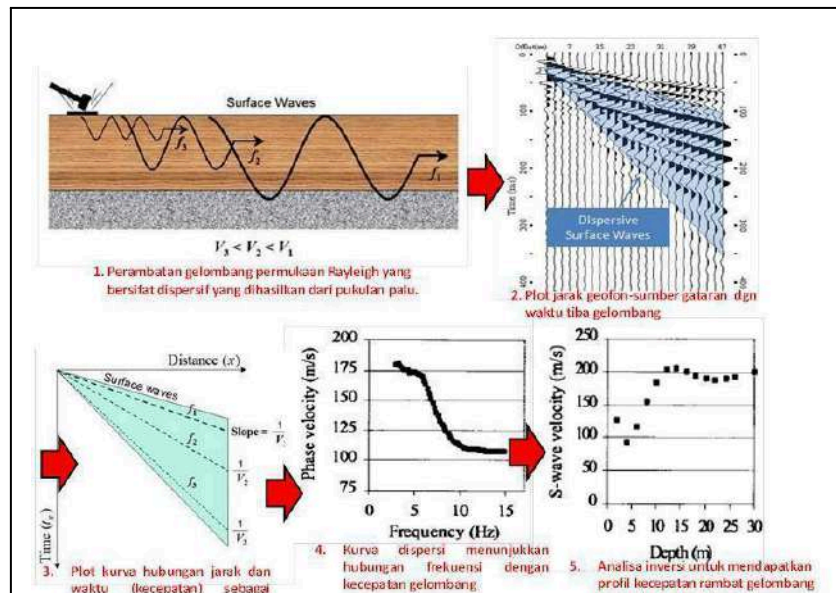
Kurva yang diperoleh dari akuisisi seismograf diplot untuk setiap frekuensi hingga dihasilkan kurva dispersi. Dari kurva dispersi ini kemudian dilakukan analisis inversi untuk memperoleh profil kecepatan rambat gelombang geser terhadap kedalaman. Analisis inversi menggunakan hubungan frekuensi gelombang dan kecepatan rambat gelombang sebagai fungsi dari waktu tiba dan jarak geofon ke sumber getaran untuk memperkirakan ketebalan lapisan tanah. Dengan proses iterasi maka dapat dihasilkan kurva hubungan ketebalan lapisan tanah dengan kecepatan rambat gelombang geser yang menunjukkan nilai Vs30. Analisis data dilakukan dengan bantuan program komputer Pickwin® dan WaveEQ®.

Nilai Vs30 adalah rata-rata kecepatan rambat gelombang geser dihitung dengan pembobotan besaran dengan tebal lapisan tanah sebagai besaran pembobotnya yang dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Vs30 = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m \frac{t_i}{v_{si}}}$$

dimana:

- V_{s30} = kecepatan rambat gelombang geser rata-rata hingga kedalaman 30 meter lapisan tanah teratas
- t_i = tebal pada lapisan i
- v_{si} = kecepatan rambat gelombang geser di lapisan- i



Gambar 3-2. Tahapan akuisisi dan analisis MASW.

Klasifikasi jenis tanah dilakukan berdasarkan rentang nilai V_{s30} yang diperoleh. **Tabel 3-1** berikut menunjukkan klasifikasi jenis tanah mengikuti SNI 03-1726 Tahun 2019 berdasarkan nilai V_{s30} .

Tabel 3- 1. Klasifikasi Jenis Tanah SNI 03-1726-2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2019)

Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	N atau N_{sk}	$\bar{\sigma}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	N atau N_{sk}	$\bar{\sigma}_u$ (kPa)
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40 \%$, 3. Kuat geser niralis $\bar{\sigma}_u < 25$ kPa			
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{\sigma}_u < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

3.2 MIKROTREMOR

Mikrotremor merupakan getaran konstan pada permukaan bumi yang sangat lemah dengan amplitudo antara $10^{-4} - 10^{-2}$ mm. Sumber mikrotremor berasal dari aktivitas manusia seperti aktivitas mesin industri, lalu lintas dan fenomena alam seperti aliran air sungai, angin, variasi tekanan atmosfer, gelombang laut. Sinyal mikrotremor dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik dinamika sedimen permukaan di suatu daerah berdasarkan nilai Periode Dominan (T_{dom}) dari hasil pengolahan sinyal mikrotremor melalui analisis *Horizontal to Vertical Spektral Ratio* (HVSr).

3.2.1 Periode Dominan

A. Peralatan dan Bahan

Survei pengukuran dan analisis data mikrotremor untuk penentuan T_{dom} dilakukan menggunakan peralatan seperti dilihat dalam **Gambar 3-3**:

1. Sensor *Seimograph* (3 komponen)
2. GPS *Antenna*
3. Laptop (dilengkapi *software* analisis data Geopsy)



Gambar 3-3. Peralatan Survei dan Analisis Data Mikrotremor

B. Teknis Pengambilan Data

Untuk memperoleh kualitas rekaman mikrotremor yang baik, maka survei dilakukan berdasarkan kriteria berikut :

1. Lokasi survei dipilih pada permukaan tanah dengan kontur relatif datar dan permukaannya relatif padat/keras. Apabila tidak ditemukan permukaan padat/keras, sensor dapat diletakkan di atas plat non logam (batu, keramik) rata.
2. Survei dilaksanakan pada situasi relatif tenang dan bebas pengaruh getaran akibat lalu lintas atau industri.
3. Durasi pengukuran selama minimum 30 menit.
4. Dihindari pengukuran di dekat pohon besar, bangunan tinggi, dan infrastruktur yang dapat menimbulkan getaran seperti genset dan AC.
5. Pengukuran dihentikan jika terjadi hujan.

C. Analisis Periode Dominan

Analisis data hasil survei mikrotremor untuk mendapatkan T_{dom} dilakukan dengan bantuan program komputer Geopsy. Periode dominan tanah diperoleh melalui

analisis HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) yang diperkenalkan oleh Nogoshi dan Igarashi pada tahun 1971 dan dikembangkan oleh Nakamura pada tahun 1989. Dalam analisis dilakukan proses *windowing*, *filtering* dan *smoothing* dengan kriteria menyesuaikan mikrotremor yang terekam.

3.2.2 Indeks Kerentanan Seismik

Indeks kerentanan seismik (Kg) adalah indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempabumi. Setelah parameter pengukuran T_{dom} diperoleh dari analisis HVSR, selanjutnya indeks kerentanan seismik diperoleh dengan mengkuadratkan nilai puncak spektrum mikrotremor dibagi dengan frekuensi resonansi, yang dirumuskan sebagai :

$$Kg = A^2/fo$$

Dimana :

- Kg = indeks kerentanan seismik,
- A = faktor amplifikasi/puncak spektrum mikrotremor, dan
- fo = frekuensi resonansi.

3.2.3 Interpretasi Regang Geser Tanah (*Ground Shear Strain*)

Nilai *ground shear strain* pada lapisan tanah permukaan menggambarkan kemampuan material lapisan tanah untuk saling meregang atau bergeser saat terjadi gempabumi. Untuk menghitung *ground shear strain* lapisan tanah di permukaan pada suatu tempat dengan mengalikan antara indeks kerentanan seismik dengan percepatan di batuan dasar, untuk nilai percepatan batuan dasar berdasarkan Peta Sumber Gempabumi Baru Tahun 2017 periode 1000 tahun (0.25 g) dan 2500 tahun (0.4 g).

$$\gamma = Kg \times a$$

Dimana :

- γ = *Ground Shear Strain*
- Kg = Indeks Kerentanan Seismik
- a = Percepatan tanah di batuan dasar (*Bedrock*)

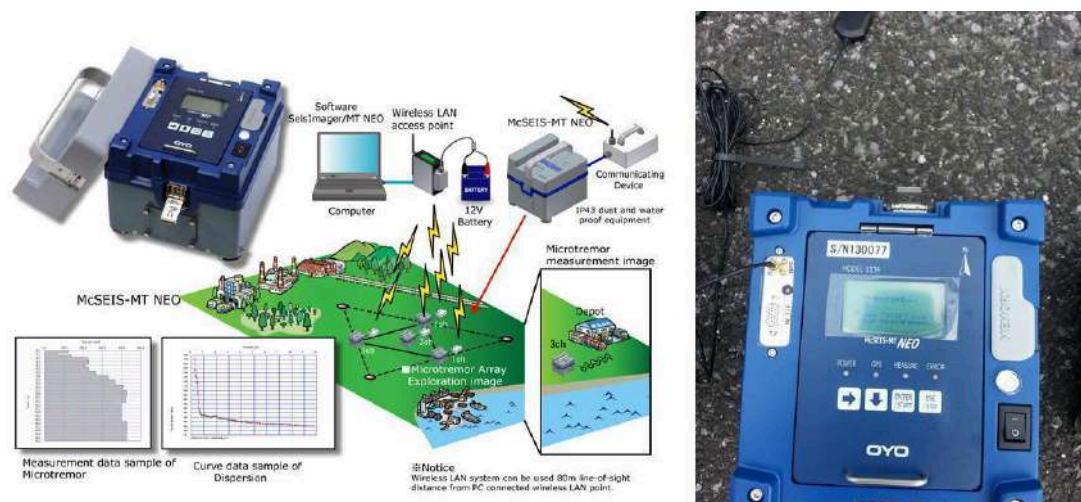
3.2.4 Mikrotremor Array

A. Peralatan dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam survei MA meliputi :

1. 4 buah *accelerograph* (*accelerometer* dan *digitizer* terintegrasi)
2. 4 buah *accu* 12V 7.2Ah
3. 4 buah kabel GPS
4. Laptop

Skema peralatan dan *setting* survei Mikrotremor Array dapat dilihat dalam **Gambar 3-4** berikut.



Gambar 3-4. Skema peralatan dan *setting* survei Mikrotremor Array.

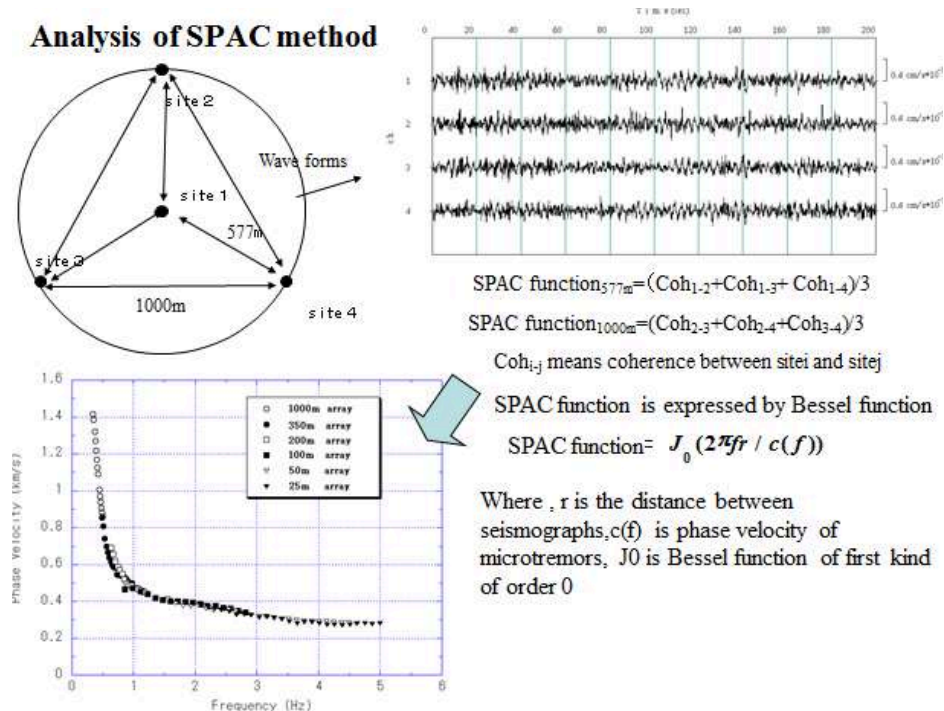
B. Teknis Pengambilan Data

Untuk mendapatkan kurva dispersi dengan resolusi yang baik, maka pengambilan data perlu diambil beberapa kali dengan interval konfigurasi sensor tertentu. Dalam satu lokasi dapat dilakukan pengambilan data sebanyak 5 kali konfigurasi. Penentuan interval konfigurasi mengikuti estimasi awal kedalaman *engineering bedrock* yang biasanya diketahui melalui justifikasi geologi. Umumnya kedalaman *engineering bedrock* (h) berada pada $0.7 \times \text{interval konfigurasi array terbesar (d)}$. Sebagai contoh, apabila diperkirakan kedalaman *engineering bedrock* pada 700 m dari permukaan, maka interval konfigurasi *array* di set pada jarak 1000 m antar sensor (d). Secara rinci, kriteria survei Mikrotremor Array sebagai berikut :

1. Tentukan konfigurasi *interval* terbesar (d) yang sesuai dengan dugaan awal kedalaman *engineering bedrock* (h) mengikuti kaidah $h = 0.7 \times d$.
2. Tentukan konfigurasi *interval* ke 2 hingga ke 5 mengikuti kaidah $d/2$, $d/4$, $d/8$, dan $d/16$.
3. Jika lokasi penempatan sensor tidak kondusif, seperti misalnya medan berair atau di tengah jalan, sensor dapat direlokasi dengan batas toleransi 0.1 kali jarak *interval* yang bersesuaian.
4. Letakkan sensor pada lokasi yang memungkinkan mendapat sinyal gps untuk melakukan sinkronisasi waktu antar sensor.
5. Letakkan sensor pada permukaan yang datar dan rata.
6. Pengukuran dilakukan selama 60 menit (*netto*).

C. Analisis Mikrotremor *Array*

Analisis kurva dispersi dalam survei Mikrotremor *Array* dilakukan mengikuti metode *Spatial Auto-Correlation* (SPAC). Dalam metode SPAC ini, rekaman getaran gelombang permukaan diperoleh dari konfigurasi (*array*) sensor untuk merekam gelombang mikrotremor. Konfigurasi dibuat secara isotropis, seperti contohnya bentuk segitiga, agar kecepatan fase gelombang dari segala arah untuk membentuk kurva dispersi dapat dihitung (**Gambar 3-5**).



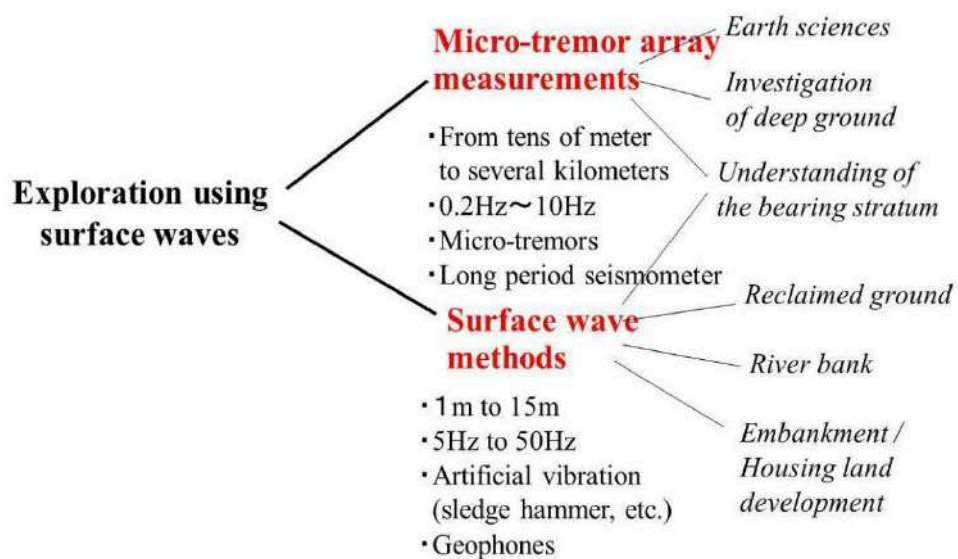
Gambar 3-5. Analisis Metode SPAC dalam Mikrotremor *Array* (Hayashi, 2012).

Langkah-langkah pengolahan data Mikrotremor *Array* meliputi :

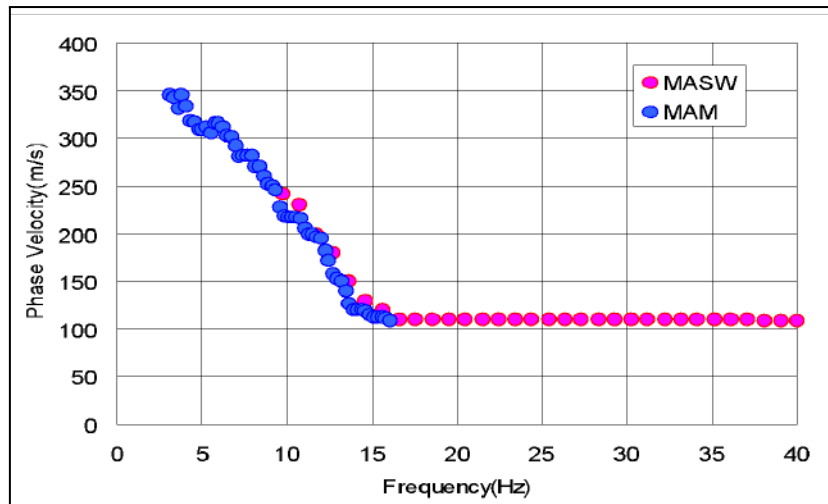
1. Pemilihan desain ukuran segitiga *array* penempatan mikrotremor disesuaikan dengan target profil kedalaman yang diinginkan. Untuk target profil kedalaman yang sangat dalam (*deep layers*) menggunakan data Mikrotremor *Array* dengan bentangan/jarak 1000 m, 500 m dan 250 m. Sedangkan untuk profil kedalaman yang dangkal (*shallow layers*) menggunakan data Mikrotremor *Array* dengan bentangan/jarak 125 m dan 62.5 m.
2. Data rekaman mikrotremor menggunakan *interval sampling* 0.01 detik dan dibagi menjadi beberapa blok sampel, adapun blok sampel yang digunakan dalam pengolahan ini menggunakan 16384 sampel.
3. Data rekaman mikrotremor *Array* yang sudah dibagi beberapa blok dan beberapa desain ukuran segitiga *array* menghasilkan kurva dispersi *phase velocity* (m/s) terhadap Frekuensi (Hz). Selanjutnya penggabungan kurva dispersi untuk model lapisan dangkal (*shallow layer*), menengah sampai dalam (*deep layer*) untuk mengetahui liniasi dari beberapa desain pengukuran Mikrotremor *Array* tersebut.

