

# Ground Motion Modeling Wilayah Sumatera Selatan Berdasarkan Analisis Bahaya Gempa Probabilistik

Samsul Aprillianto<sup>1</sup>, Bagus Jaya Santosa<sup>1</sup>, dan Bambang Sunardi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

<sup>2</sup>Pusat Penelitian dan Pengembangan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Jakarta Pusat  
e-mail: suminar.pratapa@gmail.com

**Abstrak**—*Ground motion modeling* dapat dipergunakan untuk menentukan besarnya bahaya gempa pada batuan dasar di suatu site dan untuk menentukan sumber gempa yang memberikan dampak paling dominan pada suatu site. Dengan menggunakan prinsip *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) dan dengan menggunakan software USGS akan didapatkan nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) pada batuan dasar, yang kemudian dengan menggunakan *Nonlinear Earthquake site Response Analyses* (NERA) akan didapatkan *ground motion modeling* pada permukaan. Dengan melakukan metode tersebut pada suatu site di wilayah Sumatera Selatan, BH-01 dan BH-08 didapatkan hasil nilai PGA pada site BH-01 sebesar 0.248g dan pada BH-08 sebesar 0.2711g dengan masing masing memiliki maksimum kekuatan gempa sebesar 7.2 SR dan 7 SR serta sumber gempa yang memberikan dampak bahaya paling dominan adalah sumber gempa background. Dan untuk *ground motion modeling* pada permukaan untuk site BH-01 sebesar 0.41g dan pada site BH-08 sebesar 0.49g.

**Kata Kunci**—Gempa, *ground motion*, PGA, PSHA.

## I. PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia terletak di antara pertemuan tiga lempeng tektonik besar dan sembilan lempeng tektonik kecil. Pertemuan lempeng-lempeng tersebut menciptakan jalur subduksi dan sesar/*fault* aktif sehingga mengakibatkan sebagian besar wilayah Indonesia memiliki potensi kegempaan yang sangat tinggi. Gempa merupakan peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi didalam bumi secara tiba – tiba, gempa sendiri ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Gempa bumi dapat memberikan dampak yang sangat besar bagi para korban, mulai dari kerusakan pada sarana infrastruktur, bangunan perumahan warga, hingga korban jiwa. Dampak gempa akan semakin besar apabila bangunan yang terkena gempa tidak dibangun sesuai tata cara perencanaan ketahanan gempa. Untuk mengurangi dampak bencana gempa, upaya-upaya mitigasi sangat diperlukan [1].

Usaha-usaha yang bisa dilakukan untuk mengurangi resiko akibat bencana gempa salah satunya adalah dengan merencanakan dan membangun bangunan yang tahan gempa (Irsyam dkk., 2010). Untuk perencanaan bangunan yang tahan gempa memerlukan *ground motion* dan respon spektra di permukaan tanah. Parameter *ground motion* dan respon spektra di permukaan tanah merupakan salah satu parameter penting dalam desain bangunan tahan gempa. Hingga kini, data *ground*

*motion* masih sangat sedikit sehingga pada umumnya dalam analisis digunakan data *ground motion* gempa dari wilayah lain. Oleh karena data *ground motion* dan respon spectra merupakan parameter yang penting, maka penentuan *ground motion* harus sesuai dengan kondisi geologi, seismologi dan target parameter pergerakan batuan dasar (parameter *ground motion*), seperti percepatan gempa maksimum, kandungan frekuensi, dan durasi [2].

Untuk menentukan *ground motion* di permukaan tanah, diperlukan analisis bahaya gempa di batuan dasar. Analisis bahaya gempa di batuan dasar dapat dilakukan salah satunya dengan metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA). PSHA mempertimbangkan beberapa faktor ketidakpastian dalam menganalisis hasil PGA yang meliputi lokasi gempa, skala gempa dan frekuensi kejadian gempa, sehingga faktor ketidakpastian ini dapat diperhitungkan dan di analisis sehingga mendapatkan hasil pandangan yang jauh lebih akurat mengenai kejadian yang terjadi pada saat gempa serta dapat menginterpretasikan bahaya gempa pada daerah yang dianalisis terhadap sumber gempa[3].

