**Analisis Kecepatan Gelombang Geser (Vs)
Sebagai Upaya Mitigasi Bencana Gempabumi di Kulonprogo,
Daerah Istimewa Yogyakarta**

***Shear-wave (VS) Velocity Analysis
as Efforts Towards Mitigating Earthquake Disaster in Kulonprogo,
the Special Region of Yogyakarta***

Pupung Susilanto, Drajat Ngadmanto, Bambang Sunardi, dan Supriyanto Rohadi

Puslitbang BMKG, Jalan Angkasa 1 No. 2 Kemayoran, Jakarta Pusat - Indonesia
Naskah diterima 30 Januari 2018, selesai direvisi 22 Juli 2019, dan disetujui 07 Agustus 2019
e-mail: pupungsusilanto@gmail.com

ABSTRAK

Daerah Kulonprogo terletak dekat dengan zona subduksi dan keberadaan patahan-patahan lokal menyebabkan sering merasakan dampak guncangan gempabumi. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis kecepatan gelombang geser (Vs) sebagai salah satu upaya mitigasi bencana gempabumi di Kabupaten Kulonprogo. Nilai Vs dihasilkan dengan pengolahan 28 titik pengukuran *Multichannel Analysis of Surface Wave* (MASW) yang tersebar di daerah Kulonprogo. Pengolahan data dilakukan dengan membuat kurva yang menghubungkan antara kecepatan fase – frekuensi dan selanjutnya dilakukan *picking* pada *fundamental mode* serta dilakukan proses inversi untuk mendapatkan profil kecepatan gelombang geser 1 dimensi (Vs 1D). Hasil Vs 1D digunakan untuk menganalisis tingkat bahaya gempabumi. Analisis dilakukan pada nilai Vs secara spasial dan teknik penampang melintang berdasarkan nilai Vs 1D. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa daerah Wates, Panjatan, Galur, dan Temon sisi Utara memiliki tingkat bahaya guncangan gempabumi yang relatif lebih besar daripada daerah lain di Kulonprogo. Hal ini dikarenakan daerah tersebut memiliki nilai Vs yang relatif lebih rendah (endapan jenis tanah lunak dan jenis tanah sedang yang cukup tebal) dibandingkan daerah lain di Kabupaten Kulonprogo.

Kata Kunci: Kulonprogo, Kecepatan gelombang geser (Vs), MASW.

ABSTRACT

Located near the subduction zone and the presence of local faults, Kulonprogo often feels the impact of the earthquake shocks. This study aims to analyze the shear wave velocity (Vs) as one of earthquake disaster mitigation efforts in Kulonprogo Regency. Vs value is generated by processing 28 points measurement of *Multichannel Analysis of Surface Wave* (MASW) which spread in Kulonprogo area. Data processing is undertaken by making a curve that relates the phase velocity – frequency and then picking on *fundamental mode* and inversion process to get 1 dimensional shear velocity (Vs 1D) profile. The result of Vs 1D is used to analyze the earthquake hazard level. The analysis itself is performed on spatial Vs value and cross sectional technique based on Vs 1D value. The results show that Wates, Panjatan, Galur, and northside of Temon areas have a higher degree of earthquake shock hazard than other areas in Kulonprogo. It is because of the area has a relatively lower Vs value (soft soil type sediment and moderately thick soil type) than other areas in Kulonprogo Regency.

Key words: Kulonprogo, Shear Wave Velocity (Vs), MASW

PENDAHULUAN

Pesisir selatan Pulau Jawa merupakan daerah yang rawan mengalami dampak guncangan gempa bumi. Gempabumi Kebumen M6.2 pada 25 Januari 2014 dan gempa bumi Yogyakarta M6.4 pada 26 Mei 2006, merupakan contoh kejadian gempa bumi yang dampaknya dirasakan di wilayah ini. Salah satu daerah di pesisir selatan Jawa yang merasakan dampak guncangan gempa bumi tersebut adalah Kulonprogo. Wilayah Kulonprogo secara fisiografis terdiri dari Pegunungan Menoreh, Dataran Progo, Perbukitan Sentolo, dataran aluvial dan dataran pantai (Atlas Kulonprogo Regency, 2005).