4. Hasil dari penggabungan kurva dispersi di invers terhadap profil lapisan kedalaman menjadi *phase velocity/Vs* (m/s) terhadap kedalaman (m), dimana *phase velocity* (m/s) sebagai kecepatan gelombang geser yang menggambarkan kondisi lokal geologi (klasifikasi tanah/batuan).
5. Sebagai acuan dari klasifikasi tanah atau *engineering bedrock* menggunakan acuan dari SNI 1726-2019, dimana kecepatan gelombang geser (V_s) lebih besar dari 760 m/s merupakan *engineering bedrock*.
6. *Software* yang digunakan dalam pengolahan ini menggunakan *McSEIS SeisImager* Lisensi produk dari OYO Corporation Jepang.

Karena Mikrotremor *Array* efektif untuk pendugaan kecepatan rambat pada penetrasi dalam (lebih dari 50 m), sedangkan metode MASW efektif untuk kedalaman kurang dari 30 m, maka gabungan survei Mikrotremor *Array* dan MASW efektif untuk memberikan informasi profil kecepatan rambat gelombang geser dari permukaan hingga kedalaman *engineering bedrock* yang terletak lebih dari 30 m (Gambar 3-6).

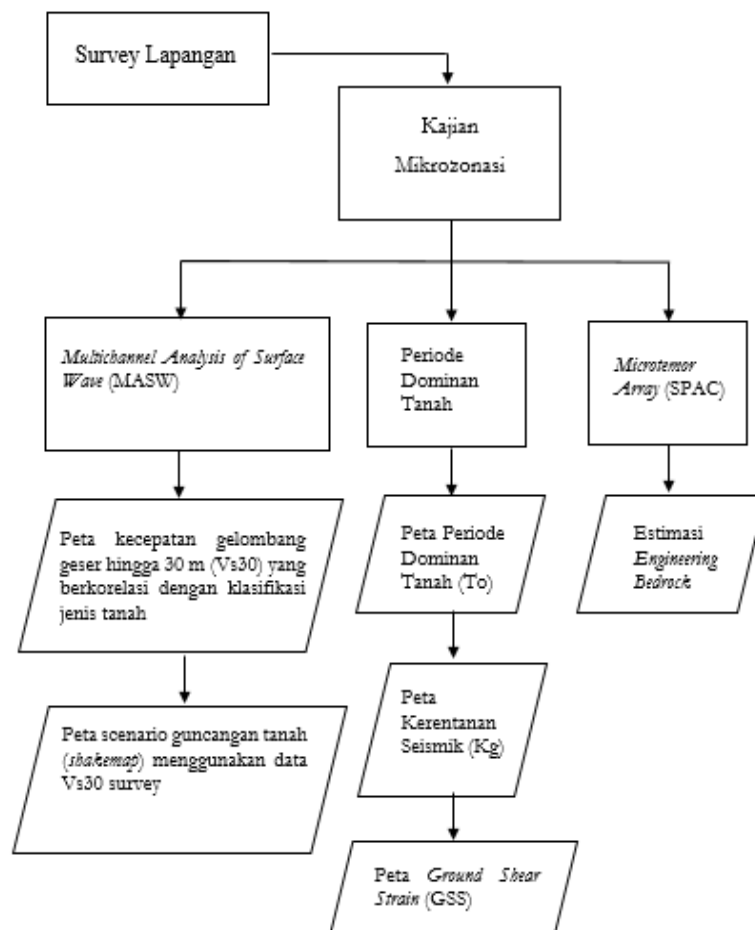


Gambar 3-6. Perbandingan Karakteristik dan Aplikasi Survei Mikrotremor *Array* dan Survei MASW (Hayashi, 2011).



Gambar 3- 7. Kurva dispersi gabungan survei MA dan MASW memberikan kurva dispersi yang komprehensif pada rentang frekuensi yang besar (Hayashi, 2011).

3.3 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

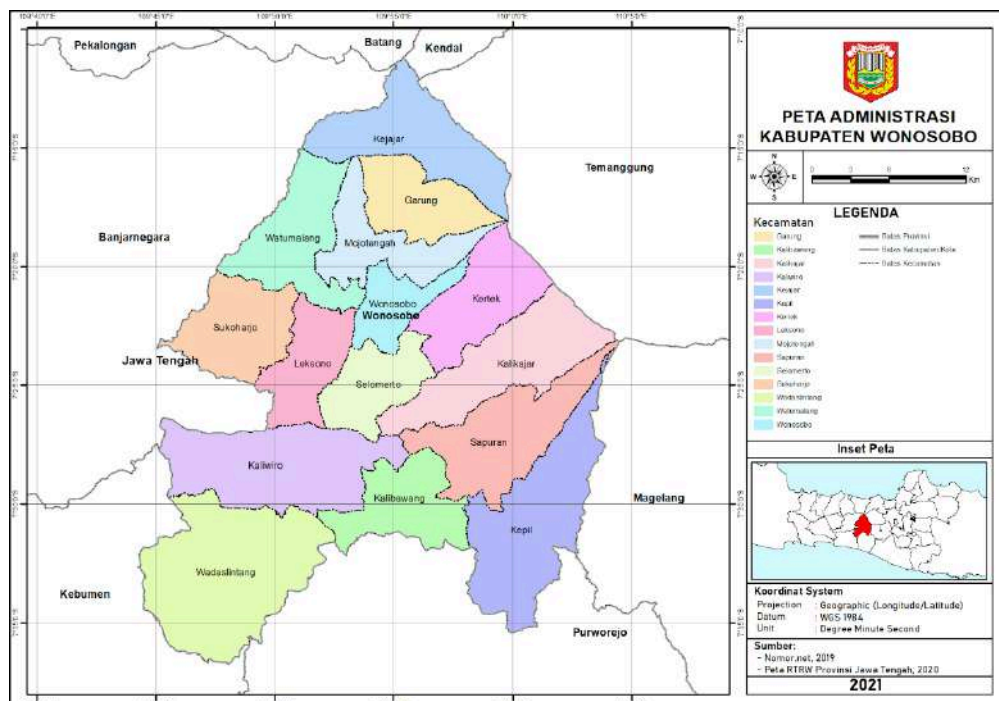


Gambar 3-8. Diagram alir Penelitian.

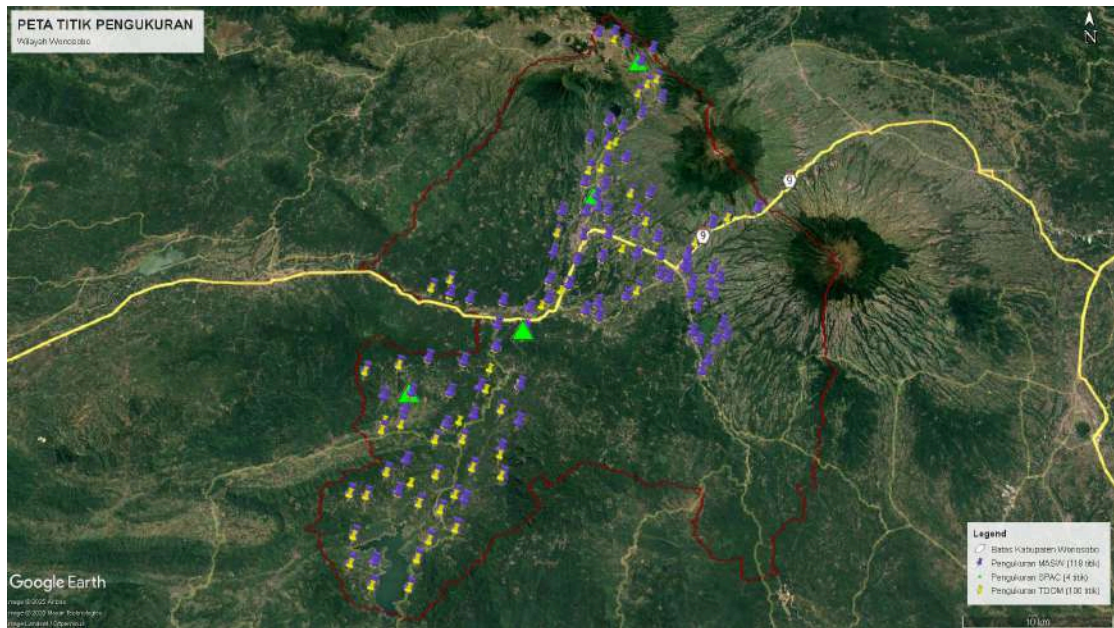
3.4 LOKASI SURVEI

Kajian Kerentanan Seismik tahun 2025, dilaksanakan di Kabupaten Wonosobo, Provinsi Jawa Tengah. Kabupaten Wonosobo merupakan salah satu wilayah dengan tingkat resiko tinggi terdampak bencana gempa bumi, karena Kabupaten Wonosobo merupakan salah satu wilayah yang lokasinya dekat dengan zona subduksi lempeng tektonik aktif yaitu Zona Subduksi Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia, di selatan pulau Jawa, selain itu terdapat juga manifestasi sesar aktif di sekitar wilayah Kabupaten Wonosobo yaitu Sesar Baribis Kendeng Segmen Weleri. Secara historis, wilayah Kabupaten Wonosobo juga pernah mengalami guncangan tanah yang hebat akibat gempa bumi pada bulan November dan Desember tahun 1924 yang mengakibatkan ratusan korban jiwa dan ribuan kerusakan pada infrastruktur bangunan.

Pada kegiatan Kerentanan Seismik Kabupaten Wonosobo tahun 2025, telah dilaksanakan survei pengukuran MASW di 117 lokasi, pengukuran Mikrotremor *Array* di 4 lokasi, dan pengukuran Periode Dominan Tanah di 100 lokasi yang tersebar di Kabupaten Wonosobo. **Gambar 3-10** berikut menunjukkan peta lokasi survei T_{dom} , MASW dan Mikrotremor *Array* di Kabupaten Wonosobo, Jawa Tengah.



Gambar 3-9. Peta administrasi Kabupaten Wonosobo.



Gambar 3-10. Desain survei lokasi pengukuran MASW, Periode Dominan, dan Mikrotremor *Array*.

4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 *MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MASW)*

A. Kegiatan Pengukuran

Pekerjaan survei pengukuran kecepatan rata - rata gelombang geser hingga 30 meter (V_{s30}) di wilayah Kabupaten Wonosobo dilaksanakan dengan metode *Multi Channel Analysis of Surface Waves* (MASW). Kegiatan pengukuran dimulai dari tanggal 30 Juni hingga 15 November 2025, dilaksanakan oleh 5 tim dengan anggota sebanyak 4 personel pegawai BMKG Pusat dengan didampingi pegawai stasiun Geofisika kelas III Banjarnegara bersama BPBD Kabupaten Wonosobo. Titik pengukuran tersebar di wilayah Kabupaten Wonosobo.

Survei pengukuran MASW dilaksanakan dengan jumlah total 118 titik pengukuran yang tersebar di wilayah Kabupaten Wonosobo (**Gambar 3-10**). Pada pelaksanaan pengukurannya terdapat beberapa perubahan, diantaranya lokasi titik yang bergeser dikarenakan sulitnya medan untuk mencapai titik rencana, adanya hambatan dalam pengukuran dan juga penggantian lokasi yang tidak dapat dijangkau. Berikut dokumentasi lokasi (**Gambar 4-1**) dan jumlah titik tiap tim pengukuran:

1. Tim 1 (30 Juni - 05 Juli 2025)
Jumlah lokasi yang terukur sebanyak 22 titik pengukuran.
2. Tim 2 (14 – 20 Juli 2025)
Jumlah lokasi yang terukur sebanyak 38 titik pengukuran.
3. Tim 3 (29 Juli – 04 Agustus 2025)
Jumlah lokasi yang terukur sebanyak 30 titik pengukuran.
4. Tim 4 (08 – 14 September 2025)
Jumlah lokasi yang terukur sebanyak 10 titik pengukuran.
5. Tim 5 (10 - 15 November 2025)
Jumlah lokasi yang terukur sebanyak 18 titik pengukuran.



Gambar 4-1. Dokumentasi pelaksanaan pengukuran MASW

B. Analisis MASW

Hasil pengukuran 118 titik pengukuran MASW di Kabupaten Wonosobo, menghasilkan data berupa nilai kecepatan gelombang geser rata - rata hingga kedalaman 30 meter (V_{s30}) pada setiap titik pengukuran. Selanjutnya data – data

tersebut diinterpolasi untuk mendapatkan peta kontur nilai Vs30 di Kabupaten Wonosobo.

SNI 1726 : 2019 mengklasifikasikan jenis tanah berdasarkan nilai Vs30. Jenis tanah diklasifikasikan dengan nilai Vs kurang dari 175 m/s sebagai tanah lunak (SE), nilai Vs diantara 175 m/s sampai dengan 350 m/s merupakan tanah sedang (SD), nilai Vs lebih dari 350 m/s hingga 750 m/s merupakan tanah keras atau batuan lunak (SC), nilai Vs lebih dari 750 m/s hingga 1500 m/s merupakan batuan (SB) serta untuk nilai Vs lebih dari 1500 m/s merupakan batuan keras (SA).

Hasil analisis data survei *Multichannel Analysis of Surface Wave* (MASW) pada 118 titik pengukuran menghasilkan nilai kecepatan gelombang geser rata - rata hingga kedalaman 30 meter (Vs30) bervariasi antara 178.90 m/s hingga 756.43 m/s. Tabel sebaran nilai Vs30 Kabupaten Wonosobo, disajikan dalam **Tabel 4-1**.

Tabel 4-1. Tabel hasil pengolahan MASW.

No	Lokasi		Koordinat		Vs30m/s	Site Class
	TIM	Kode	Lat	Long		
1	TIM 1	WNS 47	-7.40674	109.889980	196.56	D
2	TIM 1	WNS 35	-7.38931	109.895610	210.22	D
3	TIM 1	WNS 48	7.40329	109.877120	217.78	D
4	TIM 1	WNS 32	-7.37163	109.899850	197.55	D
5	TIM 1	WNS 25	-7.35369	109.902210	202.02	D
6	TIM 1	WNS 01	-7.21034	109.912340	199.37	D
7	TIM 1	WNS 02	-7.20996	109.923990	313.02	D
8	TIM 1	WNS 03	-7.21802	109.932330	407.59	C
9	TIM 1	WNS 04	-7.22351	109.951700	187.33	D
10	TIM 1	WNS 05	-7.23423	109.942780	588.28	C
11	TIM 1	WNS 10	-7.27754	109.942470	306.14	D
12	TIM 1	WNS 07	-7.25236	109.946840	238.60	D
13	TIM 1	WNS 14	-7.29815	109.917630	621.10	C
14	TIM 1	WNS 06	-7.24825	109.954490	291.93	D
15	TIM 1	WNS 12	-7.28853	109.928160	426.95	C
16	TIM 1	WNS 08	-7.26016	109.940350	247.61	D
17	TIM 1	WNS 09	-7.26437	109.957080	417.82	C
18	TIM 1	WNS 11	-7.28291	109.918720	252.84	D
19	TIM 1	WNS 13	-7.35329	109.885240	360.98	C
20	TIM 1	WNS 15	-7.29705	109.905230	232.18	D
21	TIM 1	WNS 17	-7.31545	109.916903	465.27	C
22	TIM 1	WNS 18	-7.31302	109.930007	694.46	C

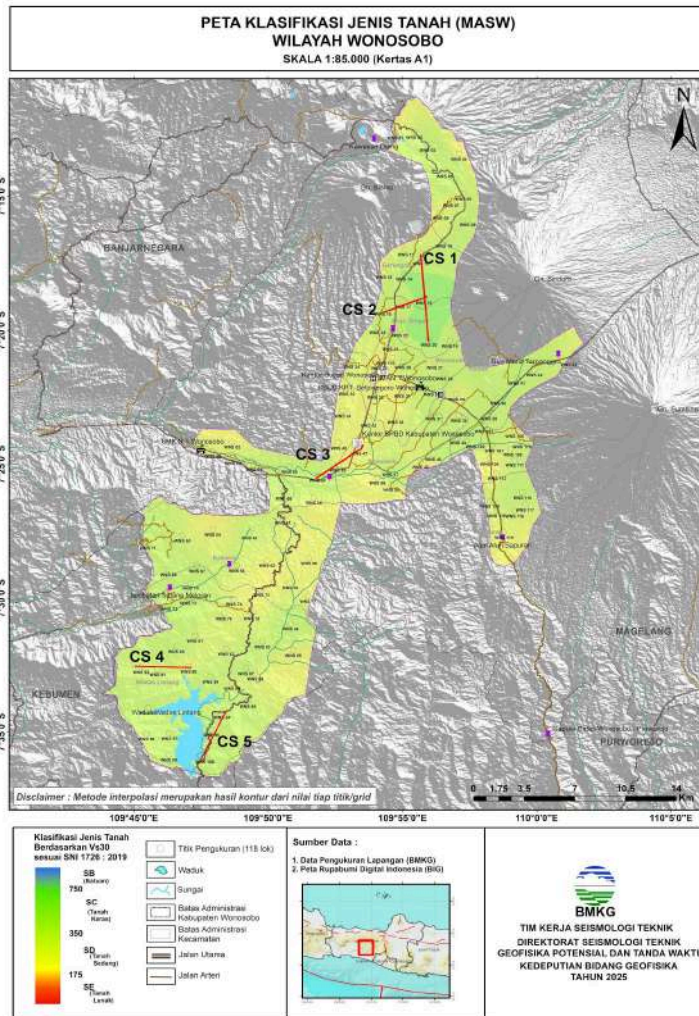
23	TIM 2	WNS 16	-7.31997	109.904683	502.97	C
24	TIM 2	WNS 19	-7.33983	109.946080	372.57	C
25	TIM 2	WNS 20	-7.33903	109.933124	756.43	B
26	TIM 2	WNS 21	-7.34164	109.909240	271.08	D
27	TIM 2	WNS 22	-7.33309	109.915178	550.55	C
28	TIM 2	WNS 23	-7.33143	109.901206	354.53	D
29	TIM 2	WNS 24	-7.35277	109.885116	238.14	D
30	TIM 2	WNS 26	-7.35311	109.916940	370.56	C
31	TIM 2	WNS 27	-7.35331	109.936686	257.62	D
32	TIM 2	WNS 28	-7.36023	109.942770	386.86	C
33	TIM 2	WNS 29	-7.37302	109.950121	234.37	D
34	TIM 2	WNS 30	-7.36994	109.934785	431.81	C
35	TIM 2	WNS 31	-7.37093	109.916608	229.69	D
36	TIM 2	WNS 33	-7.36962	109.882190	222.57	D
37	TIM 2	WNS 34	-7.38347	109.879716	234.86	D
38	TIM 2	WNS 36	-7.38718	109.912492	239.80	D
39	TIM 2	WNS 37	-7.38504	109.935941	368.61	C
40	TIM 2	WNS 38	-7.38624	109.951652	318.18	D
41	TIM 2	WNS 39	-7.38501	109.970345	527.03	C
42	TIM 2	WNS 40	-7.37550	109.976011	477.23	C
43	TIM 2	WNS 41	-7.36286	109.987780	532.42	C
44	TIM 2	WNS 42	-7.35785	109.998498	405.61	C
45	TIM 2	WNS 43	-7.35131	110.019870	253.03	D
46	TIM 2	WNS 44	-7.40006	109.951156	480.18	C
47	TIM 2	WNS 45	-7.41026	109.935714	300.10	D
48	TIM 2	WNS 46	-7.41516	109.927808	199.86	D
49	TIM 2	WNS 49	-7.40831	109.798960	224.04	D
50	TIM 2	WNS 50	-7.41279	109.811540	284.57	D
51	TIM 2	WNS 51	-7.41663	109.824631	340.34	D
52	TIM 2	WNS 52	-7.40257	109.811090	184.51	D
53	TIM 2	WNS 53	-7.41814	109.846540	364.97	C
54	TIM 2	WNS 54	-7.42340	109.864087	595.09	C
55	TIM 2	WNS 55	-7.41697	109.876564	232.43	D
56	TIM 2	WNS 56	-7.42499	109.901071	196.45	D
57	TIM 2	WNS 57	-7.41983	109.909060	392.37	C
58	TIM 2	WNS 58	-7.42932	109.909648	284.59	D
59	TIM 2	WNS 59	-7.43739	109.861702	234.24	D
60	TIM 2	WNS 60	-7.43462	109.843082	331.89	D
61	TIM 3	WNS 100	-7.59851	109.794075	417.82	C
62	TIM 3	WNS 96	-7.58186	109.798170	305.05	D
63	TIM 3	WNS 94	-7.57099	109.804856	400.34	C
64	TIM 3	WNS 95	-7.56411	109.820794	331.32	D