Hasil PSHA selanjutnya dilakukan deagregasi untuk memperoleh *controlling earthquake* atau gempa yang memberikan kontribusi terbesar terhadap bahaya gempa pada suatu daerah. Deagregasi bahaya gempa akan menghasilkan rata-rata magnitude (M) dan jarak (R) paling dominan yang berpengaruh pada suatu daerah. Berdasarkan hal tersebut selanjutnya akan ditentukan *ground motion* gempa di batuan dasar yang memiliki karakteristik yang hampir sama dengan daerah tersebut. *Ground motion* sintetik dibuat untuk mengcover kurangnya data percepatan riwayat waktu di Indonesia (Sunardi, 2013). Model *ground motion* di permukaan tanah dilakukan dengan analisis respon dinamika tanah menggunakan input *ground motion* sintetik di batuan dasar yang diperoleh berdasarkan hasil analisis deagregasi dan proses *spectral matching*[4].

Gempa adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi didalam bumi secara tiba – tiba, gempa sendiri ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa dihasilkan dari pergerakan lempeng – lempeng tektonik pada daerah yang mengalami gempa atau disekitarnya. Energi yang dihasilkan ini dipancarkan kesegala arah dari sumber gempa yang berupa

gelombang seismic, sehingga efeknya akan dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi dengan melihat sifat gelombang yang dapat menjalar kesegala arah sesuai dengan asas Huygens[2].

Zona sumber gempa didefinisikan sebagai suatu area yang mempunyai derajat gempa yang sama, dimana setiap titik dalam zona tersebut mempunyai kemungkinan yang sama terjadinya gempa dimasa mendatang. Model sumber gempa diperlukan sebagai hubungan antara data kejadian gempa dengan model perhitungan yang digunakan dalam menentukan tingkat bahaya gempa. Batasan pemodelan suatu zona sumber gempa yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Kedalaman sumber gempa dibatasi hingga 300km
2. Jarak lokasi sumber gempa ke lokasi yang ditinjau dibatasi hingga 500km
3. Fungsi atenuasi yang digunakan untuk tiap – tiap model adalah fungsi atenuasi yang dianggap sesuai dengan karakteristik kegempaan dan model sumber gempa wilayah Indonesia[2].

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Pengumpulan Data Gempa

Data gempa yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah data gempa di sekitar wilayah Sumatera Selatan dengan batas koordinat 0 – 8.0 LS dan 100.0 – 107 BT dari tahun 1914 sampai bulan Maret 2016 dengan batas kedalaman maksimum 300 km hal ini disebabkan gempa-gempa dengan kedalaman > 300 km kurang memberikan dampak. Data gempa yang digunakan dalam Tugas Akhir ini dikumpulkan dari berbagai lembaga yang melakukan pengamatan kegempaan baik nasional maupun internasional antara lain Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Indonesia dan Katalog USGS.

### B. Pengolahan Data Gempa

Data gempa yang dikumpulkan memiliki berbagai macam jenis magnitude, diantaranya adalah magnitude *surface* (ms), magnitude lokal (ML), magnitude *body* (mb) dan *moment magnitude* (Mw). Jenis magnitude tersebut harus dikonversi terlebih dahulu menjadi satu skala magnitude yang sama sebelum digunakan dalam analisis bahaya gempa. Terdapat beberapa usulan formulasi atau persamaan konversi skala magnitude yang diusulkan peneliti seperti Purcaru dan Berckhemer (1978), Thatcher dan Hanks (1973), dimana rumus rumus tersebut dibuat dengan menggunakan analisis regresi. Selain itu, Idriss (1985) telah membuat grafik korelasi hubungan antara Mw dengan ML, MS, mb, dan MJMA. Konversi magnitude pada penelitian ini menggunakan data-data gempa (katalog gempa) wilayah Indonesia yang dikumpulkan dari berbagai sumber diatas. Kemudian dilakukan proses declustering yang merupakan proses pemisahan antara gempa utama dari gempa – gempa rintisan dan gempa – gempa susulannya. Setelah itu dilakukan proses analisis kelengkapan magnitude (*magnitude completeness*) dilakukan untuk mengetahui kelengkapan data yang diperlukan dalam proses analisis probabilistik. Ketidaklengkapan data gempa akan mengakibatkan parameter bahaya gempa yang dihasilkan menjadi *over estimated* atau *under estimated*.