Berdasarkan kondisi seismotektonik, Kulonprogo dikontrol oleh lajur seismotektonik tunjaman selatan Jawa yang merupakan bagian dari lempeng tektonik Samudera Indo-Australia yang menunjam di bawah bagian lempeng tektonik benua Asia-Eropa, serta lajur seismotektonik sesar aktif daratan Jawa berkaitan erat dengan keberadaan struktur sesar aktif (Soehaimi, 2008). Posisi Kulonprogo yang berbatasan langsung dengan zona pertemuan lempeng Eurasia-Indo-Australia dan adanya patahan-patahan lokal serta jumlah penduduk yang cukup besar (388.869 jiwa, data sensus penduduk Tahun 2010 <https://sp2010.bps.go.id>), mengharuskan adanya usaha-usaha mitigasi bencana terutama gempa bumi di wilayah Kulonprogo.

Upaya mitigasi gempa bumi yang dapat dilakukan antara lain adalah dengan memetakan wilayah aman terhadap dampak gempa bumi. Salah satu teknik atau metode yang dapat digunakan untuk menggambarkan kondisi tentang dampak gempa bumi di suatu wilayah adalah dengan melakukan analisis kecepatan gelombang geser (V_s). Dengan penggambaran secara spasial dan vertikal nilai V_s diharapkan mampu memberi gambaran kondisi geologi setempat, karena pada kejadian gempa bumi bukan hanya besar-kecilnya magnitudo dan jauh-dekatnya lokasi episenter gempa bumi saja yang mempengaruhi kerusakan, tetapi juga kondisi geologi setempat.

Beberapa kajian telah memperlihatkan bahwa tingkat kerusakan akibat gempa bumi sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi lokal. Sebagai contohnya adalah gempa bumi Bantul 27 Mei 2006 dan gempa bumi Michoacan, Mexico 19 September 1985. Kedua gempa bumi ini menjadi sangat merusak karena respon tanah setempat saat terjadi

gempabumi.

Terkait peristiwa gempa bumi tersebut, secara geologis zona Graben Bantul merupakan cekungan yang berisi material lepas produk letusan Gunung Merapi (Daryono, 2009), sementara Mexico City yang dibangun di atas bekas rawa (Gurler et.al., 2000) mengalami kerusakan hebat walaupun berjarak 400 km dari pusat gempa bumi. Ketebalan lapisan sedimen, jenis material batuan, dan geometri cekungan telah memicu terjadinya resonansi gelombang seismik, sehingga menimbulkan amplifikasi getaran gempa bumi. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian di daerah Kulonprogo ini adalah untuk melakukan analisis kecepatan gelombang geser (V_s) sebagai salah satu bagian dari upaya mitigasi bencana gempa bumi di daerah tersebut.

Kondisi geologi setempat menghasilkan amplifikasi yang signifikan pada gerakan tanah dan meningkatkan lamanya guncangan pada saat gempa bumi (Parolai, et.al., 2006., Montalvo-Arrieta, et al., 2008, dan Aboye, et al., 2011). Kondisi tanah lebih lunak akan mengalami amplifikasi gerakan yang lebih kuat daripada tanah yang lebih *consolidated* (Montalvo-Arrieta, et.al. 2008). Kecepatan gelombang geser (V_s) merupakan parameter penting untuk mengevaluasi kondisi dinamis dari tanah. Salah satu cara yang dapat digunakan adalah dengan merata-ratakan nilai V_s berdasarkan waktu penjalaran dari permukaan sampai kedalaman 30 m atau V_s^{30} (Brown, et.al. 2000). Nilai ini dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_s^{30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N (h_i / v_i)}$$

Notasi h_i dan v_i adalah ketebalan (meter) dan kecepatan gelombang geser (saat level *shear strain* 10^{-5} atau kurang) dari formasi atau lapisan, dari kedalaman kurang dari 30 m (Kanli, et.al., 2006). Kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter (V_s^{30}) merupakan parameter penting dalam prediksi gerakan tanah dan studi efek tanah lokal terhadap guncangan gempa bumi. V_s^{30} merupakan indikator kunci dari respon tanah yang umumnya mendominasi amplifikasi gerakan tanah akibat gempa bumi (Lee dan Tsai, 2008; Kanli, 2011).