65	TIM 3	WNS 88	-7.55291	109.810934	250.37	D
66	TIM 3	WNS 87	-7.54366	109.819588	483.70	C
67	TIM 3	WNS 86	-7.54706	109.825487	219.55	D
68	TIM 3	WNS 82	-7.53152	109.807304	290.66	D
69	TIM 3	WNS 99	-7.59732	109.771752	365.20	C
70	TIM 3	WNS 97	-7.58415	109.772126	506.50	C
71	TIM 3	WNS 98	-7.58434	109.757925	293.24	D
72	TIM 3	WNS 93	-7.56823	109.758791	453.76	C
73	TIM 3	WNS 92	-7.54284	109.754548	311.17	D
74	TIM 3	WNS 91	-7.54424	109.764834	309.91	D
75	TIM 3	WNS 90	-7.54242	109.784107	233.94	D
76	TIM 3	WNS 89	-7.54884	109.797640	420.64	C
77	TIM 3	WNS 80	-7.52996	109.776431	433.39	C
78	TIM 3	WNS 83	-7.52702	109.829823	321.99	D
79	TIM 3	WNS 78	-7.50946	109.823193	218.99	D
80	TIM 3	WNS 79	-7.50956	109.805866	287.58	D
81	TIM 3	WNS 73	-7.49991	109.783868	365.56	C
82	TIM 3	WNS 72	-7.50339	109.771881	448.56	C
83	TIM 3	WNS 76	-7.49029	109.847050	209.32	D
84	TIM 3	WNS 66	-7.48203	109.771506	351.72	D
85	TIM 3	WNS 65	-7.46108	109.780236	295.47	D
86	TIM 3	WNS 64	-7.45714	109.798940	162.56	E
87	TIM 3	WNS 67	-7.47985	109.789267	352.88	D
88	TIM 3	WNS 68	-7.47965	109.813873	285.74	D
89	TIM 3	WNS 63	-7.45927	109.821802	324.89	D
90	TIM 3	WNS 69	-7.47501	109.858739	219.88	D
91	TIM 4	WNS 61	-7.44974	109.842453	265.70	D
92	TIM 4	WNS 62	-7.47646	109.832755	202.80	D
93	TIM 4	WNS 70	-7.49056	109.785278	379.60	C
94	TIM 4	WNS 71	-7.46545	109.758765	493.30	C
95	TIM 4	WNS 74	-7.50048	109.812133	232.20	C
96	TIM 4	WNS 75	-7.49474	109.829333	178.90	D
97	TIM 4	WNS 77	-7.49881	109.858116	245.20	D
98	TIM 4	WNS 81	-7.52333	109.787893	300.00	D
99	TIM 4	WNS 84	-7.51588	109.847320	424.90	C
100	TIM 4	WNS 85	-7.53247	109.848998	232.90	D
101	TIM 5	WNS 119	-7.458974	109.979709	226.50	D
102	TIM 5	WNS 118	-7.445759	109.986009	300.20	D
103	TIM 5	WNS 117	-7.441794	109.992755	273.70	D
104	TIM 5	WNS 116	-7.43421	109.991124	516.30	C
105	TIM 5	WNS 115	-7.445523	109.974907	307.80	D
106	TIM 5	WNS 114	-7.439503	109.970960	330.40	D

Secara umum, hasil dari pengukuran nilai Vs30 di Kabupaten Wonosobo menggunakan metode *Multichannel Analysis of Surface Waves* menunjukkan dominasi tanah sedang (SD) di sebagian besar Kabupaten Wonosobo dengan nilai Vs30 termasuk dalam rentang 175 m/s hingga 350 m/s. Wilayah yang memiliki indikasi tanah sedang (SD) ini meliputi kawasan pusat pemerintahan Kabupaten Wonosobo, sebagian besar Kecamatan Kaliwiro hingga bagian barat Kecamatan Wadaslintang, dan beberapa titik di utara Kabupaten Wonosobo yang ditunjukkan oleh warna kuning pada **Gambar 4-2**.

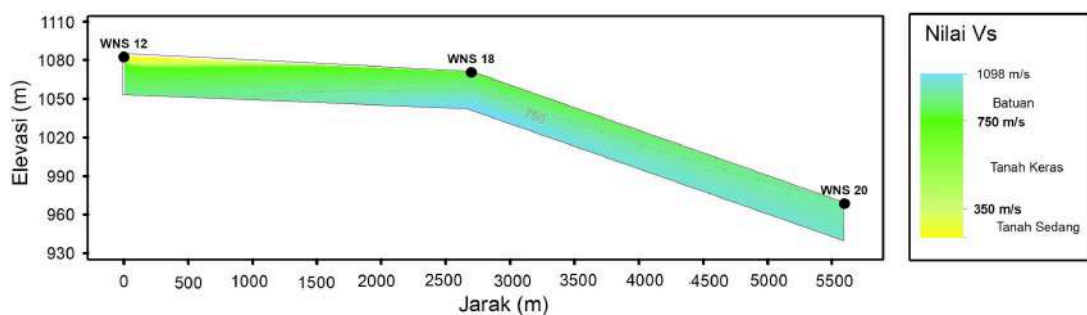
Indikasi klasifikasi tanah keras (SC) yang memiliki rentang nilai Vs30 antara 350 m/s dan 750 m/s yang ditunjukkan oleh warna kehijauan mendominasi wilayah utara dan selatan Kabupaten Wonosobo, dimana untuk wilayah utara berada di sebagian besar Kecamatan Garung dan Kecamatan Mojotengah, sementara untuk wilayah selatan dapat ditemui di sebagian besar Kecamatan Wadaslintang yang berbatasan dengan Kabupaten Kebumen. Klasifikasi jenis tanah ini mengindikasikan kondisi tanah yang lebih padat daripada jenis tanah sedang (SD). Sementara itu, terdapat satu titik pengukuran yang menunjukkan adanya batuan dengan klasifikasi SB di wilayah Kecamatan Mojotengah dengan nilai Vs30 sebesar 756,43 m/s. Meskipun demikian, nilai tersebut masih berada dalam batas bawah untuk klasifikasi batuan.

Untuk melihat karakteristik bawah permukaan berdasarkan parameter Vs30, maka dibuat *cross-section* dengan menarik garis melintang dari beberapa titik pengukuran yang menunjukkan adanya kesesuaian garis lurus (**Gambar 4-3**).

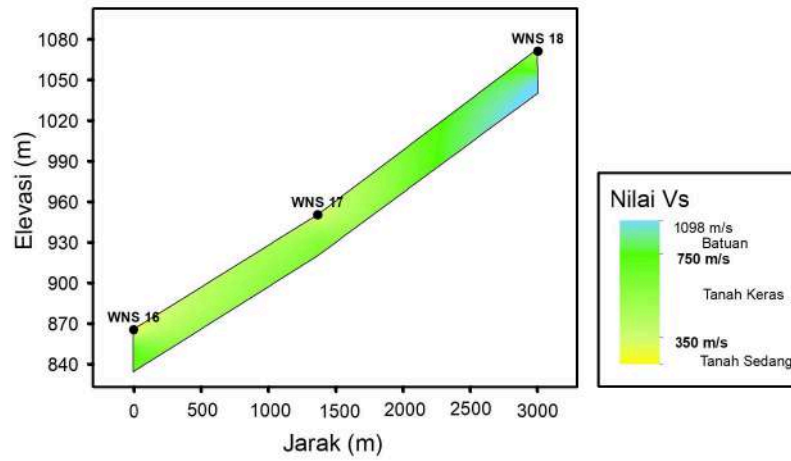


Gambar 4-3. Skema *Cross-section* dari beberapa titik pengukuran MASW.

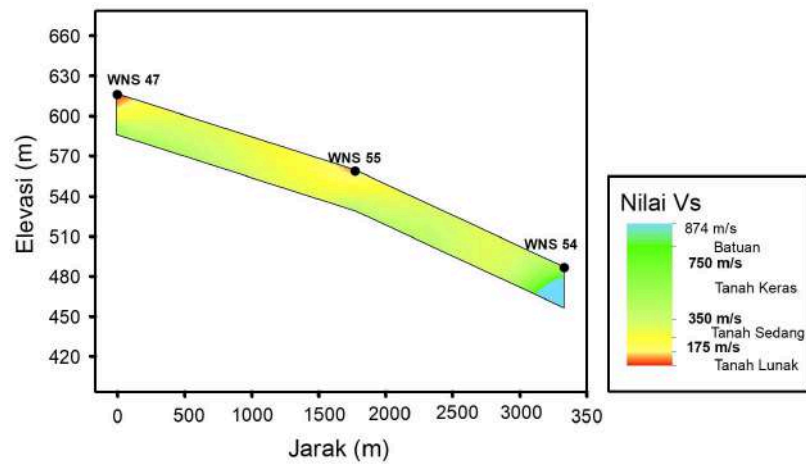
Dari pengukuran MASW ini, maka dibuat 5 *cross-section* dengan pembagian menjadi 8 lapisan kedalaman. Berikut adalah hasil *cross-section* dari titik-titik pengukuran MASW di Kabupaten Wonosobo (**Gambar 4-4**).



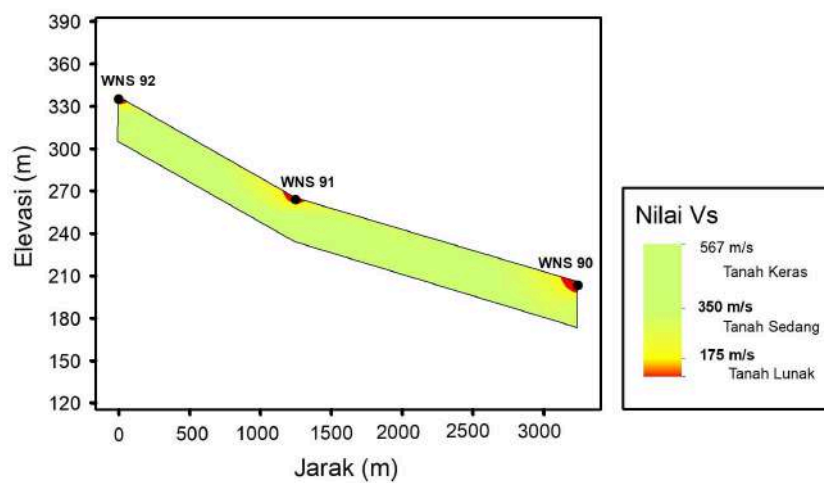
(a)



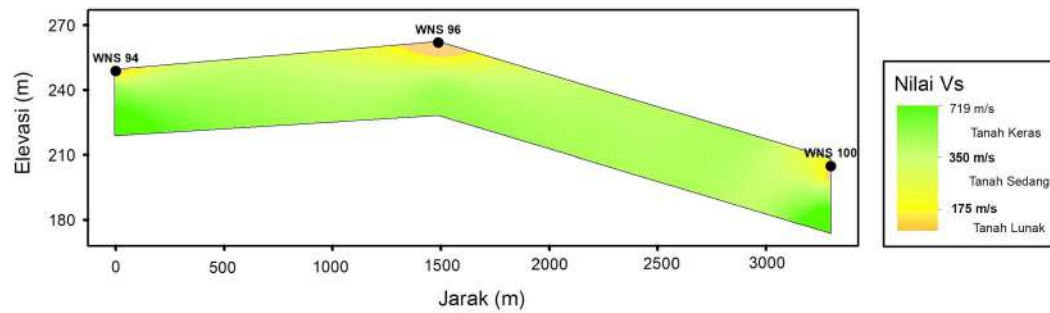
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 4-4. Cross-section dari beberapa titik pengukuran MASW, (a) Cross-section 1; (b) Cross-section 2; (c) Cross-section 3; (c) Cross-section 4; (e) Cross-section 5.

4.2 MIKROTREMOR

4.2.1 Mikrotremor Array

A. Pelaksanaan Survei

Pekerjaan survei penyelidikan kedalaman *engineering bedrock* wilayah Kabupaten Wonosobo, dengan metode *Spatial Auto-Correlation* (SPAC) dari Hayashi (2011) dilaksanakan mulai tanggal 08 September - 14 September 2025 dan dilakukan oleh 1 tim dengan personel sebanyak 8 orang dengan masa kerja 7 hari. Titik pengukuran tersebar dalam wilayah Kabupaten Wonosobo. Berikut dokumentasi lokasi dan informasi hasil analisis setiap titik pengukuran (**Gambar 4-5**).



Gambar 4-5. Dokumentasi survei pengukuran Mikrotremor *Array*.

B. Hasil Pengukuran Mikrotremor *Array*

Dari pengukuran di lapangan dan pengolahan data, maka diperoleh hasil kurva dispersi dan profil kecepatan gelombang geser (V_s) terhadap kedalaman setiap titik.

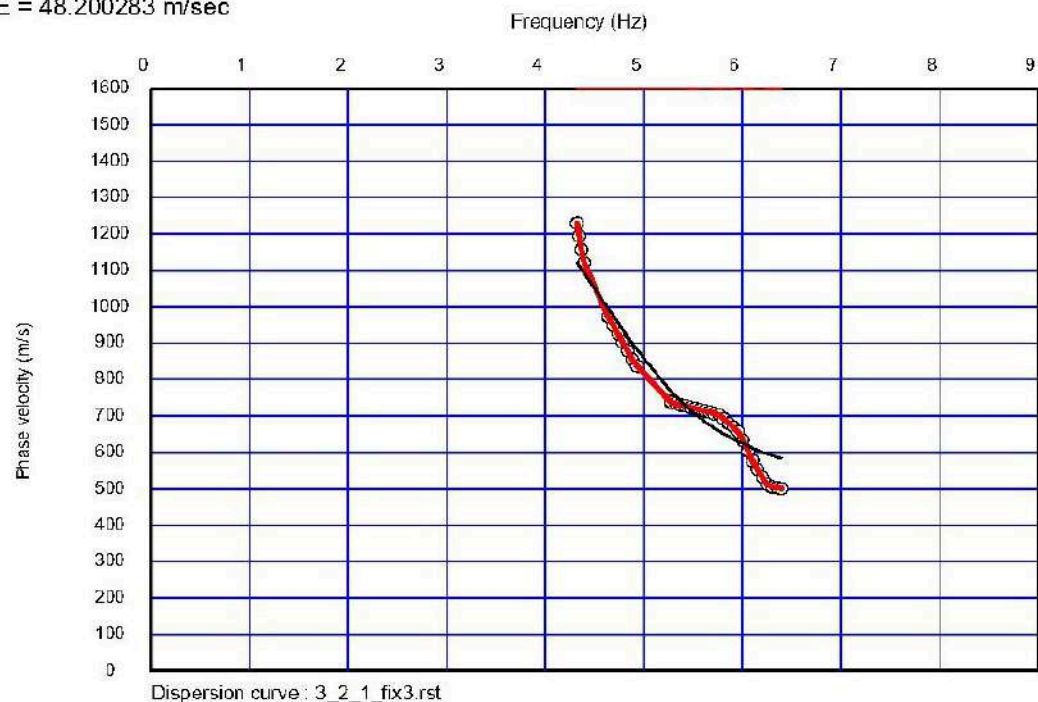
Kurva dispersi menunjukkan hubungan frekuensi terhadap fase kecepatan yang bervariasi yang diakibatkan perbedaan kondisi litologi. Dengan profil kecepatan hingga target kecepatan lebih besar dari 750 m/s yang dianggap sebagai kecepatan di *engineering bedrock*. Dengan hasil tiap titik pengukuran diuraikan sebagai berikut :

1. SPAC 01

Kurva dispersi SPAC 01 menunjukkan hubungan frekuensi dan *phase velocity*, dengan range frekuensi 4 - 6.5 Hz dengan berbagai macam *phase velocity*. Kurva dispersi ini merupakan gabungan dari semua kurva dispersi hasil dari semua konfigurasi. Secara umum kurva dispersi SPAC 01 menunjukkan hubungan semakin besar frekuensi maka semakin kecil *phase velocity*. Dari kurva dispersi ini kemudian dilakukan inversi dengan meminimalkan nilai *misfit* dari *phase velocity* hasil pengukuran dan hasil perhitungan. Kurva dispersi pada SPAC 01 bisa dilihat pada gambar di bawah ini:

Site name :

RMSE = 48.200283 m/sec



Gambar 4-6. Kurva dispersi SPAC 01.