### C. Proses PSHA (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*)

Dalam penelitian ini analisis seismic hazard dilakukan dengan bantuan *software* USGS *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (USGS PSHA-2007). Untuk analisa sumber gempa background input data dibuat dalam suatu sub-program *agridMLsm* (*code*) dan analisa *hazard*-nya dilakukan pada suatu sub-program yang bernama *hazgridXnga2* (*code*). Untuk sumber gempa sesar (*fault*) input data dibuat dalam suatu sub program *filtrate*, dan analisa *hazard*-nya dilakukan pada suatu sub-program *hazFXNga7c*. Untuk sumber gempa subduksi input dan analisa *hazard*-nya disatukan dalam suatu sub-program *hazsubXNga*. Hasil *hazard* dari ketiga sumber kemudian digabung dalam suatu sub-program yang disebut *hazXLall*. Hasil akhir dari analisis *hazard* ini adalah peta percepatan gempa maksimum dibatuan dasar untuk resiko terlampaui 2% dalam 50 tahun umur bangunan atau setara dengan periode ulang 2475 tahun. Analisis *seismic hazard* yang dilakukan terletak pada 2 *site* daerah pada provinsi Sumatera Selatan, yakni BH – 01 dan BH – 08 dengan koordinat 103.916971 BT dan – 3.408859 LS serta 104.073817 BT dan -3.793151 LS (Adi, 2015). Setelah itu akan mendapatkan nilai PGA di batuan dasar dan digunakan dalam proses deagregasi yang merupakan proses untuk menentukan kekuatan (M) dan jarak (R) dominan hasil dari PSHA yang memberikan kontribusi bahaya terbesar pada suatu *site* dengan periode ulang gempa dan periode struktur bangunan tertentu (Markup, 2009). Dan menghasilkan initial ground motion yang dapat memberikan *ground motion* pada *site* yang di amati pada batuan dasar, dan dengan menggunakan bantuan *software* NERA *Nonlinear Earthquake site Response Analyses* akan didapatkan *ground motion* pada permukaan.

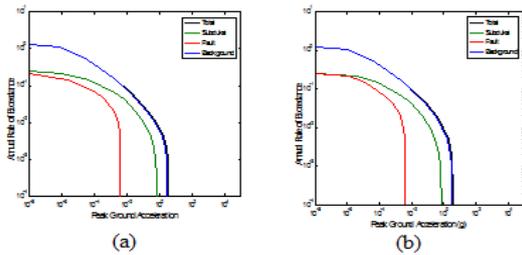
## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Analisa Probabilistic Seismic Hazard

Analisa *probabilistic seismic hazard* dilakukan pada dua *site* yaitu BH-01 dengan koordinat 103.92<sup>0</sup> BT dan 3.41<sup>0</sup> LS serta pada *site* BH-08 dengan koordinat 104.07<sup>0</sup> BT dan 3.79<sup>0</sup> LS. Hasil analisa berupa *Peak Ground Acceleration* (PGA) di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun atau periode ulang gempa 2.475 tahun. Untuk *site* BH – 01 diperoleh nilai PGA 0.25 g sedangkan *site* BH – 08 sebesar 0.27 g. Nilai PGA pada *site* BH-01 dan BH-08 memiliki nilai yang relatif rendah dikarenakan relatif jauh dari model sumber gempa *fault*, subduksi maupun *background*. Faktor-faktor yang mempengaruhi besar kecilnya nilai percepatan tanah pada suatu tempat adalah magnitude dari gempa yang terjadi, jarak episenter, kedalaman gempa, serta kondisi tanah pada *site* yang ditinjau. Percepatan tanah yang terjadi berbanding lurus dengan magnitude dan berbanding terbalik dengan jarak episenter, kedalaman hiposenter, dan kepadatan tanah[3].

Kurva bahaya gempa (*seismic hazard curve*) pada *site* BH-01 dan BH-08 ditunjukkan pada Gambar 1. Sumber gempa yang memiliki laju kejadian per tahun (*annual rate of exceedance*) dan bahaya gempa paling besar

adalah sumber gempa *background*. Sumber gempa *background* adalah sumber gempa yang belum diketahui secara jelas penyebab gempa yang terjadi. Sumber gempa *background* memprediksi kejadian gempa yang lebih besar kemungkinan dapat terjadi disekita gempa kecil sampai sedang yang pernah terjadi sebelumnya.