Gambar 2. Diagram alur penelitian.

dengan geometri pengukuran sebagai berikut: jarak spasi antar geophone 2 m, jarak *offset* 5 m, dan *recording time* 1000 ms. Proses dilanjutkan dengan pembuatan kurva dispersi dari data seismik MASW 1D. Kurva dispersi merupakan kurva yang menghubungkan antara kecepatan fase dengan frekuensi. Pada kurva dispersi dilakukan *picking* pada *fundamental mode*. Hasil dari *picking* diolah untuk proses inversi guna mendapatkan profil kecepatan gelombang geser 1D. Hasil kecepatan gelombang geser 1D digunakan untuk analisis tingkat bahaya gempabumi. Gambaran singkat metode penelitian ditunjukkan dalam diagram alur penelitian pada Gambar 2 dan 3.

Gambar 3.
Alur pengolahan hasil pengukuran MASW.

Tabel 1. Klasifikasi Site Berdasarkan Atas Korelasi Penyelidikan Tanah Lapangan dan Laboratorium (Badan Standardisasi Nasional SNI 1726:2012).

Klasifikasi Site	Vs (m/dt)
A Batuan Keras	$s \geq 1500$
B Batuan	$750 < s < 1500$
C Tanah keras, sangat padat dan batuan lunak	$350 < s \leq 750$
D Tanah sedang	$175 < s \leq 350$
E Tanah lunak	$s < 175$
F Lokasi yang butuh penyelidikan geoteknik dan analisis respon spesifik	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi tanah lempung sangat sensitif tanah tersementasi lemah, lempung organik tinggi dan/atau gambut, plastisitas tinggi, lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35$ meter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan data pengukuran *MASW* memperlihatkan bahwa nilai kecepatan gelombang geser rata-rata kedalaman 0-30 m (V_s^{30}) di Kabupaten Kulonprogo berkisar antara 108 m/s – 989 m/s. Nilai V_s^{30} pada 28 lokasi di Kabupaten Kulonprogo bila dikonversi ke dalam klasifikasi jenis tanah berdasarkan SNI 1726-2012 (Tabel 1), didominasi oleh jenis tanah sedang dan tanah keras. Jenis tanah lunak didapatkan pada 3 (tiga) lokasi pengukuran yaitu di KPM_3 di Temon, KPM_4 di Wates dan KPM_5 di Panjatan.

Klasifikasi jenis batuan ditemukan di KPM_6 di Lendah dan KPM_19 di Kokap. Gambaran spasial nilai V_s^{30} yang dipetakan dengan menggunakan metode interpolasi *kriging* terlihat pada Gambar 4. Secara kualitatif daerah penelitian didominasi nilai V_s^{30} sedang hingga tinggi. Hanya pada sisi selatan atau pesisir yang memiliki nilai V_s^{30} yang rendah. Sebagaimana diketahui bahwa getaran yang disebabkan oleh gempabumi cenderung membesar pada tanah lunak (V_s^{30} rendah) dibandingkan pada

tanah keras atau batuan (V_s^{30} tinggi). Getaran pada tanah keras cenderung mempunyai kandungan frekuensi tinggi dan mempunyai panjang gelombang yang relatif pendek. Kemampuan suatu material untuk menyerap energi berbanding terbalik dengan panjang gelombang.

Oleh karena itu, gelombang frekuensi tinggi relatif lebih mudah diserap energinya oleh media yang dilalui oleh gelombang gempabumi. Dengan demikian, pada tanah keras, intensitas gempabumi akan beratenuasi lebih cepat atau amplifikasi spektrum semakin besar pada tanah yang lunak (Widodo, 2002). Gelombang seismik bergerak lebih cepat melalui batuan keras dari batuan lebih lunak dan sedimen. Saat gelombang berlalu dari yang lebih keras ke lebih lunak dan bergerak lambat, maka akan menghasilkan amplitudo yang lebih besar untuk membawa jumlah energi yang sama. Dengan demikian, guncangan cenderung lebih kuat di lokasi dengan lapisan permukaan yang lebih lunak yang gelombang seismik akan bergerak lebih lambat (Anbazhagan, 2011).

Gambar 4. Peta V_s^{30} Kabupaten Kulonprogo, DIY.

Gambar 5. Pola Penampang Melintang Data Vs³⁰.