Phase velocity dan ketebalan lapisan merupakan parameter yang harus dihitung. Model awal kecepatan dan ketebalan digunakan sebagai parameter apriori yang kemudian dilakukan proses inversi untuk mendapatkan model yang paling cocok

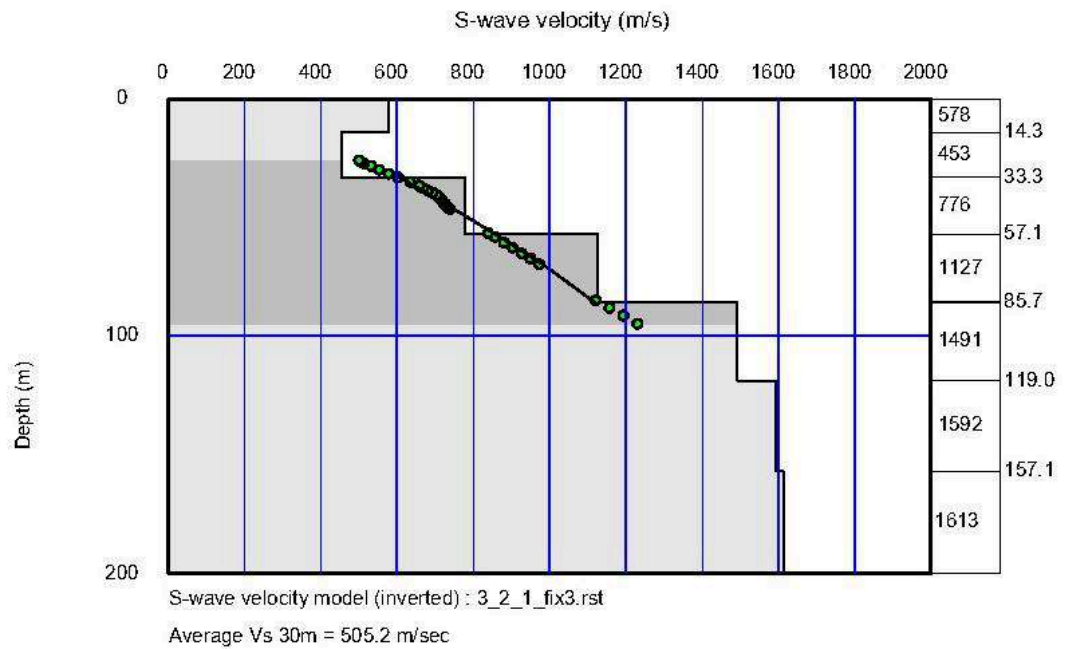
atau paling kecil *misfit*-nya. Dari hasil pengolahan tersebut didapat parameter kecepatan gelombang geser dan ketebalan lapisan yang bisa dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4-2. Frekuensi pada kurva dispersi pada SPAC 01.

No	Kecepatan Gelombang (Vs)	Kedalaman
1	578	0 – 14.3
2	453	14.3 – 33.3
3	776	33.3 - 57.1
4	1127	57.1 - 85.7
5	1491	85.7 - 119
6	1592	119 - 157.1

Sehingga kedalaman batuan dasar pada *site* SPAC 1 adalah \pm 33.3 meter. Grafik profil kecepatan gelombang geser (Vs) terhadap kedalaman bisa dilihat pada gambar di bawah ini:

Site name :



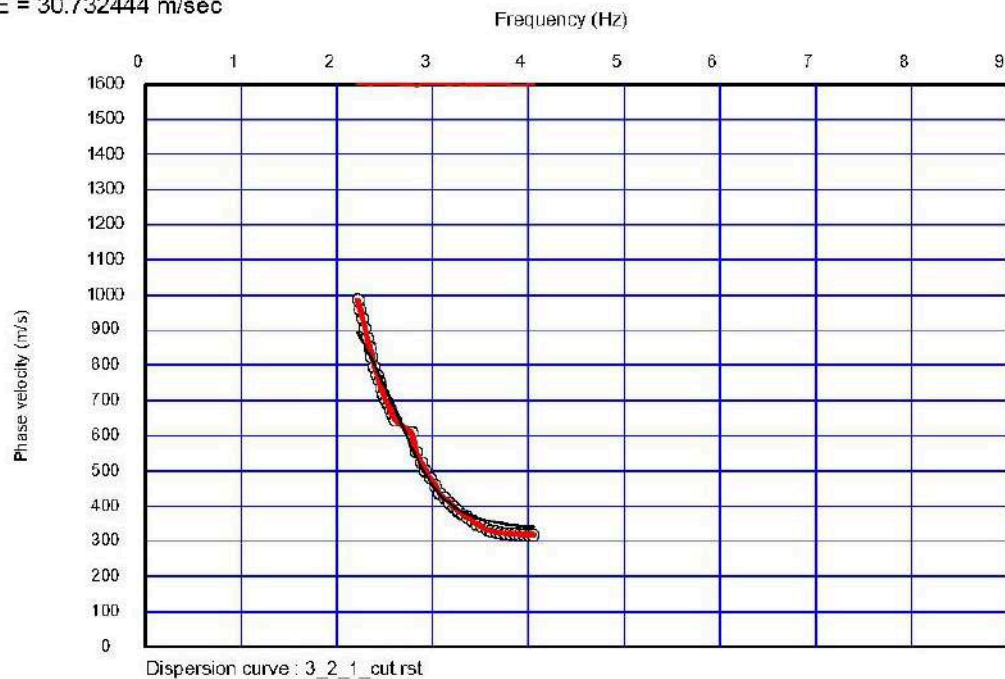
Gambar 4- 7. Profil kecepatan gelombang geser (Vs) pada SPAC 01.

2. SPAC 02

Kurva dispersi SPAC 02 menunjukkan hubungan frekuensi dan *phase velocity*, dengan range frekuensi 2 – 4 Hz dengan berbagai macam *phase velocity*. Kurva dispersi ini merupakan gabungan dari semua kurva dispersi hasil dari semua konfigurasi. Secara umum kurva dispersi SPAC 02 menunjukkan hubungan, semakin besar frekuensi maka semakin kecil *phase velocity*. Dari kurva dispersi ini kemudian dilakukan inversi dengan meminimalkan nilai *misfit* dari *phase velocity* hasil pengukuran dan hasil perhitungan. Kurva dispersi pada SPAC 02 bisa dilihat pada gambar di bawah ini:

Site name :

RMSE = 30.732444 m/sec



Gambar 4- 8. Kurva Dispersi SPAC 02.

Phase velocity dan ketebalan lapisan merupakan parameter yang harus dihitung. Model awal kecepatan dan ketebalan digunakan sebagai parameter apriori yang kemudian dilakukan proses inversi untuk mendapatkan model yang paling cocok atau paling kecil *misfitnya*. Dari hasil pengolahan tersebut didapat parameter kecepatan gelombang geser dan ketebalan lapisan yang bisa dilihat pada **Tabel 4-3** berikut ini:

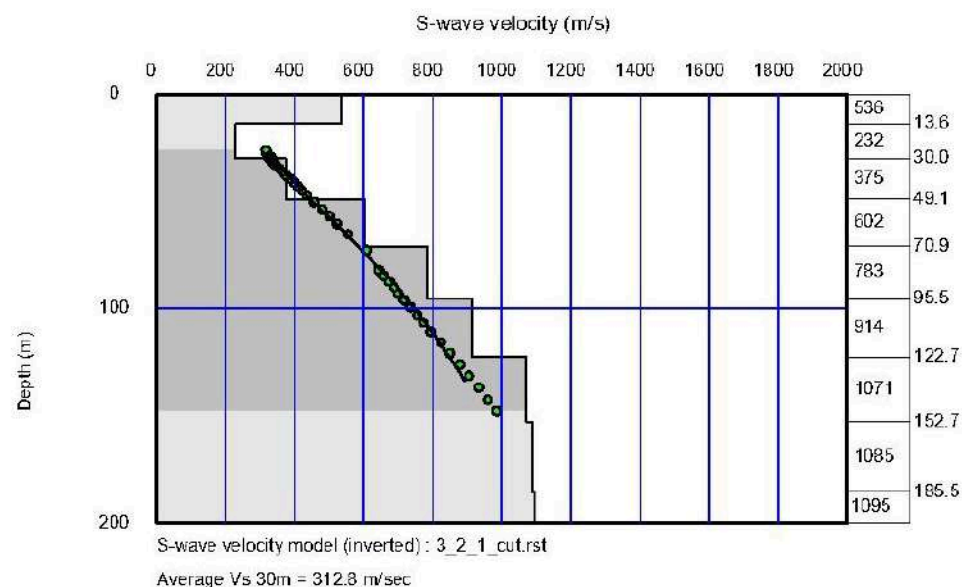
Tabel 4-3. Frekuensi pada kurva dispersi pada SPAC 02.

No	Kecepatan Gelombang (Vs)	Kedalaman
1	536	0 - 13.6
2	232	13.6 - 30
3	375	30 - 49.1
4	602	49.1 - 70.9
5	783	70.9 - 95.5

6	914	95.5 - 122.7
7	1071	122.7 - 152.7
8	1085	152.7 - 185.5

Berdasarkan tabel tersebut, diketahui bahwa kedalaman batuan dasar pada SPAC 02 adalah ± 70.9 meter. Grafik profil kecepatan gelombang geser (V_s) terhadap kedalaman bisa dilihat pada **Gambar 4-9** di bawah ini.

Site name :



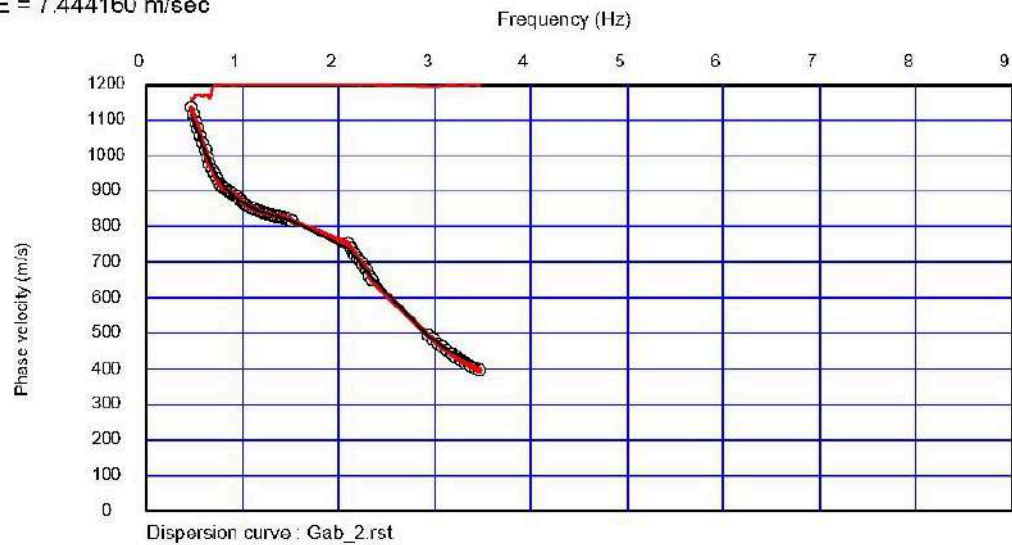
Gambar 4-9. Profil kecepatan gelombang geser (V_s) pada SPAC 02.

3. SPAC 03

Kurva dispersi SPAC 03 menunjukkan hubungan frekuensi dan *phase velocity*, dengan range frekuensi 0.5 – 3.5 Hz dengan berbagai macam *phase velocity*. Kurva dispersi ini merupakan gabungan dari semua kurva dispersi hasil dari semua konfigurasi. Secara umum kurva dispersi SPAC 03 menunjukkan hubungan, semakin besar frekuensi maka semakin kecil *phase velocity*. Dari kurva dispersi ini kemudian dilakukan inversi dengan meminimalkan nilai *misfit* dari *phase velocity* hasil pengukuran dan hasil perhitungan. Kurva dispersi pada site SPAC 03 bisa dilihat pada gambar di bawah ini :

Site name :

RMSE = 7.444160 m/sec



Gambar 4- 10. Kurva Dispersi SPAC 03.

Phase velocity dan ketebalan lapisan merupakan parameter yang harus dihitung. Model awal kecepatan dan ketebalan digunakan sebagai parameter apriori yang kemudian dilakukan proses inversi untuk mendapatkan model yang paling cocok atau paling kecil *misfitnya*. Dari hasil pengolahan tersebut didapat parameter kecepatan gelombang geser dan ketebalan lapisan yang bisa dilihat pada **Tabel 4-4** berikut ini :

Tabel 4-4. Frekuensi pada kurva dispersi pada SPAC 03.

No	Kecepatan Gelombang (Vs)	Kedalaman
1	338	0 – 45.5
2	582	45.5 - 100
3	869	100 – 163.6
4	984	163.6 – 236.4
5	957	236.4 – 318.2
6	938	318.2 – 409.1

7	960	409.1 – 509.1
8	1042	509.1 – 618.2
9	1139	618.2 – 736.4
10	1228	736.4 – 863.6

Berdasarkan tabel tersebut, diketahui bahwa kedalaman batuan dasar pada SPAC 03 adalah ± 100 meter. Grafik profil kecepatan gelombang geser (Vs) terhadap kedalaman bisa dilihat pada **Gambar 4-11** di bawah ini :

Site name :



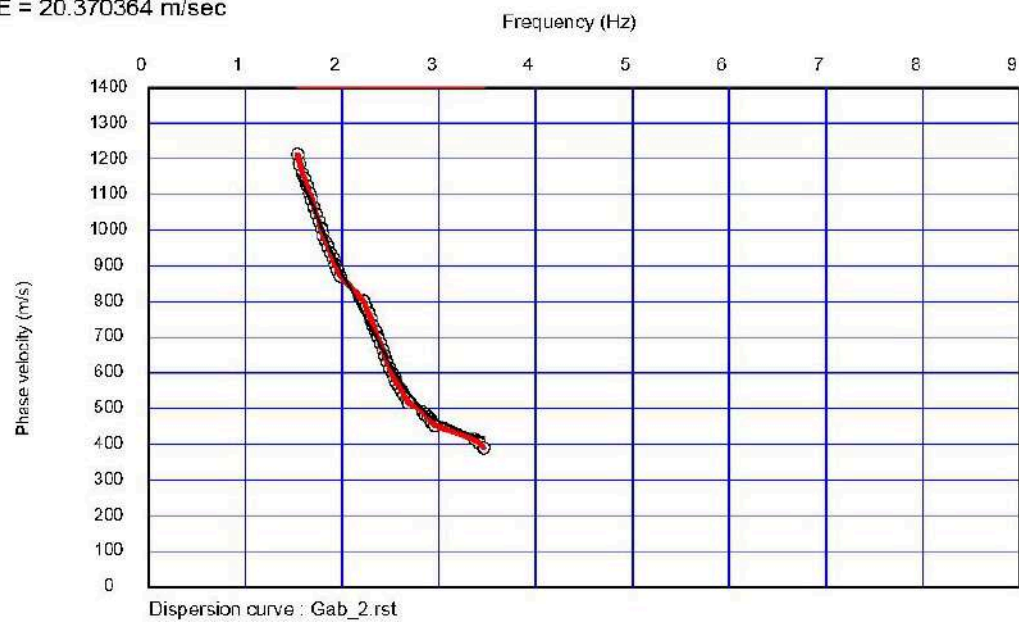
Gambar 4-11. Profil kecepatan gelombang geser (Vs) pada SPAC 03.

4. SPAC 04

Kurva dispersi SPAC 04 menunjukkan hubungan frekuensi dan *phase velocity*, dengan range frekuensi 1.5 – 3.5 Hz dengan berbagai macam *phase velocity*. Kurva dispersi ini merupakan gabungan dari semua kurva dispersi hasil dari semua konfigurasi. Secara umum kurva dispersi SPAC 04 menunjukkan hubungan semakin besar frekuensi maka semakin kecil *phase velocity*. Dari kurva dispersi ini kemudian dilakukan inversi dengan meminimalkan nilai *misfit* dari *phase velocity* hasil pengukuran dan hasil perhitungan. Kurva dispersi pada SPAC 04 ini bisa dilihat pada gambar di bawah ini :

Site name :

RMSE = 20.370364 m/sec



Gambar 4-12. Kurva dispersi SPAC 04.

Phase velocity dan ketebalan lapisan merupakan parameter yang harus dihitung. Model awal kecepatan dan ketebalan digunakan sebagai parameter apriori yang kemudian dilakukan proses inversi untuk mendapatkan model yang paling cocok atau paling kecil *misfitnya*. Dari hasil pengolahan tersebut didapat parameter kecepatan gelombang geser dan ketebalan lapisan yang bisa dilihat pada **Tabel 4-5** berikut ini :

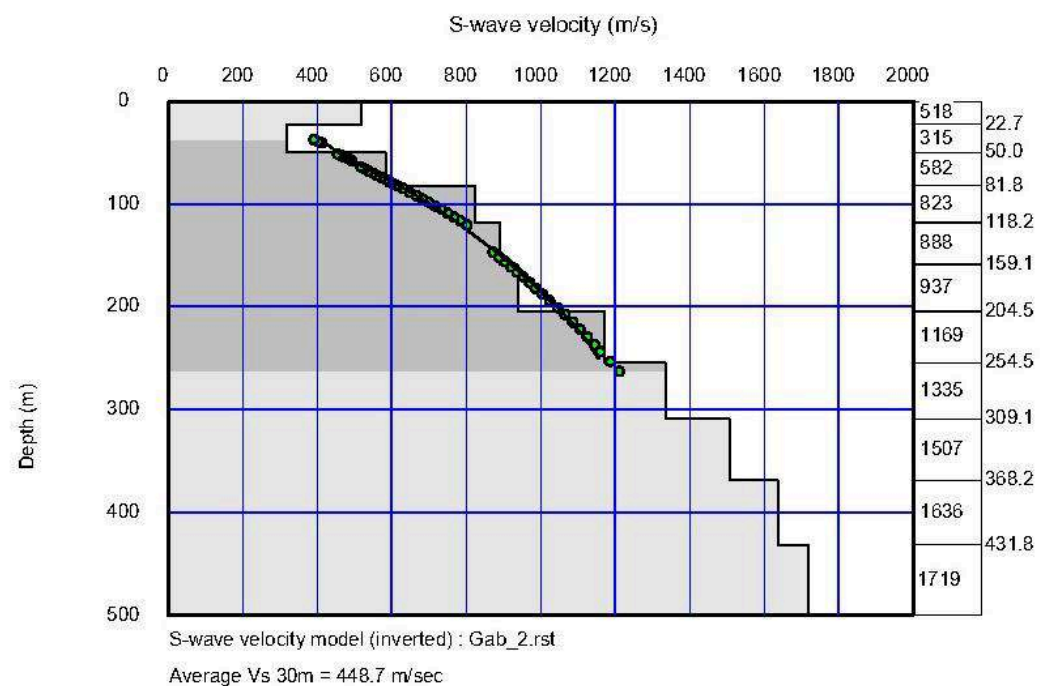
Tabel 4-5. Frekuensi pada kurva dispersi pada SPAC 04.