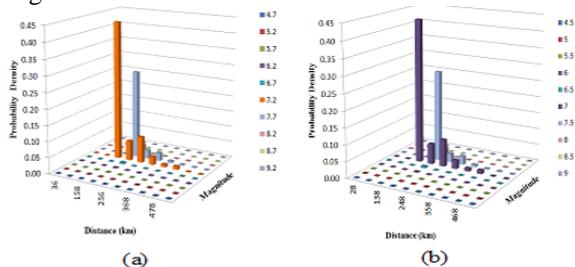


**Gambar 1.** Kurva bahaya gempa pada *site* BH-01 (a) dan *site* BH-08 (b).

Kurva bahaya gempa pada *site* BH-01 dan *site* BH-08 menunjukkan hal yang sama, dimana pada kedua kurva bahaya gempa tersebut menunjukkan laju gempa yang terjadi tiap tahun pada *site* BH-01 dan *site* BH-08 banyak dipengaruhi oleh sumber gempa *background* dan memiliki nilai *peak ground acceleration* yang paling besar pada sumber gempa *background*. Hal ini mengakibatkan pada *site* BH-01 dan *site* BH-08 sumber gempa yang paling dominan memberikan dampak kerusakan adalah sumber gempa *background*[4].

**B. Analisa Hasil Deagregasi Bahaya Gempa**

Hasil deagregasi bahaya (*hazard*) gempa di *site* BH-01 dan BH-08 untuk *hazard* gempa dengan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun ditunjukkan pada Gambar 2. Sumber gempa yang dominan adalah gempa yang bersumber dari zona *background*. Hasil deagregasi *hazard* gempa di *site* BH-01 didapatkan nilai rata-rata magnitude (*mean magnitude*) M sekitar 7.2 dan rata-rata jarak (*mean distance*) R sekitar 158 km (Gambar 2 a), sedangkan untuk *site* BH-08 didapatkan nilai rata-rata magnitude (*mean magnitude*) M sekitar 7 dan rata-rata jarak (*mean distance*) R sekitar 135 km (Gambar 2 b). Hasil analisis menunjukkan nilai *mean magnitude* (M) dan *mean distance* (R) *site* BH-01 dan *site* BH-08 secara umum dipengaruhi oleh kontribusi terbesar dari masing masing sumber gempa. Nilai *mean magnitude* (M) dan *mean distance* (R) merupakan titik berat dari setiap kontribusi masing-masing sumber gempa pada suatu daerah. Secara umum, daerah yang jauh dari sumber gempa *shallow crustal*, akan dominan dipengaruhi oleh gempa-gempa dari sumber gempa subduksi, sedangkan daerah yang dekat dengan sumber gempa *shallow crustal*, akan dominan dipengaruhi oleh gempa-gempa yang bersumber dari *shallow crustal* tersebut.

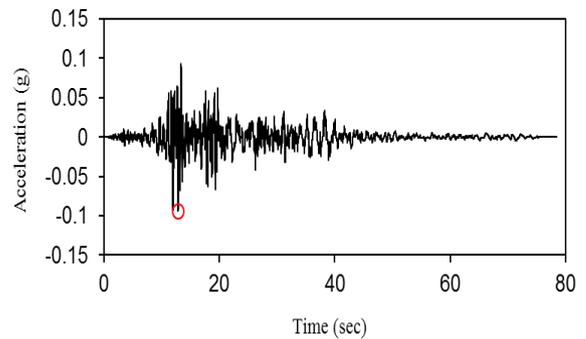


**Gambar 2.** Kurva deagregasi bahaya gempa untuk *site* BH-01 (a) dan BH-08 (b).

**C. Initial Ground Motion**

Deagregasi bahaya gempa memberikan gambaran gempa penentu (*controlling earthquake*) pada *site* yang ditinjau. Hasil deagregasi *hazard* gempa di *site* BH-01 dan BH-08 didapatkan *mean magnitude* M dan *mean distance* R sebagaimana Tabel 1. Sehubungan belum tersedianya rekaman gempa dengan magnitude M dan jarak (R) yang sama dengan gempa penentu tersebut, maka dicari rekaman percepatan tanah yang memiliki karakteristik yang sesuai dengan karakteristik tersebut, baik kekuatan (M), jarak (R) maupun mekanismenya untuk dijadikan sebagai *initial ground motion* pada *site* BH – 01 dan BH – 08.

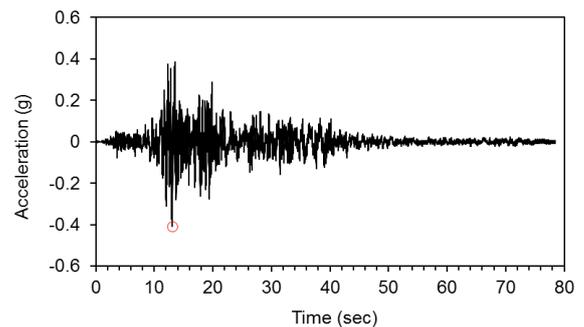
*Initial ground motion* yang dipilih pada penelitian ini adalah *initial ground motion* Kern County tahun 1952, yang digunakan untuk merepresentasikan sumber gempa *background*. *Initial ground motion* dari gempa Kern County tahun 1952 memiliki magnitude (M) 7.4 dan jarak (R) 121 km. Besarnya M dan R ini tidak sama persis dengan hasil deagregasi, namun memiliki nilai paling mendekati dengan magnitude (M) dan jarak (R) dari hasil deagregasi.