Untuk mendapatkan gambaran sebaran secara vertikal di daerah penelitian, hasil pengolahan data Vs ini dibuat penampang melintang dengan menghubungkan beberapa titik pengukuran MASW. Penampang ini mampu melihat sebaran distribusi endapan jenis tanah yang diklasifikasikan berdasarkan nilai kecepatan gelombang gesernya. Namun, kelemahan teknik ini adalah tidak terakomodasinya kondisi topografi antar titik pengukuran. Nilai topografi yang digunakan hanyalah pada titik pengukuran saja. Penampang melintang yang dibuat adalah sebagai berikut: A-A' dengan arah relatif barat daya–timur laut, B-B' dengan arah relatif barat-timur, C-C' arah relatif tenggara–timur laut, dan D-D' arah relatif selatan–utara, serta E-E' arah relatif barat daya–timur laut (Gambar 5).

Hasil rekonstruksi sebaran jenis tanah dengan menghubungkan profil 1 (satu) dimensi kecepatan gelombang geser pada daerah penelitian dengan menggunakan ketinggian titik pengukuran tanpa mempertimbangkan topografi antar titik serta mengklasifikasikan jenis tanah berdasarkan SNI

1726-2012 diperlihatkan pada Gambar 6 – 9.

Gambaran spasial Vs³⁰ menunjukkan bahwa nilai yang rendah berada di Panjatan, Wates, Galur, dan Temon sisi Utara. Hasil selaras terlihat pada penampang melintang nilai Vs yang memperlihatkan pada 4 (empat) kecamatan tersebut sampai kedalaman 30 m terendapkan jenis tanah lunak ($V_s < 175$ m/s) dan jenis tanah sedang ($175 < V_s \leq 350$ m/s) yang tebal. Endapan tanah lunak yang tebal terlihat di KPM_4 dan KPM_5, sedangkan endapan tanah sedang yang cukup tebal terlihat pesisir selatan antara KPM_8 sampai KPM_10 atau berada di Temon, Wates, Panjatan, dan Galur.

Bila dilihat dari nilai Vs yang rendah tersebut, maka daerah ini merupakan daerah yang berpotensi untuk mendapatkan guncangan yang relatif lebih besar ketika terjadi gempa bumi daripada daerah lain di Kabupaten Kulonprogo. Selaras dengan penelitian Sairam et.al. (2001), yang menjelaskan bahwa kerusakan akibat gempa bumi umumnya lebih besar pada sedimen lunak daripada singkapan (*bedrock*)

Gambar 6. Penampang Melintang A-A'.

Gambar 7. Penampang Melintang B-B'.

Gambar 8. Penampang Melintang C-C'.

Gambar 9. Penampang Melintang D-D'.

Keterangan penggambaran warna jenis tanah berdasarkan kecepatan gelombang geser (V_s)

Warna					
Kecepatan Gelombang Geser (m/s)	$\bar{V}_s < 175$	$175 < \bar{V}_s \leq 350$	$350 < \bar{V}_s \leq 750$	$750 < \bar{V}_s < 1500$	$\bar{V}_s \geq 1500$

dan guncangan lebih kuat terjadi pada area dengan kecepatan gelombang geser yang rendah atau pada sedimen yang tebal. Sehingga pada daerah-daerah seperti ini memerlukan perhatian khusus dalam upaya mitigasi bencana gempa bumi.

Kecepatan gelombang geser yang rendah ini selaras dengan tinjauan geologi, menurut Rahardjo, dr. (1995) dalam tulisan Suwarno (2017), Kulonprogo terdiri dari 8 (delapan) satuan/formasi batuan, endapan aluvial yang tersusun oleh kerakal, pasir, lanau dan lempung, tersebar di sepanjang sungai yang besar dan dataran pantai. Daerah aluvial ini terdapat pada sisi selatan atau di daerah Temon, Wates, Panjatan, dan Galur. Sementara itu, secara morfografi seperti yang dijelaskan dalam Husein dan Srijono (2010) terlihat bahwa daerah utara Kulonprogo merupakan daerah perbukitan sementara untuk bagian selatan didominasi oleh aluvial hasil endapan Gunung Merapi di sebelah utara. Hasil analisis spasial V_s^{30} juga menunjukkan kesesuaian dengan kondisi geomorfologi dan geologi tersebut.

Profil kecepatan gelombang geser (V_s) 1D yang dihasilkan pada setiap titik pengukuran juga menunjukkan perbedaan jenis batuan di bawah permukaan sesuai material penyusun tanahnya.

Semakin lunak batuan, nilai kecepatan gelombang geser (V_s) akan semakin kecil dikarenakan nilai V_s berbanding lurus dengan densitas (kerapatan) batuan. Semakin kecil densitas batuan maka kecepatan gelombang geser juga akan semakin kecil dan berlaku sebaliknya.