No	Kecepatan Gelombang (Vs)	Kedalaman
1	518	0 – 22.7
2	315	22.7 - 50
3	582	50 – 81.8
4	823	81.8 – 118.2
5	888	118.2 – 159.1

6	937	159.1 – 204.5
7	1169	204.5 – 254.5
8	1335	254.5 – 309.1
9	1507	309.1 – 368.2
10	1636	368.2 – 431.8

Tabel tersebut menunjukkan kedalaman batuan dasar pada SPAC 04 berada pada kedalaman ± 81.8 meter. Grafik profil kecepatan gelombang geser (V_s) terhadap kedalaman bisa dilihat pada **Gambar 4-13** di bawah ini :

Site name :

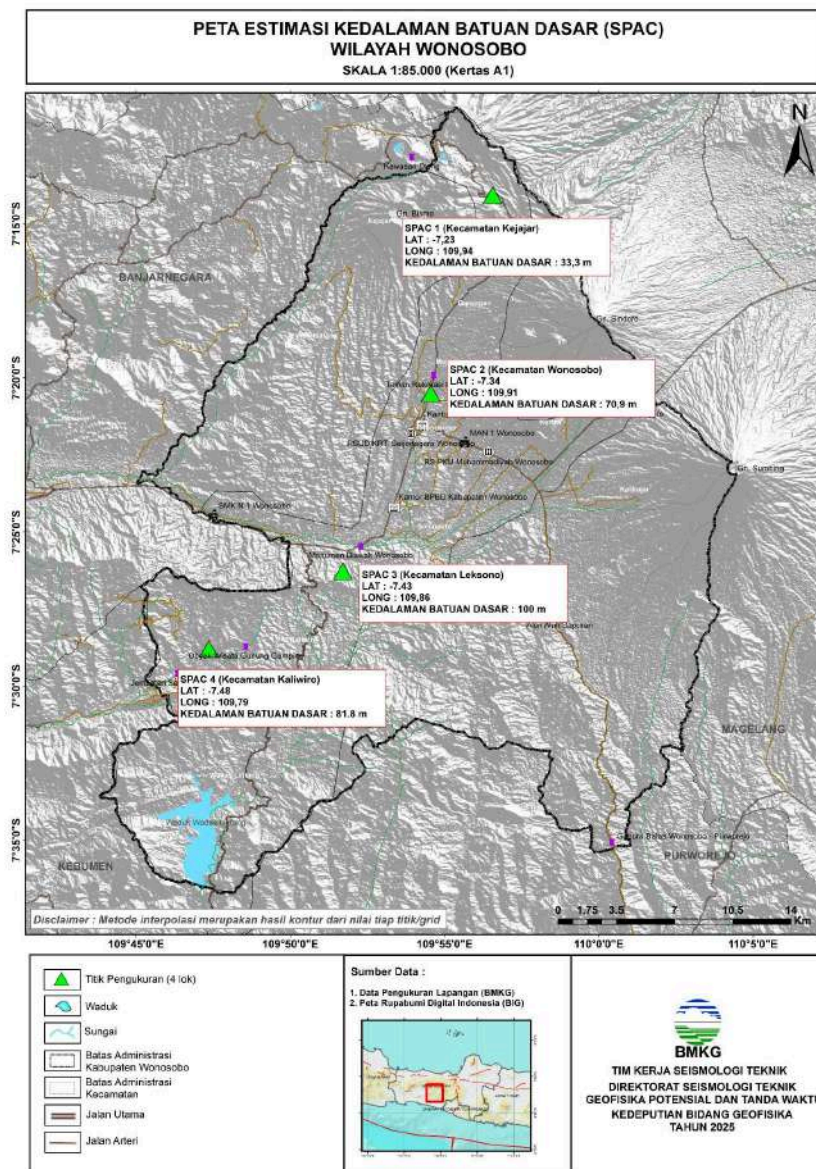


Gambar 4-13. Profil kecepatan gelombang geser (V_s) pada SPAC 04.

Dari hasil pengolahan empat lokasi pengukuran Mikrotremor *Array* tersebut, maka diperoleh estimasi kedalaman batuan dasar (*engineering bedrock*) didapat yang disajikan pada **Tabel 4-6** dan peta berikut ini :

Tabel 4-6. Hasil pengukuran Mikrotremor *Array* di daerah survei.

No	Lokasi	Lintang	Bujur	Kedalaman Batuan Dasar (m)
1	SPAC 1	-7.234438	109.942623	33.3
2	SPAC 2	-7.3416458	109.9092489	70.9
3	SPAC 3	-7.437874	109.8617068	100
4	SPAC 4	-7.4798612	109.789267	81.8



Gambar 4-14. Peta kedalaman batuan dasar (*engineering bedrock*) wilayah Wonosobo.

4.2.2 Periode Dominan

A. Kegiatan Pengukuran

Pekerjaan survei pengukuran Periode Dominan wilayah Kabupaten Wonosobo, dengan metode *Horizontal Vertikal Spectral Ratio* (HVSr) dari Nakamura (1989) dilaksanakan pada 4 waktu, waktu tim pertama : 30 Juni - 05 Juli 2025, tim kedua : 14 - 20 Juli 2025, tim ketiga : 29 Juli - 04 Agustus 2025, tim keempat : 08 - 14 September 2025 dengan anggota sebanyak 4 personel pegawai BMKG Pusat dengan didampingi pegawai stasiun Geofisika kelas III Banjarnegara bersama BPBD Kabupaten Wonosobo untuk membantu mobilisasi menuju titik pengukuran. Titik pengukuran tersebar di semua wilayah Kabupaten Wonosobo, Jawa Tengah.

Pelaksanaan survei pengukuran Periode Dominan berjumlah 100 titik yang tersebar di seluruh wilayah Kabupaten Wonosobo, Jawa Tengah (**Gambar 3-10**). Pengukuran pada pelaksanaannya terdapat perubahan-perubahan diantaranya lokasi titik yang bergeser dikarenakan sulitnya medan untuk mencapai titik rencana, adanya hambatan dalam pengukuran dan juga penggantian lokasi yang tidak dapat dijangkau. Berikut hasil lokasi dan jumlah titik tiap tim pengukuran :

1. Tim 1 (30 Juni - 05 Juli 2025)

Jumlah lokasi yang terukur sebanyak 16 titik pengukuran di wilayah Kabupaten Wonosobo, Jawa Tengah.

2. Tim 2 (14 - 20 Juli 2025)

Jumlah lokasi yang terukur sebanyak 44 titik pengukuran di wilayah Kabupaten Wonosobo, Jawa Tengah.

3. Tim 3 (29 Juli - 04 Agustus 2025)

Jumlah lokasi yang terukur sebanyak 29 titik pengukuran di wilayah Kabupaten Wonosobo, Jawa Tengah.

4. Tim 4 (08 - 14 September 2025)

Jumlah lokasi yang terukur sebanyak 11 titik pengukuran di wilayah Kabupaten Wonosobo, Jawa Tengah.



Gambar 4-15. Dokumentasi pelaksanaan pengukuran Periode Dominan.

B. Analisis Periode Dominan

Hasil pengukuran mikrotremor *single station* di wilayah Kabupaten Wonosobo menghasilkan nilai Amplifikasi (A), Periode (T) berdasarkan analisis menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Selanjutnya dilakukan interpolasi untuk dapat dijadikan kontur nilai Periode Dominan (T_{dom}) di daerah survei. Kontur nilai Periode Dominan dibuat berdasarkan hubungan kedekatan antar titik pengukuran.

Tabel persebaran nilai hasil analisis data mikrotremor dari 100 titik pengukuran Periode Dominan disajikan dalam **Tabel 4-7** berikut.

Tabel 4-7. Tabel hasil pengolahan T_{dom} .

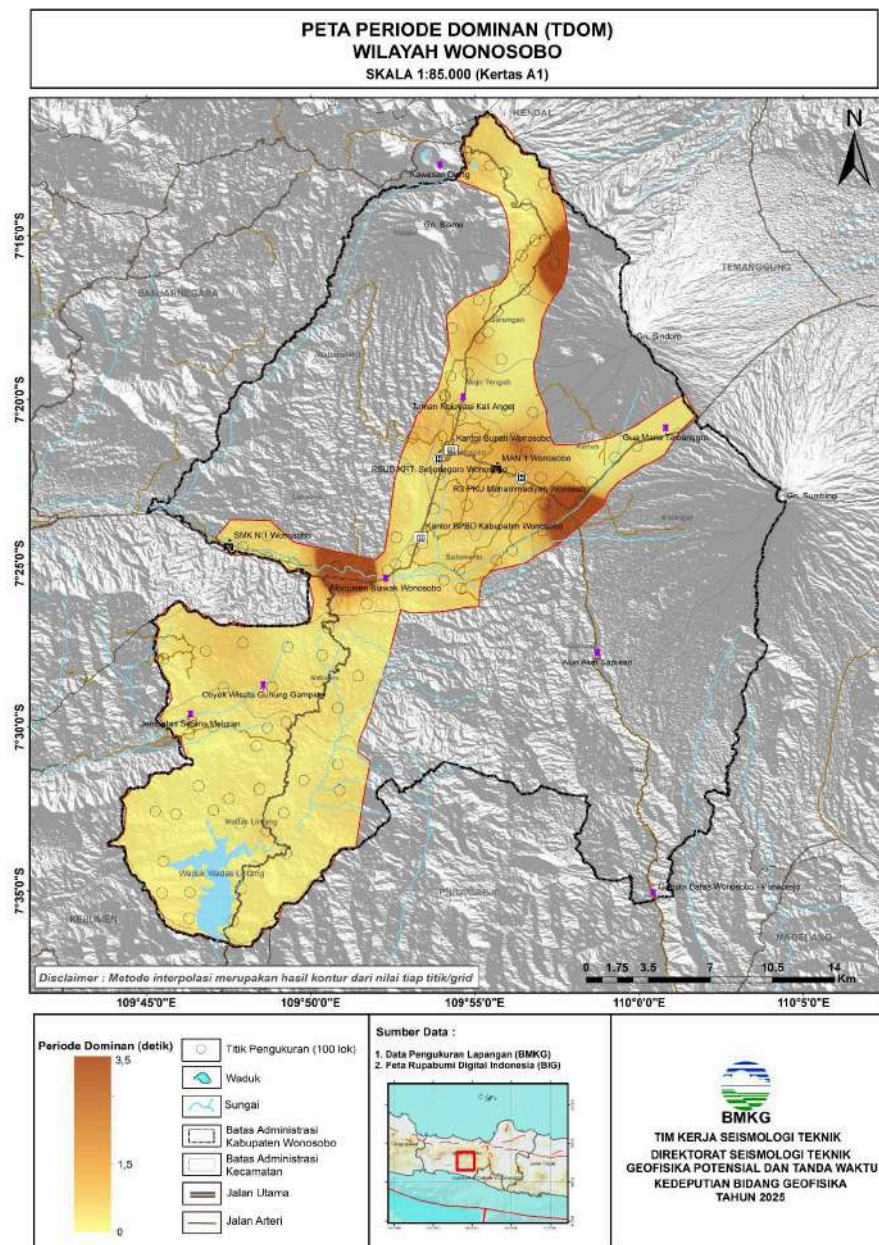
No	Kode	Lat	Long	F0	A0	T0	KG	GSS 1000	GSS 2500
1	WNS 01	-7.2103	109.9123	1.271	3.533	0.787	9.817	2.41E-03	3.85E-03
2	WNS 02	-7.2145	109.9242	1.014	4.461	0.986	19.621	4.81E-03	7.70E-03
3	WNS 03	-7.2178	109.9324	6.526	1.214	0.153	0.226	5.53E-05	8.86E-05
4	WNS 04	-7.2235	109.9518	1.784	2.765	0.561	4.287	1.05E-03	1.68E-03
5	WNS 05	-7.2341	109.9427	9.775	4.649	0.102	2.211	5.42E-04	8.67E-04
6	WNS 06	-7.2484	109.9541	0.750	6.118	1.333	49.899	1.22E-02	1.96E-02
7	WNS 07	-7.2525	109.9471	3.233	2.906	0.309	2.612	6.40E-04	1.02E-03
8	WNS 08	-7.2601	109.9404	2.205	2.337	0.453	2.478	6.07E-04	9.72E-04
9	WNS 09	-7.2642	109.9570	0.282	2.685	3.541	25.538	6.26E-03	1.00E-02
10	WNS 10	-7.2774	109.9420	5.001	3.301	0.200	2.178	5.34E-04	8.54E-04
11	WNS 11	-7.2829	109.9184	1.793	3.871	0.558	8.355	2.05E-03	3.28E-03
12	WNS 25	-7.3534	109.90.18	2.085	7.336	0.480	25.808	6.33E-03	1.01E-02
13	WNS 33	-7.3687	109.8825	3.867	13.778	0.259	49.090	1.20E-02	1.93E-02
14	WNS 35	-7.3890	109.8956	2.474	7.171	0.404	20.786	5.10E-03	8.15E-03
15	WNS 47	-7.4068	109.8902	3.030	7.670	0.330	19.416	4.76E-03	7.62E-03
16	WNS 48	-7.4034	109.8769	1.934	6.057	0.517	18.965	4.65E-03	7.44E-03
17	WNS 12	-7.2885	109.9281	7.455	2.188	0.134	0.642	1.57E-04	2.52E-04
18	WNS 13	-7.2992	109.9234	7.562	4.612	0.132	2.813	6.90E-04	1.10E-03
19	WNS 15	-7.2970	109.9050	1.776	4.430	0.563	11.051	2.71E-03	4.33E-03
20	WNS 17	-7.3200	109.9130	1.690	4.053	0.592	9.722	2.38E-03	3.81E-03
21	WNS 18	-7.3130	109.9300	7.188	2.677	0.139	0.997	2.44E-04	3.91E-04
22	WNS 14	-7.3020	109.9189	0.620	2.843	1.612	13.023	3.19E-03	5.11E-03
23	WNS 16	-7.3215	109.9042	13.114	5.396	0.076	2.220	5.44E-04	8.71E-04
24	WNS 21	-7.3416	109.9092	1.804	6.365	0.554	22.457	5.51E-03	8.81E-03
25	WNS 22	-7.3319	109.9015	1.420	4.206	0.704	12.453	3.05E-03	4.88E-03
26	WNS 23	-7.3310	109.9011	1.381	3.930	0.724	11.186	2.74E-03	4.39E-03
27	WNS 36	-7.3872	109.9125	0.993	3.935	1.008	15.597	3.82E-03	6.12E-03
28	WNS 24	-7.3527	109.8852	0.815	9.839	1.227	118.77	2.91E-02	4.66E-02
29	WNS 32	-7.3711	109.8990	2.233	3.440	0.448	5.299	1.30E-03	2.08E-03
30	WNS 34	-7.4099	109.8851	1.767	2.071	0.566	2.427	5.95E-04	9.52E-04

31	WNS 37	-7.3801	109.9264	1.120	5.434	0.893	26.358	6.46E-03	1.03E-02
32	WNS 45	-7.4101	109.9357	4.817	1.989	0.208	0.821	2.01E-04	3.22E-04
33	WNS 50	-7.4139	109.8114	3.902	3.696	0.256	3.500	8.58E-04	1.37E-03
34	WNS 56	-7.4253	109.9009	1.681	5.372	0.595	17.162	4.21E-03	6.73E-03
35	WNS 58	-7.4294	109.9095	1.578	3.046	0.634	5.882	1.44E-03	2.31E-03
36	WNS 59	-7.4374	109.8617	1.932	5.367	0.518	14.909	3.66E-03	5.85E-03
37	WNS 60	-7.4204	109.8724	4.858	3.395	0.206	2.372	5.82E-04	9.31E-04
38	WNS 19	-7.3398	109.9461	1.528	1.878	0.654	2.309	5.66E-04	9.06E-04
39	WNS 20	-7.3390	109.9331	8.855	1.724	0.113	0.336	8.23E-05	1.32E-04
40	WNS 26	-7.3531	109.9169	0.921	3.502	1.086	13.314	3.26E-03	5.22E-03
41	WNS 27	-7.3533	109.9367	0.629	2.641	1.589	11.079	2.72E-03	4.35E-03
42	WNS 30	-7.3699	109.9348	0.908	3.542	1.101	13.809	3.39E-03	5.42E-03
43	WNS 31	-7.3709	109.9166	0.942	6.355	1.062	42.885	1.05E-02	1.68E-02
44	WNS 39	-7.3850	109.9703	0.319	1.645	3.135	8.482	2.08E-03	3.33E-03
45	WNS 40	-7.3753	109.9760	8.385	3.477	0.119	1.442	3.53E-04	5.66E-04
46	WNS 41	-7.3629	109.9878	6.612	2.175	0.151	0.715	1.75E-04	2.81E-04
47	WNS 42	-7.3572	109.9989	5.360	2.420	0.187	1.092	2.68E-04	4.28E-04
48	WNS 43	-7.3507	110.0197	5.624	5.602	0.178	5.580	1.37E-03	2.19E-03
49	WNS 28	-7.3602	109.9428	0.584	2.152	1.711	7.923	1.94E-03	3.11E-03
50	WNS 29	-7.3730	109.9501	0.758	4.405	1.320	25.611	6.28E-03	1.00E-02
51	WNS 38	-7.3862	109.9517	0.567	3.151	1.762	17.498	4.29E-03	6.86E-03
52	WNS 44	-7.4001	109.9512	0.666	2.723	1.502	11.140	2.73E-03	4.37E-03
53	WNS 57	-7.4198	109.9091	1.755	2.693	0.570	4.131	1.01E-03	1.62E-03
54	WNS 55	-7.4170	109.8766	2.300	6.083	0.435	16.091	3.94E-03	6.31E-03
55	WNS 54	-7.4234	109.8641	0.391	2.872	2.558	21.099	5.17E-03	8.28E-03
56	WNS 53	-7.4181	109.8465	0.318	2.217	3.149	15.478	3.79E-03	6.07E-03
57	WNS 51	-7.4166	109.8246	6.601	5.623	0.151	4.790	1.17E-03	1.88E-03
58	WNS 49	-7.4083	109.7990	2.272	4.119	0.440	7.467	1.83E-03	2.93E-03
59	WNS 52	-7.4026	109.8111	1.586	10.556	0.630	70.258	1.72E-02	2.76E-02
60	WNS 46	-7.4152	109.9278	1.140	5.795	0.877	29.445	7.22E-03	1.16E-02
61	WNS 68	-7.4797	109.8139	1.871	3.258	0.535	5.673	1.39E-03	2.23E-03
62	WNS 64	-7.4571	109.7989	1.339	3.984	0.747	11.852	2.91E-03	4.65E-03
63	WNS 67	-7.4798	109.7893	2.396	2.376	0.417	2.355	5.77E-04	9.24E-04