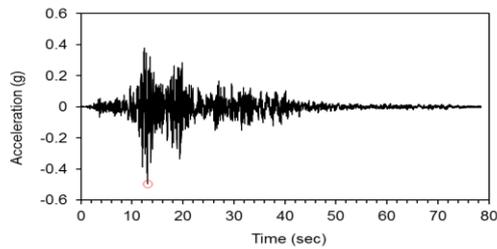
**Gambar 3.** Rekaman gempa Kern – County 1952 sebagai *initial ground motion*.

**D. Ground Motion Sintesis dan Respon Spektra Permukaan**

*Ground motion sintesis* di permukaan tanah dapat diperoleh dari percepatan tanah di batuan dasar yang dirambatkan ke permukaan dengan model perambatan gelombang 1 dimensi (1D), dengan menggunakan software *Nonlinear Earthquake site Response Analyses* (NERA). Pada permodelan perambatan gelombang 1D, lapisan tanah diasumsikan mempunyai panjang yang tak terbatas pada arah horisontal. Hasil perambatan gelombang 1 dimensi dari batuan dasar ke permukaan untuk *site* BH-01 dan BH-08 masing-masing ditunjukkan pada Gambar 4 dan 4.11.



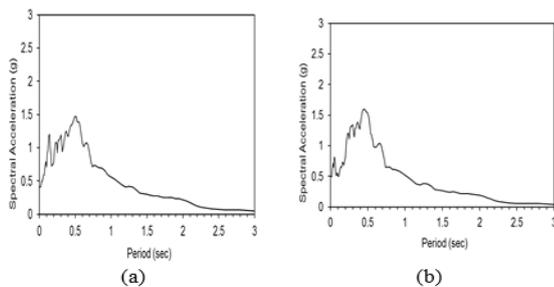
**Gambar 4.** Percepatan tanah sintesis di permukaan tanah pada *site* BH-01.



**Gambar 5.** Percepatan tanah sintetis di permukaan tanah pada *site* BH-08.

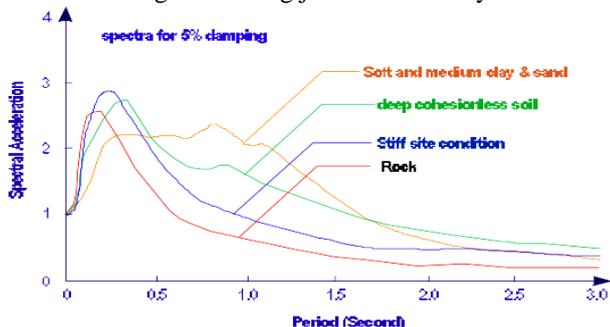
Besarnya nilai maksimum *ground motion* pada *site* BH-01 adalah 0.41 g sedangkan pada *site* BH-08 sebesar 0.49 g. Kedua nilai tersebut menunjukkan adanya peningkatan nilai percepatan dari batuan dasar menuju permukaan. Untuk *site* BH-01 terjadi peningkatan nilai percepatan sekitar 0.25 g sedangkan pada *site* BH-08 sekitar 0.27 g. Hal ini menunjukkan adanya amplifikasi nilai percepatan dari batuan dasar ke permukaan tanah[5].

Salah satu hasil lain yang dapat ditampilkan pada program NERA *Nonlinear Earthquake site Response Analyses* adalah respon spektra percepatan di permukaan tanah. Gambar 6 menunjukkan respon spektra percepatan di permukaan tanah untuk *site* BH-01 dan BH-08. Respon spektra percepatan untuk *site* BH-01 menunjukkan nilai percepatan sebesar 0.41g pada  $T = 0$  detik, 0.78 g pada  $T = 0.2$  detik dan 0.56 g pada  $T = 1$  detik. Pada *site* BH-08 memiliki nilai respon spektra percepatan sebesar 0.49 g pada  $T = 0$  detik, 0.81g pada  $T = 0.2$  detik dan 0.52 g pada  $T = 1$  detik.