Secara konsep kebencanaan, daerah di bagian utara Kulonprogo dengan nilai V_s^{30} yang cukup tinggi menunjukkan pada kondisi daerah seperti ini, jika terjadi gempa bumi maka kondisi tanah setempat akan dapat mempertahankan guncangan gempa bumi, karena distribusi batuan bawah permukaannya tersusun atas batuan yang lebih kompak sehingga gelombang gempa tidak mengalami amplifikasi. Sementara untuk wilayah bagian selatan Kulonprogo dengan nilai V_s^{30} yang relatif rendah (didominasi oleh jenis tanah lunak dan sedang) menjadikan daerah ini lebih rawan mendapat guncangan akibat gempa bumi, karena pada kondisi jenis tanah ini akan memudahkan terjadinya amplifikasi dan multirefleksi terhadap gelombang gempa bumi. Kondisi ini menjelaskan bahwa tingkat risiko kerusakan akibat ancaman gempa bumi tidak hanya dipengaruhi oleh magnitudo gempa bumi dan jarak episenter terhadap suatu daerah, tetapi juga kerentanan jenis

tanah secara geologi sangat berpengaruh terhadap risiko kerusakan.

Walaupun demikian, tingkat bahaya guncangan gempabumi di Kulonprogo secara keseluruhan relatif dalam tingkatan rendah karena jenis tanah yang mendominasi adalah pada jenis tanah sedang dan keras, hanya beberapa bagian yang terukur tanah lunak. Hal ini selaras dengan laporan tanggap bencana setelah kejadian gempabumi 27 Mei 2006 Yogyakarta, yang menunjukkan bahwa tingkat kerusakan di daerah penelitian ini relatif lebih kecil dibandingkan daerah lain di Yogyakarta.

Hasil penyelidikan bawah permukaan dangkal merupakan hasil yang unik untuk daerah tersebut, sehingga bila mendapatkan getaran gempabumi dari sumber gempabumi yang lain, misalnya dari gempabumi selatan Jawa, maka akan mengalami respon yang hampir sama dengan gempabumi 27 Mei 2006 (daerah yang aluvial atau daerah yang dominan di sisi Selatan akan mengalami guncangan yang relatif lebih tinggi daripada sisi Utara daerah Kulonprogo). Namun, yang membedakan adalah kekuatan gempabuminya. Gempabumi 27 Mei 2006, terasa lebih kuat karena sumber sangat dekat dan kekuatan cukup besar.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis nilai Vs di Kabupaten Kulonprogo, secara spasial dan penampang melintang, dapat dinyatakan bahwa daerah Wates, Panjatan, Galur, dan Temon sisi utara memiliki potensi bahaya guncangan gempabumi yang relatif lebih tinggi dibandingkan daerah lain di Kabupaten Kulonprogo. Hal ini dikarenakan pada daerah tersebut memiliki nilai Vs yang relatif lebih rendah (endapan jenis tanah lunak dan jenis tanah sedang yang cukup tebal) dan secara geologi merupakan endapan alluvial. Daerah-daerah dengan tingkat bahaya guncangan gempabumi yang relatif tinggi hendaknya menerapkan regulasi kode bangunan (*building code*) yang telah mempertimbangkan ancaman bahaya gempabumi secara baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika yang telah memberikan kesempatan penulis untuk terlibat dalam kegiatan penelitian Mitigasi Bencana Gempabumi tahun 2014, dan

memberikan izin penggunaan data penelitian untuk dituangkan dalam tulisan ini, serta ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada rekan-rekan peneliti di Puslitbang BMKG yang telah membantu hingga terselenggaranya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aboye, A., Andrus, R., Ravichandran, N., Bhuiyan, A., and Harman, N., 2011. *Site Factors for Estimating Peak Ground Acceleration in Charleston South Carolina Based on VS30*. 4th IASPEI/IAEE International Symposium August 23-26 2011, University of California Santa Barbara.
- Anbazhagan, P., 2011. *Introduction to Engineering Seismology*. National Programme on Technology Enhanced Learning (NPTEL)
- Atlas Kulonprogo Regency, 2005. *Main Report Special Province of Yogyakarta Regional in Cooperation with Development and Poverty Reduction Program – RDPRP*.
- Badan Standardisasi Nasional, 2012. SNI 1726:2012 - Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.
- Brown, L.T., Diehl, J.G., and Nigbor, R.L., 2000. *A Simplified Procedure to Measure Average Shear-Wave Velocity to A Depth of 30 Meters (Vs30)*, 12 WCEE 2000.
- Daryono, Sutikno, J. Sartohadi, Dulbahri, K.S Brotopuspito., 2009. *Efek Tapak Lokal di Graben Bantul Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. International Conference Earth Science and Technology, Yogyakarta, 6-7 Agustus 2009.
- Gurler, E.D., Nakamura, Y., Saita, J., Sato, T., 2000. *Local site effect of Mexico City based on microtremor measurement*. 6th International Conference on Seismic Zonation, Palm Spring Riviera Resort, California, USA, pp.65.
- Husein, S., dan Srijono, 2010. *Peta Geomorfologi Daerah Istimewa Yogyakarta. Prosiding Simposium Geologi Yogyakarta*. Yogyakarta, Indonesia, pp941-944.
- Kanli, A., I., 2011. *Surface Wave Analysis for Site Effect Evaluation*. 4th IASPEI/IAEE International Symposium: Effect of Surface Geology on Seismic Motion August 23-26, 2011. University of California Santa Barbara.

- Kanli, A.I., Tildy, P., Pronay, Z., Pinar, A., and Hermann, L., 2006. Vs30 Mapping and Soil Classification for Seismic Site Effect Evaluation in Dinar Region, SW Turkey. *Geophys. J.Int.*
- Lee, C.T., and Tsai, B.R., 2008. *Mapping Vs30 in Taiwan*. Terr. Atmos Ocean Sci. Vol. 19 No.6, 671-682, December 2008. DOI:10.3319/TAO.2008.19.6.671(PT).
- McPherson, A., and Hall, L., 2013. Site Classification for Earthquake Hazard and Risk Assesment in Australia. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 103, No. 2A.
- Montalvo-Arrieta, Juan, C., Cavazos-Tovar, P., De Leon, I.N., Alva-Nino, E., and Medina-Barrera, F., 2008. Mapping Seismic Site Classes in Monterrey Metropolitan Area, Northeast Mexico. *Boletin de la Sociedad Geologica Mexicana*. Volume 60, Num. 2, 2008.
- Park, C.B., Miller, R.D., and Xia, J., 1997. *Multi-Channel Analysis of SurfaceWave (MASW), A Summary Report of Technical Aspects, Experimental Results, and Perspective*. Kansas Geological Survey.
- Parolai, S., Richwalski, A.M., Milkereit, C., and Fah, D., 2006. S-Wave Velocity Profiles for Earthquake Engineering Purposes for the Cologne Area (Germany). *Bulletin of Earthquake Engineering*.
- Penduduk Menurut Wilayah, Jenis Dokumen Pencacahan yang digunakan, dan Jenis Kelamin. [<https://sp2010.bps.go.id/index.php/site/tabel?tid=337&wid=34000000000>].
- Sairam, B., Rastogi, B.K. Aggarwal, S., Chauhan, M., and Bhonde, U., 2001. Seismic Site Characterization Using Vs30 and Site Amplification in Gandhinagar Region, Gujarat, India. *Current Science* Vol. 100, No. 5, 10 March 2011.
- Satyam, D.N., and Rao, K.S., 2010. *Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW) Testing for Dynamic Site Characterization of Delhi Region*. Fifth International Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics and Symposium in Honor of Professor I.M. Idriss.
- Soehaimi, A., 2008. Seismotektonik dan Potensi Kegempaan Wilayah Jawa. *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 3 No. 4 Desember 2008:227-240.
- Suwarno, Yatin, 2017. Analisis Potensi Wilayah Kabupaten Kulon Progo Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Dari Ekstraksi Peta Geologi. Dalam: *Prosiding Seminar Nasional Geografi UMS 2017 Pengelolaan Sumberdaya Wialayah Berkelanjutan*.
- Wald, D., J., McWhirter, L., Thompson, E., and Hering, A.S., 2011. *A New Strategy for Develpoing Vs30 Maps*. 4th IASPEI/IAEE International Symposium: Effect of Surface Geology on Seismic Motion August 23-26, 2011, University of California Santa Barbara.
- Widodo, 2002. *Bahan Kuliah Teknik Gempa*. Jurusan Teknik Sipil FTSP, Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.