64	WNS 65	-7.4611	109.7802	1.577	3.824	0.634	9.271	2.27E-03	3.64E-03
65	WNS 66	-7.4903	109.8470	3.370	3.391	0.297	3.411	8.36E-04	1.34E-03
66	WNS 90	-7.5424	109.7841	7.083	4.078	0.141	2.348	5.76E-04	9.21E-04
67	WNS 91	-7.5442	109.7648	8.220	4.083	0.122	2.028	4.97E-04	7.95E-04
68	WNS 98	-7.5843	109.7579	4.239	4.557	0.236	4.900	1.20E-03	1.92E-03
69	WNS 97	-7.5841	109.7721	4.036	2.370	0.248	1.392	3.41E-04	5.46E-04
70	WNS 86	-7.5315	109.8073	3.813	5.239	0.262	7.198	1.76E-03	2.82E-03
71	WNS 87	-7.5437	109.8196	13.686	4.438	0.073	1.439	3.53E-04	5.65E-04
72	WNS 94	-7.5710	109.8049	7.051	5.622	0.142	4.483	1.10E-03	1.76E-03
73	WNS 100	-7.5985	109.7941	4.577	1.999	0.219	0.873	2.14E-04	3.43E-04
74	WNS63	-7.4593	109.8218	11.540	3.380	0.087	0.990	2.43E-04	3.88E-04
75	WNS72	-7.5034	109.7719	13.25	3.6061	0.075	0.982	2.41E-04	3.85E-04
76	WNS73	-7.4999	109.7839	6.612	2.528	0.151	0.966	2.37E-04	3.79E-04
77	WNS76	-7.4903	109.8470	2.166	4.080	0.462	7.686	1.88E-03	3.01E-03
78	WNS78	-7.5095	109.8232	6.222	8.808	0.161	12.469	3.06E-03	4.89E-03
79	WNS79	-7.5096	109.8059	4.395	9.023	0.228	18.524	4.54E-03	7.27E-03
80	WNS80	-7.5300	109.7764	13.593	8.005	0.074	4.714	1.16E-03	1.85E-03
81	WNS82	-7.5315	109.8073	4.164	4.520	0.240	4.906	1.20E-03	1.92E-03
82	WNS83	-7.5270	109.8298	4.290	7.389	0.233	12.728	3.12E-03	4.99E-03
83	WNS88	-7.5529	109.8109	1.913	2.863	0.523	4.286	1.05E-03	1.68E-03
84	WNS89	-7.5488	109.7976	5.963	3.143	0.168	1.656	4.06E-04	6.50E-04
85	WNS92	-7.5428	109.7545	4.716	15.721	0.212	52.407	1.28E-02	2.06E-02
86	WNS93	-7.5682	109.7588	9.330	3.501	0.107	1.314	3.22E-04	5.15E-04
87	WNS95	-7.5641	109.8208	4.621	4.718	0.216	4.817	1.18E-03	1.89E-03
88	WNS96	-7.5819	109.7982	4.363	1.754	0.229	0.705	1.73E-04	2.77E-04
89	WNS99	-7.5973	109.7718	3.529	1.890	0.283	1.012	2.48E-04	3.97E-04
90	WNS85	-7.5321	109.8480	2.428	4.679	0.412	9.018	2.21E-03	3.54E-03
91	WNS84	-7.5190	109.8470	4.364	3.108	0.229	2.214	5.43E-04	8.69E-04
92	WNS81	-7.5363	109.7920	4.223	6.794	0.237	10.932	2.68E-03	4.29E-03
93	WNS77	-7.4770	109.8370	3.389	4.743	0.295	6.637	1.63E-03	2.60E-03
94	WNS75	-7.4976	109.8207	2.264	5.931	0.442	15.534	3.81E-03	6.09E-03
95	WNS74	-7.5003	109.8114	3.587	9.549	0.279	25.426	6.23E-03	9.97E-03
96	WNS71	-7.4653	109.7587	5.285	2.177	0.189	0.897	2.20E-04	3.52E-04

97	WNS70	-7.4972	109.7730	2.184	2.636	0.458	3.180	7.80E-04	1.25E-03
98	WNS69	-7.4740	109.8574	2.881	5.909	0.347	12.116	2.97E-03	4.75E-03
99	WNS62	-7.4633	109.8393	2.866	2.781	0.349	2.699	6.62E-04	1.06E-03
100	WNS61	-7.4497	109.8424	2.763	4.286	0.362	6.649	1.63E-03	2.61E-03

Hasil pengukuran Periode Dominan (T_{dom}) wilayah Kabupaten Wonosobo menunjukkan nilai yang bervariasi di berbagai tempat dengan nilai periode antara 0.073 s hingga 3.541 s.



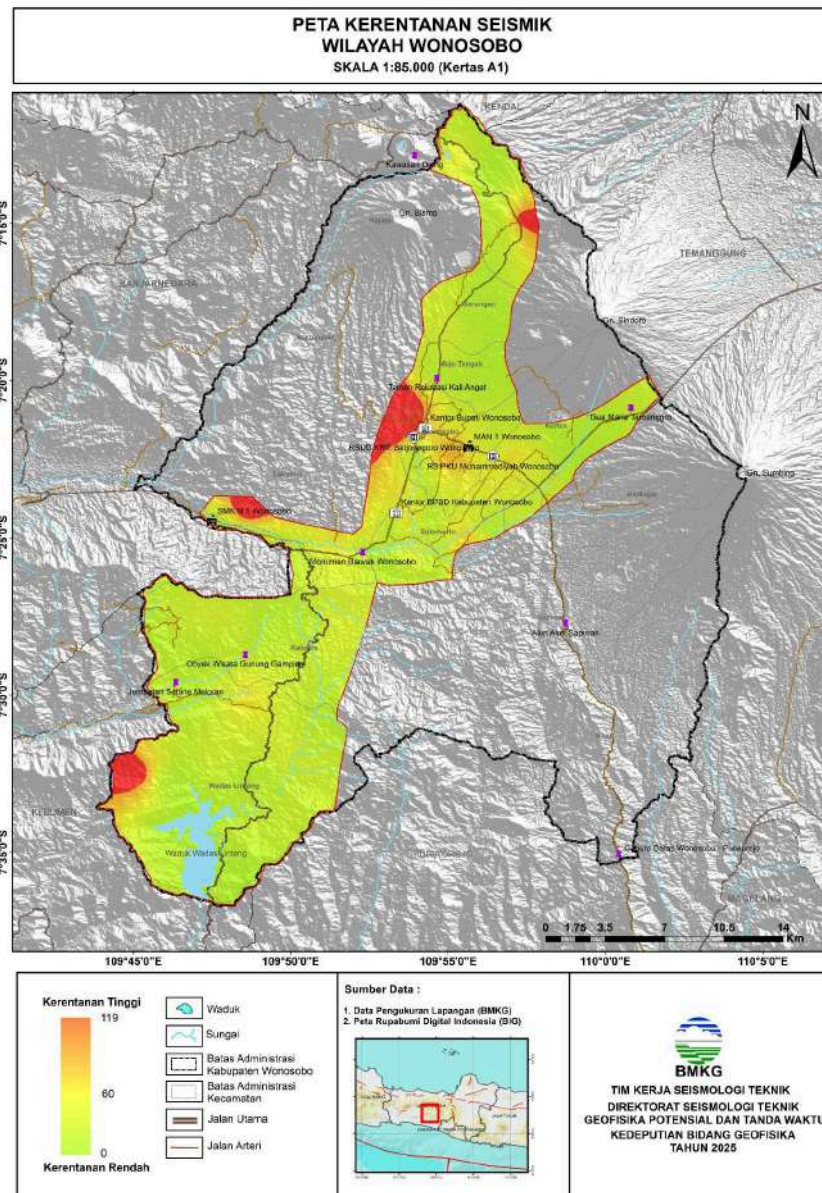
Gambar 4-16. Peta Periode Dominan (T_{dom}) Kabupaten Wonosobo.

4.2.3 Analisis Kerentanan Seismik (Kg)

Indeks Kerentanan Seismik (Kg) didapatkan dari parameter Amplifikasi (A) dan Frekuensi (f) yang dihasilkan dari pengolahan data mikrotremor *single station* menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Nilai Kg ini dapat digunakan sebagai skala efek kegempaan terhadap deformasi tanah setempat.

Berdasarkan **Tabel 4-7** yang menunjukkan hasil pengolahan dari 100 data mikrotremor *single station*, terlihat bahwa nilai indeks kerentanan seismik di Kabupaten Wonosobo berkisar antara 0.226 hingga 118.775. Hasil tersebut kemudian divisualisasikan ke dalam bentuk peta spasial yang ditunjukkan oleh **Gambar 4-17**.

Peta persebaran indeks kerentanan seismik Kabupaten Wonosobo menggambarkan bahwa sebagian besar wilayah tersebut memiliki nilai kerentanan seismik yang cenderung rendah. Meskipun demikian, terdapat pula beberapa titik yang merepresentasikan wilayah dengan kerentanan tinggi yang ditunjukkan oleh warna merah dalam peta tersebut. Nilai kerentanan seismik tinggi memberikan indikasi awal terhadap suatu wilayah yang cenderung lebih rentan terhadap guncangan gempa bumi. Beberapa titik yang menjadi perhatian khusus tersebut berada di wilayah perbatasan antara Kecamatan Wadaslintang dan Kabupaten Kebumen serta sebagian kecil area pusat pemerintahan Kabupaten Wonosobo.



Gambar 4-17. Kontur Indeks Kerentanan Seismik (Kg) Kabupaten Wonosobo.

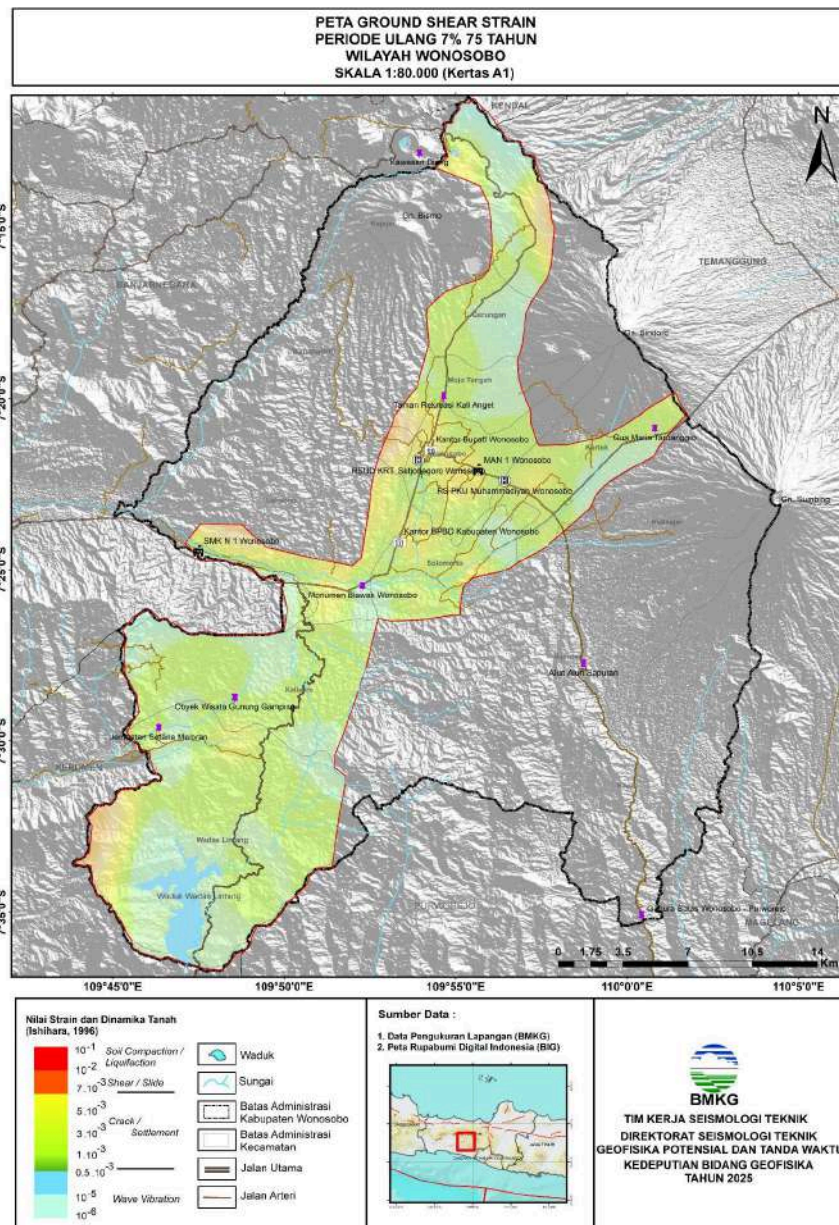
4.2.4 Interpretasi Regang Geser Tanah (*Ground Shear Strain*)

Hasil pengukuran titik-titik T_{dom} di wilayah Kabupaten Wonosobo, selain dapat menghasilkan data nilai Amplifikasi (A), Periode (T), dan nilai indeks Kerentanan Seismik (Kg) selanjutnya dapat juga dilakukan perhitungan untuk diperoleh nilai *Ground Shear-Strain*. Nilai *Ground Shear-Strain* pada lapisan tanah permukaan menggambarkan kemampuan material lapisan tanah untuk saling meregang atau bergeser saat terjadi gempa bumi.

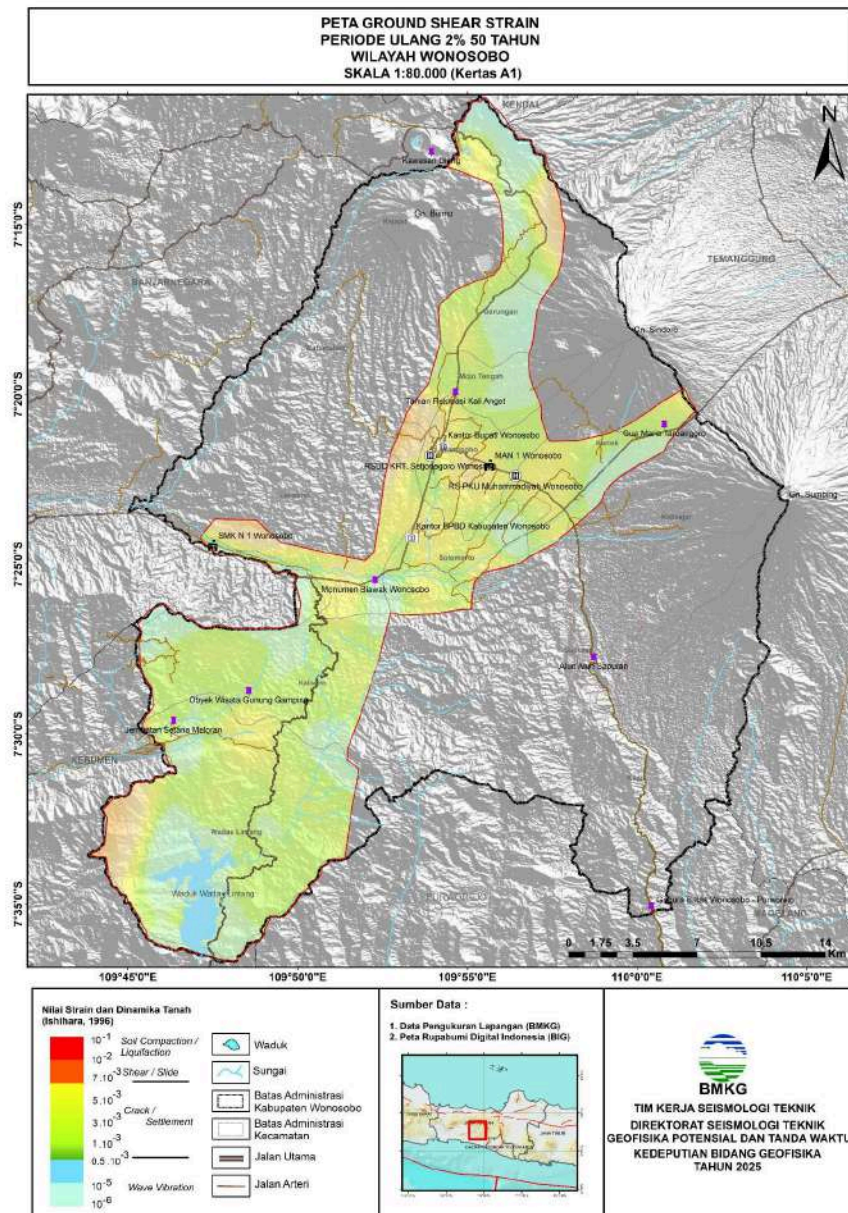
Tabel 4-8. Interpretasi indeks *Ground Shear Strain* terhadap kondisi fisis dan karakteristik dinamis tanah (Ishihara, 1996)

	10^{-6} to 10^{-4}	10^{-4} to 10^{-2}	10^{-2} to 10^{-1}
Ground conditions	Only propagation wave, vibration	Crack, ground subsidence	Lanslides, compaction, liquifaction
		Elastic-plastic	collapse
The nature of dynamics soil	Elastic	It happens repeatedly, happens quickly (accumulation effect)	It happens repeatedly, happens quickly (accumulation effect)

Berdasarkan interpretasi nilai *Ground Shear Strain* oleh Ishihara (1996) sebagaimana ditampilkan pada **Tabel 4-8**, Kabupaten Wonosobo didominasi oleh potensi fenomena *crack/settlement* saat terjadi guncangan gempa bumi dengan nilai indeks *Ground Shear Strain* berkisar antara 0.5×10^{-3} hingga 7×10^{-3} . Sedangkan beberapa titik di bagian barat, utara, dan tengah dari Kabupaten Wonosobo memiliki indikasi awal terhadap adanya fenomena *soil compaction*, *liquefaction* dan *landslide* saat terjadi guncangan gempa bumi dengan nilai indeks *Ground Shear Strain* berkisar antara 7×10^{-3} hingga 10^{-2} yang ditandai dengan warna orange hingga kemerahan. Tabel persebaran nilai *Ground Shear Strain* disajikan dalam **Tabel 4-7**. Daerah yang berwarna merah mempunyai kecenderungan untuk bergerak saat terjadi gempa bumi, sehingga potensi pergerakan tanah akibat gempa bumi di wilayah tersebut lebih besar dibandingkan wilayah yang lain. Lapisan dengan sedimen tebal dapat diwaspadai memiliki potensi pergerakan tanah hingga longsor saat terjadi kejadian gempa bumi, apabila didukung dengan kondisi kemiringan lereng yang curam. Hal ini dapat diakibatkan oleh material penyusunan pada lapisan sedimentasi tebal memiliki jarak antar partikel yang renggang, bila dibandingkan material penyusun pada lapisan batuan. Kondisi antar partikel yang renggang ini dapat pula berpotensi memunculkan fenomena likuifaksi, karena sifat material yang mudah bergeser dan terisi oleh air saat terjadi gempa bumi, apabila didukung dengan kondisi tanah yang jenuh dan ketinggian muka air tanah (*aquifer*) yang sangat dangkal.



Gambar 4-18. Kontur nilai *Ground Shear-Strain* 1000 tahun Kabupaten Wonosobo.



Gambar 4-19. Kontur nilai *Ground Shear-Strain* 2500 tahun Kabupaten Wonosobo.

4.3 PETA SKENARIO GUNCANGAN TANAH (*SHAKEMAP*) Vs30 SURVEI

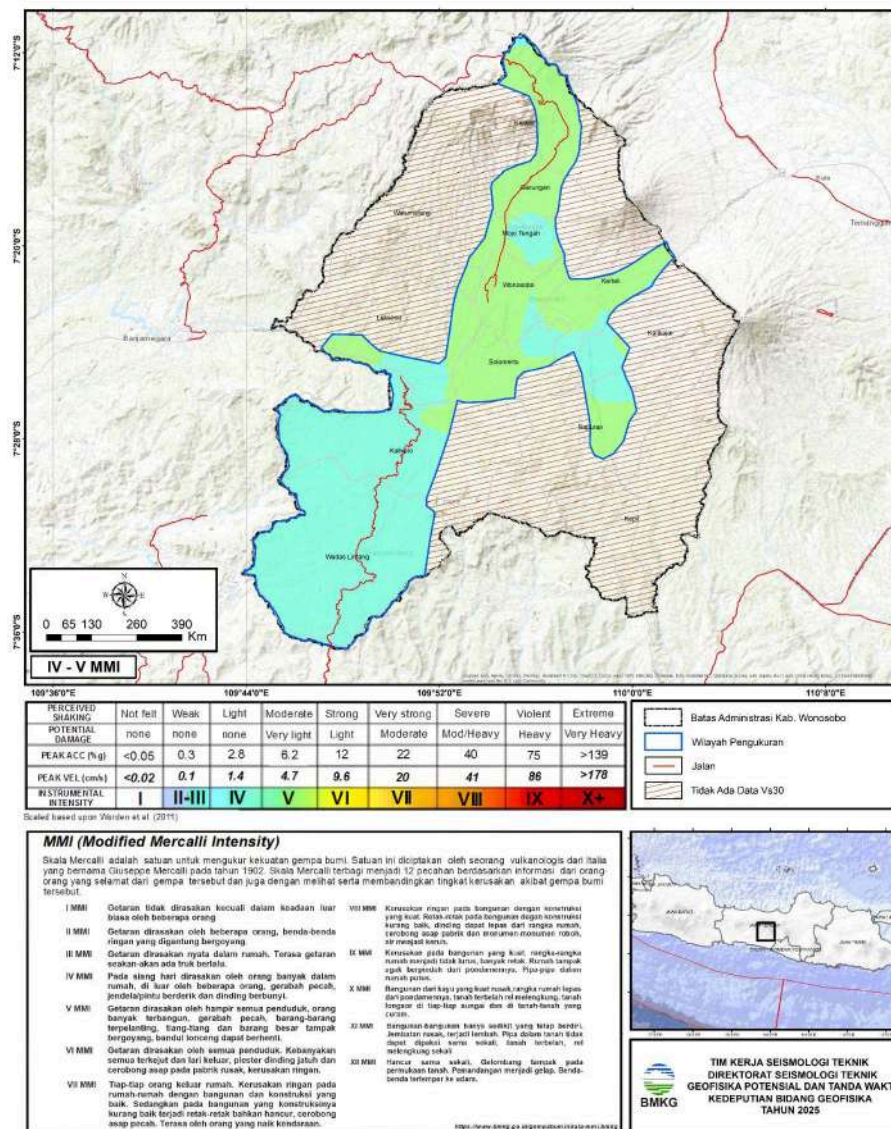
Dalam kajian skenario guncangan tanah (*Shakemap*) dilakukan simulasi skenario gempabumi untuk sumber gempabumi sesar yang ada di wilayah Kabupaten Wonosobo yang memiliki dampak paling signifikan, yaitu Sesar Weleri dan *Java Megathrust* Segmen Jawa Barat - Jawa Tengah. *Shakemap* skenario ini memberikan estimasi potensi guncangan dari beberapa sumber gempabumi aktif yang digambarkan

dengan skala *Modified Mercalli Intensity* (MMI) yang dapat dilihat pada **Tabel 4-9** untuk deskripsi intensitas.

4.3.1 Peta Skenario Guncangan Tanah (*Shakemap*) Vs30 Survei untuk Sesar Baribis - Kendeng (Segmen Weleri)

Gambar 4-20 menunjukkan peta skenario guncangan tanah (*shakemap*) dengan mengaplikasikan karakteristik jenis tanah berdasarkan nilai Vs30 survei, menggunakan skenario gempabumi dari Sesar Baribis - Kendeng (Segmen Weleri) yang memiliki magnitudo maksimum 6.5 berdasarkan PUSGEN (2017) pada wilayah Kabupaten Wonosobo. Nilai *hazard* dari peta skenario guncangan tanah (*Shakemap*) dengan menggunakan data Vs30 survei yang diakibatkan dari sumber gempabumi ini menunjukkan sebagian besar Kabupaten Wonosobo mengalami intensitas guncangan III-IV MMI, sementara beberapa wilayah dapat mengalami intensitas guncangan mencapai V MMI.

PETA SKENARIO GUNCANGAN TANAH (SHAKEMAP SCENARIO)
SUMBER SESAR BARIBIS KENDENG (SEGMENT WELERI) M6.5 - BERDASARKAN VS30 SURVEI
LOKASI KABUPATEN WONOSOBO
SKALA 1 : 120.000

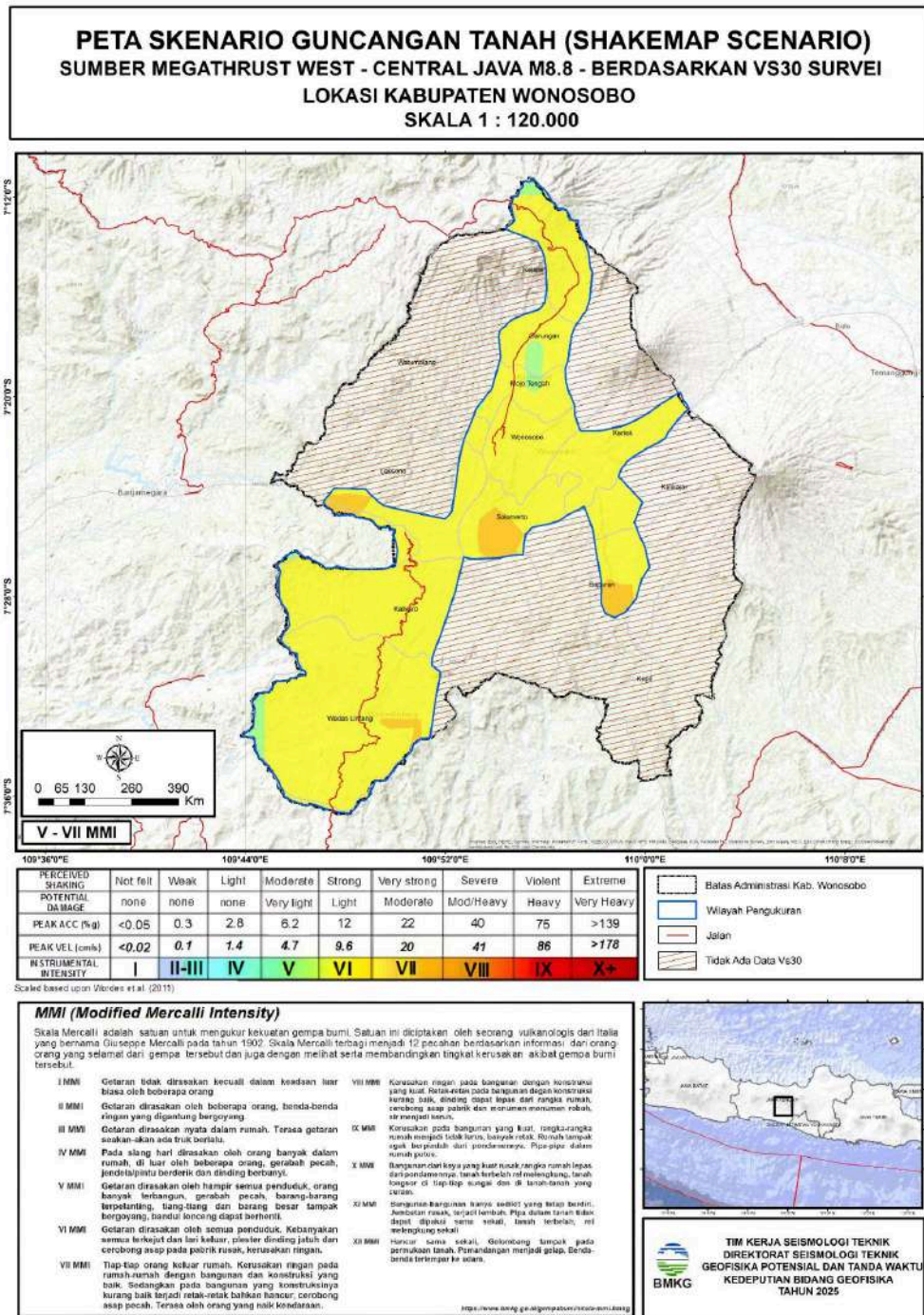


Gambar 4-20. *Shakemap* berdasarkan Vs30 survei untuk skenario gempabumi Sesar Baribis - Kendeng (Segmen Weleri).

4.3.2 Peta Skenario Guncangan Tanah (*Shakemap*) Vs30 Survei untuk *Megathrust* Segmen Jawa Barat - Jawa Tengah

Gambar 4-21 menunjukkan peta skenario guncangan tanah (*shakemap*) dengan mengaplikasikan karakteristik jenis tanah berdasarkan nilai Vs30 survei, menggunakan skenario gempabumi dari *Java Megathrust* Segmen Jawa Barat - Jawa

Tengah dengan magnitudo maksimum 8.8 menurut PUSGEN (2017) pada wilayah Kabupaten Wonosobo. Nilai *hazard* dari peta skenario guncangan tanah (*shakemap*) dengan menggunakan data Vs30 survei yang diakibatkan dari sumber gempabumi ini menunjukkan wilayah Kabupaten Wonosobo mengalami intensitas guncangan V-VI MMI, sementara beberapa area spesifik dapat mengalami intensitas guncangan mencapai VII MMI. Area yang dapat mengalami intensitas guncangan mencapai VII MMI tersebut dimungkinkan dikarenakan adanya efek tapak lokal (*local site effect*) di area tersebut, dikarenakan kondisi tanah yang lebih lunak sehingga mengalami amplifikasi atau perbesaran gelombang gempabumi.



Gambar 4-21. *Shakemap* berdasarkan Vs30 survei untuk skenario gempabumi *Java Megathrust* Segmen Jawa Barat - Jawa Tengah.

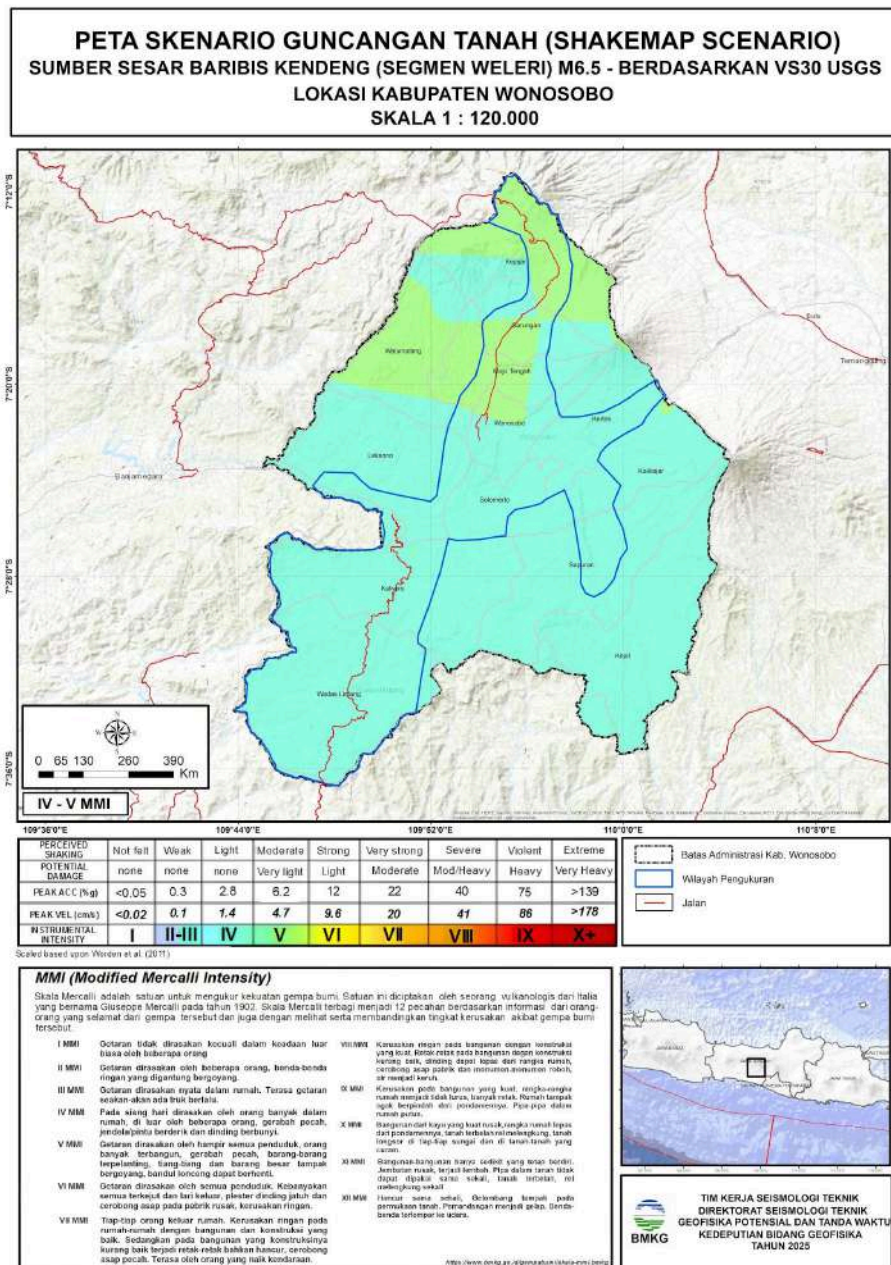
4.4 PETA SKENARIO GUNCANGAN TANAH (*SHAKEMAP*) Vs30 USGS

Dalam kajian skenario guncangan tanah (*Shakemap*) dilakukan simulasi skenario gempabumi untuk sumber gempabumi sesar yang ada di wilayah Kabupaten

Wonosobo yang memiliki dampak paling signifikan, yaitu Sesar Weleri dan *Java Megathrust* Segmen Jawa Barat - Jawa Tengah.

4.4.1 Peta Skenario Guncangan Tanah (*Shakemap*) Vs30 USGS untuk Sesar Baribis - Kendeng (Segmen Weleri)

Gambar 4-22 menunjukkan peta guncangan tanah (*shakemap*) dengan mengaplikasikan Vs30 USGS, menggunakan skenario gempa bumi dari Sesar Weleri yang memiliki magnitudo maksimum 6.5 berdasarkan PUSGEN (2017) pada wilayah Kabupaten Wonosobo. Nilai *hazard* dari peta skenario guncangan tanah (*shakemap*) dengan menggunakan data Vs30 USGS yang diakibatkan dari sumber gempabumi ini menunjukkan sebagian besar Kabupaten Wonosobo mengalami intensitas guncangan III-IV MMI, sementara beberapa wilayah di utara Wonosobo tepatnya di daerah kawasan Dieng mengalami intensitas guncangan hingga V MMI.

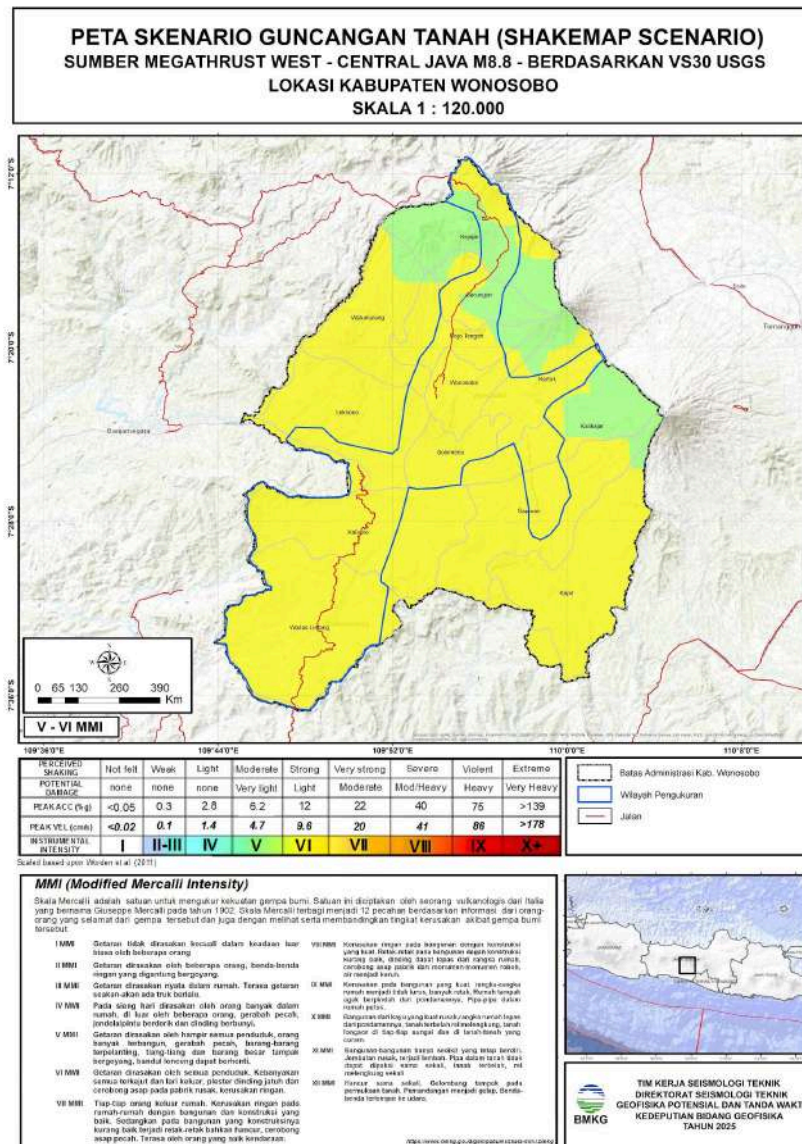


Gambar 4-22. *Shakemap* berdasarkan Vs30 USGS untuk skenario gempabumi Sesar Baribis - Kendeng (Segmen Weleri).

4.4.2 Peta Skenario Guncangan Tanah (*Shakemap*) Vs30 USGS untuk *Java Megathrust* Segmen Jawa Barat - Jawa Tengah

Gambar 4-23 menunjukkan peta guncangan tanah (*shakemap*) dengan mengaplikasikan Vs30 USGS, menggunakan skenario gempabumi dari *Java Megathrust* Segmen Jawa Barat - Jawa Tengah yang memiliki magnitudo maksimum

8.8 berdasarkan PUSGEN (2017) pada Kabupaten Wonosobo. Nilai *hazard* dari peta skenario guncangan tanah (*shakemap*) dengan menggunakan data Vs30 USGS yang diakibatkan dari sumber gempa bumi ini menunjukkan sebagian besar Kabupaten Wonosobo mengalami intensitas guncangan hingga VI MMI, beberapa wilayah di timur laut menunjukkan intensitas yang lebih rendah sekitar V MMI.



Gambar 4-23. *Shakemap* berdasarkan Vs30 USGS untuk skenario gempa bumi *Java Megathrust* Segmen Jawa Barat - Jawa Tengah.

Tabel 4-9. Tabel Intensitas Gempabumi (*Modified Mercalli Intensity*).

Skala MMI	Deskripsi
I	Getaran tidak dirasakan kecuali dalam keadaan luarbiasa oleh beberapa orang
II	Getaran dirasakan oleh beberapa orang, benda-benda ringan yang digantung bergoyang.
III	Getaran dirasakan nyata dalam rumah. Terasa getaran seakan-akan ada truk berlalu.
IV	Pada siang hari dirasakan oleh orang banyak dalam rumah, di luar oleh beberapa orang, gerabah pecah, jendela/pintu berderit dan dinding berbunyi.
V	Getaran dirasakan oleh hampir semua penduduk, orang banyak terbangun, gerabah pecah, barang-barang terpelanting, tiang-tiang dan barang besar tampak bergoyang, bandul lonceng dapat berhenti.
VI	Getaran dirasakan oleh semua penduduk. Kebanyakan semua terkejut dan lari keluar, plester dinding jatuh dan cerobong asap pada pabrik rusak, kerusakan ringan.
VII	Tiap-tiap orang keluar rumah. Kerusakan ringan pada rumah-rumah dengan bangunan dan konstruksi yang baik. Sedangkan pada bangunan yang konstruksinya kurang baik terjadi retak-retak bahkan hancur, cerobong asap pecah. Terasa oleh orang yang naik kendaraan.
VIII	Kerusakan ringan pada bangunan dengan konstruksi yang kuat. Retak-retak pada bangunan dengan konstruksi kurang baik, dinding dapat lepas dari rangka rumah, cerobong asap pabrik dan monumen-monumen roboh, air menjadi keruh.
IX	Kerusakan pada bangunan yang kuat, rangka-rangka rumah menjadi tidak lurus, banyak retak. Rumah tampak agak berpindah dari pondamennya. Pipa-pipa dalam rumah putus.
X	Bangunan dari kayu yang kuat rusak, rangka rumah lepas dari pondamennya, tanah terbelah rel melengkung, tanah longsor di tiap-tiap sungai dan di tanah-tanah yang curam.
XI	Bangunan-bangunan hanya sedikit yang tetap berdiri. Jembatan rusak, terjadi lembah. Pipa dalam tanah tidak dapat dipakai sama sekali, tanah terbelah, rel melengkung sekali.
XII	Hancur sama sekali, Gelombang tampak pada permukaan tanah. Pemandangan menjadi gelap. Benda-benda terlempar ke udara.

5 KESIMPULAN

1. Hasil analisis Vs30 menunjukkan bahwa secara umum klasifikasi jenis tanah di Kabupaten Wonosobo tersusun atas tanah sedang (SD) hingga tanah keras (SC). Di sebagian besar Kabupaten Wonosobo tersusun atas tanah sedang dengan nilai Vs30 termasuk dalam rentang 175 m/s hingga 350 m/s meliputi kawasan pusat pemerintahan Kabupaten Wonosobo, sebagian besar Kecamatan Kaliwiro hingga bagian barat Kecamatan Wadaslintang, dan beberapa titik di utara Kabupaten Wonosobo yang ditunjukkan oleh warna kuning. Indikasi klasifikasi tanah keras (SC) yang memiliki rentang nilai Vs30 antara 350 m/s dan 750 m/s yang ditunjukkan oleh warna kehijauan mendominasi wilayah utara dan selatan Kabupaten Wonosobo, dimana untuk wilayah utara berada di sebagian besar Kecamatan Garung dan Kecamatan Mojotengah, sementara untuk wilayah selatan dapat ditemui di sebagian besar Kecamatan Wadaslintang yang berbatasan dengan Kabupaten Kebumen. Klasifikasi jenis tanah ini mengindikasikan kondisi tanah yang lebih padat daripada jenis tanah sedang (SD). Sementara itu, terdapat satu titik pengukuran yang menunjukkan adanya batuan dengan klasifikasi SB di wilayah Kecamatan Mojotengah dengan nilai Vs30 sebesar 756,43 m/s. Meskipun demikian, nilai tersebut masih berada dalam batas bawah untuk klasifikasi batuan.
2. Hasil analisis Mikrotremor Array di Kabupaten Wonosobo menunjukkan bahwa estimasi kedalaman batuan dasar (*engineering bedrock*) atau ketebalan lapisan sedimen berkisar antara 33.3 –100 meter dari permukaan. Dengan ketebalan lapisan sedimen paling dangkal terletak di Kec. Kejajar dan ketebalan lapisan sedimen paling dalam terletak di Kec. Leksono.
3. Hasil analisis Periode Dominan Tanah (Tdom) menunjukkan secara keseluruhan wilayah Kabupaten Wonosobo memiliki nilai yang bervariasi di berbagai tempat dengan nilai periode dominan antara 0.073 s hingga 3.541 s.
4. Kerentanan Seismik di wilayah Kabupaten Wonosobo tergambarkan dengan kondisi nilai kerentanan seismik cenderung rendah, namun demikian terdapat wilayah dengan indeks kerentanan tinggi antara lain berada di wilayah

perbatasan antara Kecamatan Wadaslintang dan Kabupaten Kebumen serta sebagian kecil area pusat pemerintahan Kabupaten Wonosobo.

5. Berdasarkan tabel Ishihara (1996) nilai regang geser tanah pada saat terjadi gempa bumi pada wilayah Kabupaten Wonosobo didominasi oleh potensi fenomena *crack/settlement* saat terjadi guncangan gempa bumi dengan nilai indeks berkisar antara 0.5×10^{-3} hingga 7×10^{-3} . Sedangkan beberapa titik di bagian barat, utara, dan tengah dari Kabupaten Wonosobo memiliki indikasi awal terhadap adanya potensi fenomena *soil compaction*, *liquefaction* dan *landslide* akibat guncangan gempa bumi dengan nilai indeks berkisar antara 7×10^{-3} hingga 10^{-2} yang ditandai dengan warna *orange* hingga kemerahan. Daerah yang berwarna merah mempunyai kecenderungan untuk bergerak saat terjadi gempa bumi. Lapisan dengan sedimen tebal dapat diwaspadai memiliki potensi pergerakan tanah hingga longsor saat terjadi kejadian gempa bumi, apabila didukung dengan kondisi kemiringan lereng yang curam. Hal ini dapat diakibatkan oleh material penyusunan pada lapisan sedimentasi tebal memiliki jarak antar partikel yang renggang, bila dibandingkan material penyusun pada lapisan batuan. Kondisi antar partikel yang renggang ini dapat pula berpotensi memunculkan fenomena likuifaksi, karena sifat material yang mudah bergeser dan terisi oleh air saat terjadi gempa bumi, apabila didukung dengan kondisi tanah yang jenuh dan ketinggian muka air tanah (*aquifer*) yang sangat dangkal.
6. Berdasarkan skenario guncangan tanah dengan magnitudo maksimum dari sumber gempa bumi sesar yang ada di wilayah Kabupaten Wonosobo, Jawa tengah yaitu Sesar Baribis - Kendeng (Segmen Weleri), *Megathrust* Segmen Jawa Barat - Jawa Tengah. Potensi guncangan tanah terbesar yang dapat dirasakan di Kabupaten Wonosobo ditimbulkan oleh Sumber Sesar *Megathrust* Segmen Jawa Barat - Jawa Tengah dengan skala dampak dapat mencapai VII MMI (Getaran dirasakan oleh semua penduduk. Kebanyakan semua terkejut dan lari keluar, plester dinding jatuh dan cerobong asap pada pabrik rusak, kerusakan ringan).

DAFTAR PUSTAKA

- Darman, H. (2000). *An outline of the geology of Indonesia* (H. D. F. H. Sidi (ed.); 1st ed.). Indonesian Geologist Association. https://www.researchgate.net/publication/312092249_An_outline_of_the_geology_of_Indonesia
- Hall, R. (2009). *INDONESIA, GEOLOGY*. Encyclopedia of Islands.. Gillespie, R. & Clague, D. (eds.). Berkeley, California: University of California Press. <https://doi.org/10.1525/9780520943728-104>
- Hall, R., & Spakman, W. (2015). Mantle structure and tectonic history of SE Asia. *Tectonophysics*, 658, 14–45. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.07.003>
- Hall dan Wilson, 2000. Neogene Sutures in Eastern Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18 (2000), pp. 787-814
- Hamilton, W., Lujan, M., & Peck, D. L. (1979). *TECTONICS OF THE INDONESIAN REGION*. U.S. GEOLOGICAL SURVEY PROFESSIONAL PAPER 1078, DEPARTEMENT OF THE INTERIOR. <https://doi.org/10.3133/pp1078>
- Hartono, H. M. ., & Tjokrosapoetro, S. (1986). Geological evolution of the Indonesian Archipelago. *Geol. Soc. Malaysia, Bulletin, II*, 97–136. https://gsm.org.my/wp-content/uploads/gsm_file_2/702001-101431-PDF.pdf
- Hutchings, S. J., & Mooney, W. D. (2021). The Seismicity of Indonesia and Tectonic Implications. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 22(9). <https://doi.org/10.1029/2021GC009812>
- Jaya, A., Nishikawa, O., (2013). Paleostress Reconstruction from Calcite Twin and Fault–Slip Data Using The Multiple Inverse Method in The East Walanae Fault Zone: Implications for The Neogene Contraction in South Sulawesi, Indonesia. *Journal of Structural Geology*, 55: 34-49
- Kertapati, E. K. (2004). *Aktivitas Gempa Bumi di Indonesia*. Jakarta. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Badan Penelitian dan Pengembangan, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.

- Maulana, A., Ellis, D.J., Christy, A.G., 2010. Petrology, Geochemistry and Tectonic Evolution of the South Sulawesi Basement Rocks, Indonesia, in: Indonesian Petroleum Association, Proceedings 34th Annual Convention, Jakarta, IPA10-G-192 1-26.
- Metcalf, I. (2017). Tectonic evolution of Sundaland. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 63, 27–60. <https://doi.org/10.7186/bgsm63201702>
- Nakamura, Y., Sato, T., and Nishinaga, M.. 2000. Proceeding of the Sixth International Conference on Seismic Zonation EERI, Palm Springs California.
- Nakamura, Y, 2007, Development of Vulnerability assessment for ground and structures using microtremor, System and Data Research Co., Ltd.
- Nakamura, Y. 2008. *On The H/V Spectrum*. China: *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*
- National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP), 1994.
- OYO (2008) : Operation Manual and Technical Document : McSEIS-SXW 24Bit XP, Japan.
- Nishimura, S., & Suparka, S. (1990). *Tectonics of East Indonesia*. 181, 257–266. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(90\)90019-5](https://doi.org/10.1016/0040-1951(90)90019-5)
- PuSGeN. 2017. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia. Bandung: Pusat Studi Gempa Nasional.
- Pusat Gempabumi dan Tsunami (BMKG), 2019, Katalog Gempabumi Signifikan dan Merusak 1821 – 2018, Pusat Gempabumi dan Tsunami Kedeputan Bidang Geofisika Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- SNI 03-1726-2019. 2019. Standard Perencanaan Ketahanan Gempa pada Struktur Bangunan, BSN.
- Socquet, A., Simons, W., Vigny, C., McCaffrey, R., Subarya, C., Sarsito, D., Ambrosius, B., Spakman, W., 2006. Microblock rotations and fault coupling in SE Asia triple junction (Sulawesi, Indonesia) from GPS and earthquake slip vector data. *J. Geophys. Res.: Solid Earth* 1978–2012, 111.
- Sompotan, A.F., 2012, Struktur Geologi Sulawesi, Perpustakaan Sains Kebumihan, Bandung.

- Sukanto. Rab., S. Supriatna., 1982. Geologi Regional Lembar Pangkajene dan Watampone bagian Barat, Sulawesi Selatan, Dept. of Mine & Energi, Jakarta
- VAN BEMMELEN, R. W. (1949). *THE GEOLOGY OF INDONESIA: Vol. I A* (T. H. 1949 Goverment Printing (ed.); General Ge). Goverment Printing, The Hague 1949. https://www.researchgate.net/publication/293743528_Van_Bemmelen_IA
- van Leeuwen, T.M., 1981. The geology of southwest Sulawesi with special reference to the Biru area. In: Barber, A.J., Wiryosujono, S. (Eds.), *The Geology and Tectonics of Eastern Indonesia*. Geological Research and Development Centre, Bandung, Indonesia, pp. 277–304.
- Verstappen, H. T. (2010). Indonesian Landforms and Plate Tectonics. *Jurnal Geologi Indonesia*, 5(3), 197–207. <https://doi.org/10.17014/ijog.5.3.197-207>
- Wilson, M.E.J., Bosence, D.W.J., 1996, The Tertiary Evolution of South Sulawesi: A Record in Redeposited Carbonates of the Tonasa Limestone Formation, In: Hall, .and Blundell, D.J. (eds.), *Tectonic evolution of SE Asia*. Geological Society of London Special Publication, No. 106, 365-389.
- Zahirovic, S., Seton, M., & Müller, R. D. (2014). The Cretaceous and Cenozoic tectonic evolution of Southeast Asia. *Solid Earth*, 5(1), 227–273. <https://doi.org/10.5194/se-5-227-2014>

DAFTAR ISTILAH (*GLOSSARY*)

Amplitudo adalah jarak/simpangan terjauh dari titik kesetimbangan dalam gelombang sinusoidal yang diakibatkan guncangan gempa.

Amplifikasi adalah memperluas, memperbesar, atau memberi tekanan pada suatu objek

Akselerograf adalah alat yang digunakan untuk mencatat percepatan tanah selama gempa bumi berlangsung, juga biasa disebut akselerometer.

Akselerogram adalah rekaman percepatan tanah selama terjadinya gempabumi.

Array adalah Susunan.

Engineering Bedrock adalah Sebuah lapisan bawah permukaan bumi yang cocok untuk mendukung struktur.

Filtering adalah suatu proses dimana diambil sebagian sinyal dari frekwensi tertentu, dan membuang sinyal pada frekwensi yang lain

Ground adalah tanah / lapisan permukaan tanah.

Groundmotion Prediction Equation (GMPE) adalah persamaan empiris yang dibuat untuk mengestimasi nilai PGA atau PSA di suatu tempat.

Ground shear strain adalah kemampuan material lapisan tanah untuk saling meregang atau bergeser saat terjadi gempabumi.

g adalah satuan unit dari percepatan tanah dimana 1 g setara dengan 9.8 m/s^2 (percepatan gravitasi bumi).

Gals adalah satuan unit dari percepatan tanah dimana 1 gals setara dengan $1 \text{ cm/s}^2 = 980 \text{ g}$.

Getaran tanah adalah gerakan dinamik permukaan bumi yang bersumber dari gempa bumi atau sumber lain seperti ledakan, gunung berapi dan lain-lain. Getaran tanah merupakan efek dari gelombang yang dihasilkan oleh kejadian gempabumi atau sumber lain, yang kemudian menjalar keseluruh bagian bumi dan permukaannya.

Hiposenter adalah informasi lokasi terjadinya gempabumi koordinat garis lintang, garis bujur dan kedalaman gempabumi.

Intensitas adalah sebuah besaran yang mencerminkan pengaruh guncangan gempabumi yang dirasakan pada permukaan.

Indeks kerentanan seismik (Kg) adalah indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempa bumi.

Isotropis adalah medium sedemikian sehingga permitivitas (permittivity), ϵ , dan permeabilitas, μ , dari medium itu uniform ke segala arah dalam medium itu.

Likuefaksi tanah adalah fenomena yang terjadi ketika tanah yang jenuh atau agak jenuh kehilangan kekuatan dan kekakuan akibat adanya tegangan, misalnya getaran gempa bumi atau perubahan ketegangan lain secara mendadak, sehingga tanah yang padat berubah wujud menjadi cairan atau air berat

Magnitudo adalah sebuah besaran yang menyatakan besarnya energi seismik yang dipancarkan oleh sumber gempa bumi.

MMI adalah singkatan dari *Modified Mercalli Intensity*

Mikrotremor adalah getaran konstan pada permukaan bumi yang sangat lemah dengan amplitudo antara 10^{-4} – 10^{-2} mm.

Periode getar natural (alami) adalah periode getar bangunan untuk mode pertama. Mode merupakan ragam/pola goyangan struktur saat menerima beban dinamik. Mode pertama biasanya telah cukup mewakili dari keseluruhan mode yang terjadi pada struktur akibat suatu beban dinamik.

Peak Ground Acceleration (PGA) atau Percepatan Getaran Tanah Maksimum akibat gempa bumi adalah: Percepatan getaran tanah maksimum yang terjadi pada suatu titik pada posisi tertentu dalam suatu kawasan yang dihitung dari akibat semua gempa bumi yang terjadi pada kurun waktu tertentu dengan memperhatikan besar magnitudo dan jarak hiposenternya, serta periode dominan tanah di mana titik tersebut berada.

Percepatan tanah adalah percepatan getaran tanah pada suatu titik yang diakibatkan guncangan gempa bumi.

phase velocity adalah Kecepatan fase dari gelombang, laju di mana gelombang merambat dalam beberapa media

Resonansi merupakan peristiwa ikut bergetarnya suatu benda, karena pengaruh getaran dari benda lain disekitarnya yang mempunyai frekuensi yang sama dengan benda tersebut.

Shakemap adalah sebuah program untuk memperkirakan besarnya goncangan permukaan tanah.

Smoothing adalah proses memperhalus suatu signal dengan teknik tertentu.

Settlement/Crack adalah peristiwa yang menyebabkan lapisan tanah mengalami pemampatan (kompresi/pemadatan) akibat penambahan beban di atas permukaan tanah yang disebabkan oleh relokasi partikel tanah.

SNI adalah singkatan dari Standar Nasional Indonesia.



BADAN METEOROLOGI KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA
DIREKTORAT SEISMOLOGI TEKNIK GEOPOTENSIAL DAN TANDA WAKTU
TIM KERJA SEISMOLOGI TEKNIK

Info lebih lanjut :

www.bmkg.go.id,

<https://inatews.bmkg.go.id>

aplikasi mobile [info BMKG](#), [WRS-BMKG](#), [BMKG-AEIC](#)



@infobmkg



@infobmkg



@infobmkg