**Gambar 6.** Respon spektra percepatan tanah di permukaan pada *site* BH-01 (a) dan BH-08 (b).

Kondisi tanah seperti jenis lapisan tanah dan tebal lapisan tanah sangat berpengaruh pada percepatan maksimum dan respon spektra yang terjadi di permukaan (Idriss, 1990, Kramer, S.L., 1996). Gambar 7 menunjukkan pengaruh jenis tanah terhadap bentuk respon spektra. Tanah lempung dengan konsistensi *soft-medium* terlihat mengalami rentang periode yang lebih lama dibandingkan rentang jenis tanah lainnya.



**Gambar 7.** Pengaruh jenis tanah terhadap bentuk respon spektra (Kramer, S.L., 1996).

**Tabel 1.** Klasifikasi Situs (SNI 1726:2012)

Kelas Situs	$V_s$ (m/detik)	N	$S_M$ (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	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50

Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dar 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:

1. Indeks plastisitas,  $PI > 20$
2. Kadar air,  $w \geq 40\%$
3. Kuat geser niralir  $S_u < 25$  kPa

Dari tabel 1 tentang klasifikasi situs diatas, akan dapat mengidentifikasi *site* yang diamati termasuk kedalam jenis tanah berbatuan, tanah sedang ataupun tanah lunak yang akan dapat memberikan efek pada percepatan tanah maksimum pada *site* yang diamati dengan asumsi semakin lunak jenis tanah pada *site* yang diamati akan memberikan kecepatan rambat gelombang geser yang semakin besar, sehingga akan memberikan dampak yang semakin besar pula pada percepatan tanah maksimum. Gelombang geser memiliki sifat antar lain gerakan partikel tegak lurus terhadap perambatan gelombang, menimbulkan deformasi geser pada material yang dilalui serta tidak dapat menjalar pada material cair. Gerakan partikel gelombang geser dapat digunakan untuk membagi komponen gelombang kedalam arah vertika (SV) dan arah horisontal (SH). Pada *site* BH-01 dan *site* BH-08 sesuai dengan tabel 1 merupakan situs dengan tanah sedang[6].

#### IV. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan penulis, didapatkan kesimpulan bahwa *peak ground acceleration* yang di dapatkan dari proses PSHA pada *site* BH - 01 memiliki nilai sebesar 0.248g memiliki nilai maksimum gempa sebesar 7.2 SR dan pada *site* BH - 08 yang memiliki nilai *peak ground acceleration* sebesar 0.27112g memiliki nilai maksimum gempa sebesar 7 SR dengan gempa dominan dari sumber gempa *background*. Serta *ground Motion* sintesis pada permukaan di *site* BH - 01 memiliki nilai maksimum sebesar 0.41g sedangkan pada batuan dasar memiliki nilai *ground motion* sebesar 0.248g dan *ground motion* sintesis pada permukaan di *site* BH - 08 memiliki nilai maksimum sebesar 0.49g, sedangkan pada batuan dasar memiliki nilai *ground motion* sebesar 0.2711g

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Bambang Sunardi M.T atas bimbingannya yang diberikan selama penulis menyelesaikan penelitian di Puslitbang BMKG dan pada Bapak Bagus Jaya Santosa atas bimbingannya yang diberikan selama penulis menyelesaikan laporan di ITS. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada kepala laboratorium

fisika geofisika jurusan Fisika FMIPA ITS yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan penelitian.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aldiamar, F., .dkk, 2010. Analisis dan Evaluasi Faktor Amplifikasi Percepatan Puncak di Permukaan Tanah. PUSJATAN : Bandung
- [2] Annaka, M., F. Yamazaki, and F. Katahira (1997), "A proposal of estimation equations for peak ground motion and response spectral using the data recorded by JMA87 seismograph", Proceedings of the 24th JSCE Earthquake Engineering Symposium, pp. 161-164 (In Japanese
- [3] Asrurifak, M . 2010. "Peta Respon Spektra Indonesia untuk Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan Model Sumber Gempa Tiga Dimensi dalam Analisis Probabilitas ". Institut Teknologi Bandung. Bandung
- [4] Bolt, Bruce A. (1993). Earthquakes-New Revised and Expanded, New York: W.H. Freeman and Co., New York, USA
- [5] Hutapea, B.M & Mangape, I., (2009), Analisis Hazard Gempa dan Usulan Ground Motion pada Batuan Dasar untuk Kota Jakarta, Jurnal Teknik Sipil, Vol. 16 No. 3, 121-131.
- [6] Ibrahim, G. dan Subardjo, 2005. Pengetahuan Seismologi. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta.