

Evaluasi Spektrum Respons Amplifikasi Gerak Tanah Gempa Studi Kasus Kampus Universitas Indonesia, Depok

Lingga Ekaputra Lucky Suryajaya^{1*}, Widjojo Adi Prakoso¹

¹ Jurusan Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Depok, Jl. Prof. DR. Ir. R. Roosseno, Kukusan, Beji, Depok, Jawa Barat, 16425

*Corresponding Author: linggalucky15@gmail.com

Abstrak

Penelitian evaluasi spektrum respons amplifikasi gerak tanah gempa dilakukan di Hutan UI, Depok. Penelitian ini merupakan tindak lanjut dari studi sebelumnya yang mempelajari amplifikasi gerak tanah gempa dari kedalaman 300 meter hingga permukaan tanah. Evaluasi dilakukan secara satu dimensi (1D) menggunakan perangkat lunak DEEPSOILv7 dengan metode studi parametrik terhadap aspek kekakuan tanah dan ketelitian pemodelan, yaitu: ekstrapolasi linear N-SPT, penyesuaian v_s dari kedalaman 80 meter – 300 meter, penyesuaian v_s dari permukaan tanah, penyesuaian model konstitutif tanah, dan penyesuaian f_{max} . Dari evaluasi yang dilakukan, diperoleh best model spektrum respons yang paling mendekati hasil rekaman di lapangan adalah dengan mengekstrapolasi N-SPT, menggunakan nilai v_s sebesar 2.000 m/s dari kedalaman 80 meter – 300 meter, penyesuaian v_s dikalikan dengan 1,5 dari permukaan tanah hingga lapisan ke-6 atau 23,5 meter, serta menggunakan nilai f_{max} tertinggi, yaitu 300 Hz. Dari penelitian ini, diketahui pula bahwa studi sebelumnya memodelkan tanah secara lebih lunak dan pengaturan f_{max} sebesar 30 Hz dianggap masih kurang teliti.

Kata kunci: amplifikasi, kekakuan tanah, spektrum respons, studi parametrik

Abstract

A seismic ground motion amplification spectrum evaluation study was carried out in UI Forest, Depok. This research followed up on a previous study that explored seismic ground motion amplification from a depth of 300 meters to the ground surface. The evaluation was conducted in one dimension (1D) using DEEPSOIL v7 software with a parametric study method on soil stiffness and modeling accuracy aspects, including linear extrapolation of N-SPT, adjustment of shear wave velocity (v_s) from depths of 80 meters to 300 meters, adjustment of v_s from the ground surface, adjustment of soil constitutive model, and adjustment of f_{max} . From the evaluation, the best response spectrum model closely matching field recordings was obtained by extrapolating N-SPT, using a v_s value of 2,000 m/s from depths of 80 meters to 300 meters, adjusting v_s multiplied by 1.5 from the ground surface to the 6th layer or 23.5 meters depth, and using the highest f_{max} value, which is 300 Hz. This study reveals that the previous model depicted the soil as softer, and the f_{max} setting at 30 Hz was considered less meticulous. The findings underscore the importance of accurate parameter adjustments in seismic ground motion amplification studies.

Keywords : amplification, soil stiffness, response spectrum, parametric study

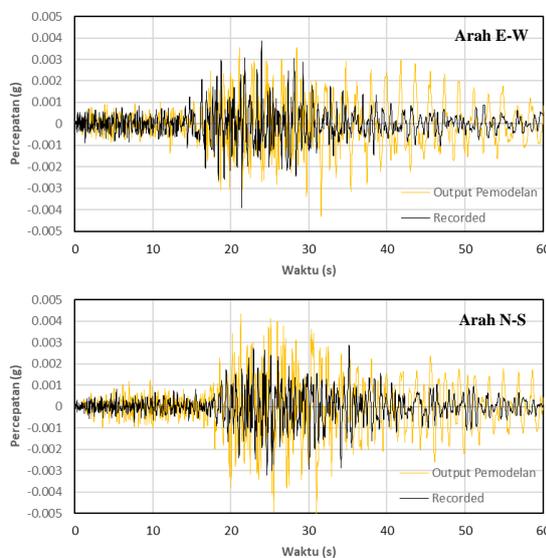
PENDAHULUAN

Studi awal amplifikasi gerak tanah gempa telah dilakukan di wilayah Kampus Universitas Indonesia yang berlokasi di Depok, tepatnya di Hutan Universitas Indonesia (UI). Studi ini bertujuan untuk mempelajari berbagai faktor yang memengaruhi amplifikasi gerak

tanah gempa lewat pemodelan secara 1 dimensi (1D) dengan perangkat lunak DEEPSOIL v7. Dalam melakukan pemodelan tersebut, terdapat data-data pendukung yang digunakan, antara lain: hasil uji penetrasi standar (N-SPT) hingga kedalaman 80 meter, hasil uji laboratorium pada beberapa kedalaman, hasil uji *microtremor array*

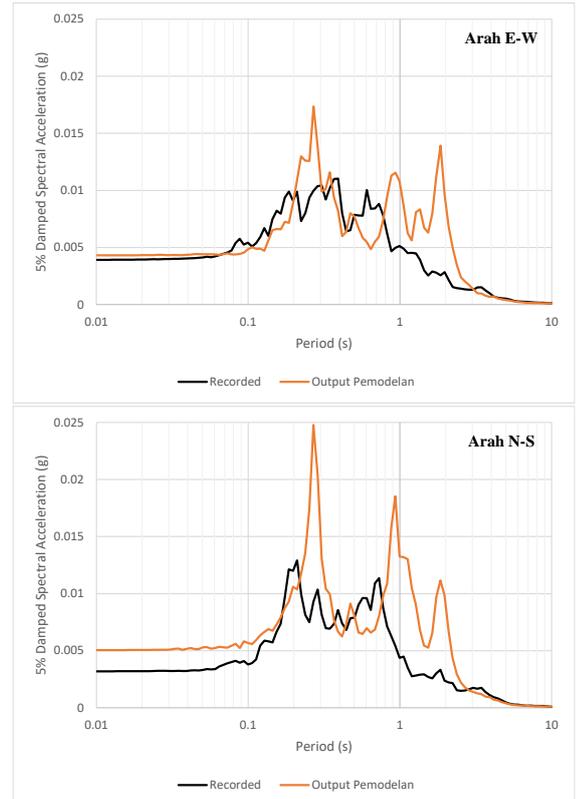
hingga kedalaman 1.000 meter, serta data gerak tanah gempa Banten, 14 Januari 2022 (magnitudo 6,6) yang tercatat di stasiun akselerometer BMKG pada permukaan tanah dan kedalaman 300 meter Hutannya UI.

Studi dilakukan dengan menyusun stratigrafi tanah Hutannya UI berdasarkan data pendukung yang ada, kemudian menggunakan gerak tanah gempa pada kedalaman 300 meter sebagai *input* yang akan teramplifikasi melalui stratigrafi tanah tersebut. *Output* gerak tanah gempa dari pemodelan selanjutnya dibandingkan dengan data catatan gerak tanah gempa yang terekam di permukaan tanah Hutannya UI. Hasil studi awal tersebut menunjukkan nilai *peak ground acceleration* (PGA) *output* pemodelan yang cenderung lebih besar daripada hasil pencatatan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perbandingan hasil *output* pemodelan dengan rekaman gerak tanah gempa di Hutannya UI

Permasalahan terkait nilai PGA yang cenderung lebih besar diduga terjadi karena pemodelan yang dilakukan terhadap stratigrafi tanah lebih lunak daripada yang seharusnya. Maka dari itu, analisis kemudian juga dilakukan terhadap spektrum respons hasil *output* pemodelan yang merupakan hubungan antara *peak spectral acceleration* (PSA) terhadap periode.



Gambar 2. Perbandingan hasil *output* pemodelan dengan rekaman spektrum respons di Hutannya UI

Spektrum respons pada Gambar 2 menunjukkan bahwa *output* pemodelan memiliki nilai PSA yang cenderung lebih besar dan periode lebih tinggi daripada hasil pencatatan. Dengan ditemukannya permasalahan pada spektrum respons yang kurang sesuai dengan hasil pencatatan, maka diperlukan studi lanjutan terkait faktor-faktor yang memengaruhi bentuk spektrum respons pada kasus amplifikasi gerak tanah gempa di Hutannya UI.

Gagasan yang dapat dikembangkan untuk mengevaluasi spektrum respons amplifikasi gerak tanah gempa di Hutannya UI adalah dengan memodelkan tanah secara lebih kaku. Hal ini didasarkan pada hasil *output* gerak tanah gempa yang memiliki PGA relatif lebih besar, serta spektrum respons yang memiliki periode lebih tinggi daripada hasil pencatatan. Selain itu, evaluasi spektrum respons juga dapat dilakukan dengan menggunakan model konstitutif tanah yang berbeda, serta mengatur ketelitian pemodelan lebih detail.

Pemodelan tanah yang lebih kaku dapat dilakukan salah satunya dengan melakukan ekstrapolasi linear N-SPT (Prakoso, 2011). Ide

dasar dari metode ekstrapolasi linear nilai N-SPT adalah jumlah pukulan pada *standard penetration test* (SPT) yang biasanya dibatasi hingga 60 pukulan, tetapi penetrasi belum mencapai 30 cm. Pada kasus tersebut, tanah tentu memiliki N-SPT lebih dari 60, tetapi praktik umum menuliskannya sebagai 60 pukulan hingga kedalaman penetrasi tertentu. Ekstrapolasi linear dapat dilakukan untuk menentukan jumlah pukulan (N-SPT) yang tidak sebenarnya (semu) sedemikian hingga kedalaman penetrasi mencapai 30 cm.

Selain melakukan ekstrapolasi linear pada data N-SPT, tanah dapat dibuat lebih kaku dengan meningkatkan nilai kecepatan gelombang geser tanah (v_s). v_s sebelumnya ditentukan berbasis korelasi empiris dan dikompositkan dengan hasil *microtremor array* secara umum di kawasan UI. Hal ini dilakukan dengan meratakan seluruh hasil korelasi empiris antara N-SPT dan v_s hingga kedalaman 80 meter menurut Tabel 1.

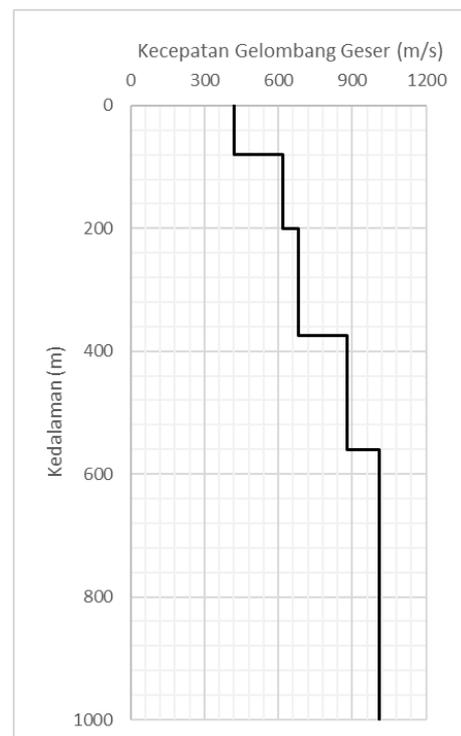
Tabel 1. Korelasi empiris antara N-SPT dan v_s

Sumber	Jenis Tanah	Korelasi
Imai (1997)	Semua tanah	$v_s (avg) = 91$ $N^{0,337}$
	Pasir	$v_s (avg) = 80,6$ $N^{0,331}$
	Lempung	$v_s (avg) = 80,2$ $N^{0,292}$
Ohta dan Goto (1978)	Semua tanah	$v_s (avg) = 85,35$ $N^{0,348}$
Seed dan Idriss (1981)	Semua tanah	$v_s (avg) = 61,4$ $N^{0,5}$
Sykora dan Stokoe (1983)	Pasir	$v_s (avg) = 100,5$ $N^{0,29}$
Okamoto dkk. (1989)	Pasir	$v_s (avg) = 125$ $N^{0,3}$
Pitilakis dkk. (1999)	Pasir	$v_s (avg) = 145$ $N^{0,178}$
	Lempung	$v_s (avg) = 132$ $N^{0,271}$
Kiku dkk. (2001)	Semua tanah	$v_s (avg) = 68,3$ $N^{0,292}$
Jafari dkk. (2002)	Pasir	$v_s (avg) = 22$ $N^{0,77}$
	Lempung	$v_s (avg) = 27$ $N^{0,73}$
	Semua tanah	$v_s (avg) = 99$ $N^{0,309}$

Hasancebi dan Ulusay (2007)	Pasir	$v_s (avg) = 90,82$ $N^{0,319}$
	Lempung	$v_s (avg) = 97,89$ $N^{0,269}$
Dikmen (2009)	Semua tanah	$v_s (avg) = 58$ $N^{0,39}$
	Pasir	$v_s (avg) = 73$ $N^{0,33}$
	Lanau	$v_s (avg) = 60$ $N^{0,36}$
	Lempung	$v_s (avg) = 44$ $N^{0,48}$

(Ameratunga, 2016)

Kemudian, nilai v_s dari permukaan tanah hingga kedalaman 80 meter dikompositkan dengan hasil *microtremor array* di kawasan UI pada Gambar 3 untuk memperoleh data dari kedalaman 80 meter hingga 300 meter.



Gambar 3. Hasil *microtremor array* di kawasan UI (Ridwan, 2016)

Dengan demikian, v_s dapat ditingkatkan dengan asumsi bahwa korelasi empiris antara N-SPT dan v_s , serta kompositnya terhadap data *microtremor array* di kawasan UI menghasilkan nilai v_s yang relatif lebih rendah daripada seharusnya, sehingga tanah yang dimodelkan pada studi amplifikasi gerak tanah gempa cenderung lebih lunak.

Model konstitutif tanah yang digunakan pada studi sebelumnya adalah *General Quadratic/Hyperbolic Model* (GQ/H) karena metode tersebut lebih populer dan umum digunakan, serta memiliki sensitivitas terhadap parameter kuat geser lebih tinggi. Evaluasi spektrum respons dapat dikembangkan lewat penyesuaian model konstitutif tanah dengan menggunakan model lain, seperti *Pressure-Dependent Modified Kondner-Zelasko* (MKZ). Pada model tanah ini, kuat geser tanah tidak diikutsertakan dalam analisis, sehingga dapat dipelajari dampak perubahan model konstitutif tanah terhadap spektrum respons

Ketelitian pemodelan dapat disesuaikan lewat pengaturan nilai frekuensi maksimum pada DEEPSOIL v7. Nilai frekuensi maksimum akan berpengaruh pada pembagian profil tanah, sehingga berimplikasi pada ketelitian dalam pemodelan. Pembagian profil tanah didasarkan pada persamaan:

$$H = v_s/4f_{max} \quad (1)$$

Dari persamaan tersebut, diketahui bahwa ketebalan lapisan berbanding terbalik dengan nilai f_{max} . Nilai frekuensi maksimum awal ditentukan menurut rekomendasi manual DEEPSOIL v7, yaitu sebesar 30 Hz (Hashash dkk., 2020). Penyesuaian dapat dilakukan dengan memperbesar nilai f_{max} untuk memperkecil ketebalan lapisan tanah. Hal tersebut berarti ketelitian pemodelan akan lebih baik.

Dengan demikian, berdasarkan permasalahan yang ditemukan dari studi amplifikasi gerak tanah gempa di Hutan UI dan landasan teori, ketidakcocokan antara hasil *output* pemodelan dengan rekaman gerak tanah gempa dapat dievaluasi lewat spektrum respons dengan melakukan *trial and error* di pengaturan pemodelan pada DEEPSOIL v7. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak perubahan beberapa parameter terhadap spektrum respons yang dihasilkan dan mengidentifikasi penyebab ketidakcocokan hasil pemodelan amplifikasi gerak tanah gempa yang telah dilakukan sebelumnya.

METODE PENELITIAN

Evaluasi spektrum respons amplifikasi gerak tanah gempa ditinjau dengan pemodelan secara 1 dimensi pada perangkat lunak DEEPSOIL v7. Evaluasi ini dilakukan dengan menggunakan data *input* berupa rekaman gempa Banten 14 Januari 2022 (magnitudo 6,6) yang

tercatat di stasiun akselerometer BMKG Hutan UI pada kedalaman 300 meter, serta data stratigrafi tanah dari studi sebelumnya. Metode penelitian yang diterapkan adalah studi parametrik sedemikian hingga spektrum respons setidaknya memiliki bentuk yang serupa dengan gerak tanah gempa yang terekam di permukaan tanah. Studi parametrik dilakukan pada beberapa faktor yang memengaruhi kekakuan tanah, model tanah, dan ketelitian pemodelan. Terdapat 5 aspek studi parametrik yang ditentukan, yaitu: ekstrapolasi linear N-SPT, penyesuaian v_s dari kedalaman 80 meter – 300 meter, penyesuaian v_s dari permukaan tanah, penyesuaian model konstitutif tanah, dan penyesuaian f_{max} .

Ekstrapolasi Linear N-SPT

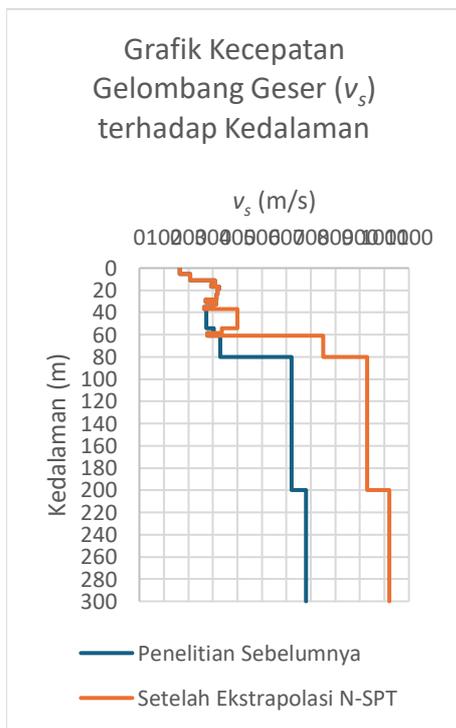
Jumlah pukulan pada pengujian SPT diekstrapolasi secara linear untuk menentukan N-SPT semu hingga kedalaman penetrasi mencapai 30 cm. Pada *bore log* hasil pengujian SPT hingga kedalaman 80 meter, jumlah pukulan mulai tidak mencapai 30 cm dari kedalaman 54 meter sampai 80 meter. Pada kedalaman 76 meter dan 80 meter, jumlah pukulan sudah mencapai 60 saat penetrasi belum melewati 15 cm pertama dalam uji SPT. Maka, pada kedalaman tersebut, ekstrapolasi linear dilakukan terhadap kedalaman penetrasi 45 cm. Tabel 2 menunjukkan nilai N-SPT semu yang merupakan hasil ekstrapolasi linear dari N-SPT aktual.

Tabel 2. N-SPT setelah ekstrapolasi linear

Kedalaman (m)	N-SPT Aktual	N-SPT Semu
54,00	60/22	81,82/30
56,00	60/20	90/30
58,00	35/30	35/30
60,00	37/30	37/30
62,00	51/30	51/30
64,00	60/23	78,26/30
66,00	60/4	450/30
68,00	60/23	78,26/30
70,00	60/4	450/30
72,00	60/5	360/30
74,00	60/3	600/30
76,00	60/3*	900/45
78,00	60/2	900/30
80,00	60/2*	1350/45

N-SPT yang lebih tinggi berdampak pada v_s lewat korelasi empiris menurut Tabel 1. Hal ini berimplikasi pada kekakuan tanah yang lebih

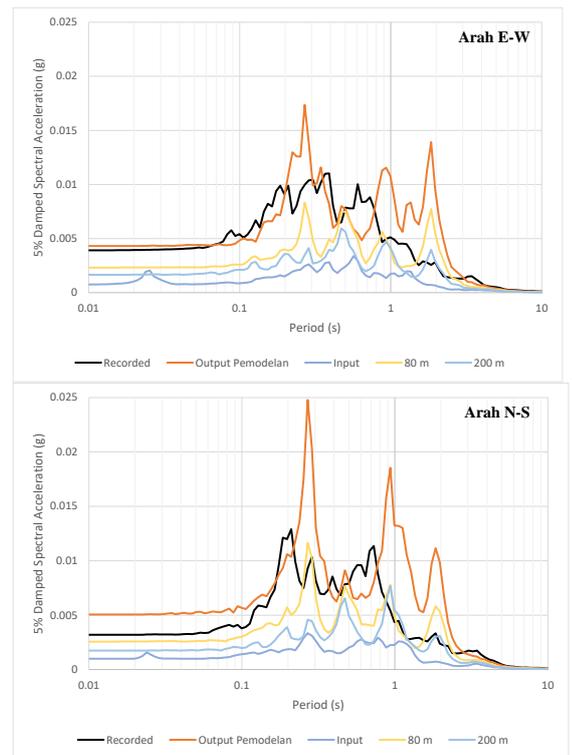
tinggi. Pada kedalaman 80 meter hingga 300 meter, penelitian sebelumnya menggunakan hasil *microtremor array* di kawasan UI (Gambar 3), yaitu sebesar 620 m/s pada kedalaman 80 meter hingga 200 meter dan 680 m/s pada kedalaman 200 meter hingga 300 meter. Nilai tersebut menjadi kurang rasional jika tetap dipertahankan untuk data v_s setelah ekstrapolasi N-SPT karena umumnya seiring bertambahnya kedalaman, tanah menjadi lebih kaku, sehingga kecepatan gelombang geser meningkat. Dengan demikian, kecepatan gelombang geser pada kedalaman 80 meter hingga 300 meter sebelumnya akan diuji coba dengan dikali 1,5 agar nilai menjadi lebih rasional. Gambar 4 menunjukkan nilai v_s yang digunakan pada penelitian.



Gambar 4. v_s sebelum dan setelah ekstrapolasi N-SPT

Penyesuaian v_s dari Kedalaman 80 meter – 300 meter

Kedalaman 80 meter hingga 300 meter menggunakan nilai v_s yang dikompositkan dari hasil *microtremor array* studi lain, sehingga meningkatkan ketidakpastian dalam penelitian. Hal ini didukung oleh penelusuran yang dilakukan pada studi sebelumnya (Gambar 5), di mana puncak-puncak PSA tampak berada pada periode yang lebih tinggi, bahkan dari kedalaman 200 meter dan 80 meter.



Gambar 5. Spektrum respons pada kedalaman 200 meter dan 80 meter

Dengan demikian, studi parametrik nilai v_s dilakukan pada kedalaman 80 meter – 300 meter dengan variasi awal v_s ditentukan sebesar 1.500 m/s, 2.000 m/s, dan 3.000 m/s.

Penyesuaian v_s dari Permukaan Tanah

Selain penyesuaian v_s dari kedalaman 80 meter – 300 meter, lapisan tanah di bagian atas juga dibuat lebih kaku dengan meningkatkan nilai v_s dari permukaan tanah sebesar 1,5 kali. Dengan demikian, studi parametrik nilai v_s dilakukan pada masing-masing lapisan dari permukaan tanah hingga kedalaman yang ditentukan, yaitu 30 meter. Dalam hal ini, rentang kedalaman tersebut dimodelkan dalam 8 (delapan) lapisan tanah pada DEEPSOIL v7, sehingga terdapat delapan variasi v_s yang dikalikan 1,5 secara kontinu.

Penyesuaian Model Konsitutif Tanah

Hasil pemodelan respons spektrum yang paling mendekati rekaman dari studi parametrik setelah ekstrapolasi linear N-SPT, penyesuaian v_s dari kedalaman 80 meter – 300 meter, dan penyesuaian v_s kemudian akan dimodelkan dengan model konstitutif tanah yang lain. Dalam

hal ini model konstitutif tanah yang dibandingkan adalah *General Quadratic/ Hyperbolic Model* (GQ/H), yaitu model konstitutif tanah yang digunakan pada studi sebelumnya dengan *Pressure-Dependent Modified Kondner-Zelasko* (MKZ).

Penyesuaian f_{max}

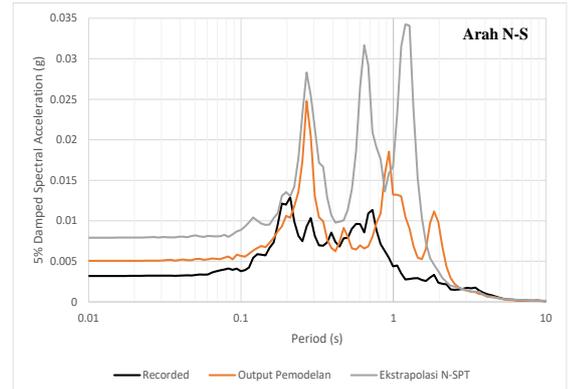
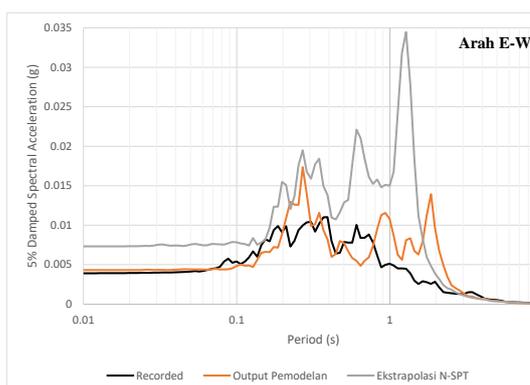
Pengaturan nilai f_{max} atau frekuensi maksimum berpengaruh pada pembagian lapisan tanah. Nilai frekuensi maksimum awal ditentukan berdasarkan rekomendasi minimal manual DEEPSOIL v7, yaitu sebesar 30 Hz. f_{max} dapat disesuaikan dengan cara mengatur nilai yang lebih besar, sehingga analisis akan dilakukan secara lebih teliti karena pembagian lapisan tanah yang lebih detail. Dengan demikian, studi parametrik nilai f_{max} ditentukan dengan variasi: 30 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz, dan 300 Hz.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan hasil evaluasi spektrum respons amplifikasi gerak tanah gempa di Hutan UI yang dilakukan dengan metode studi parametrik berupa: ekstrapolasi linear N-SPT, penyesuaian v_s dari kedalaman 80 meter – 300 meter, penyesuaian v_s dari permukaan tanah, penyesuaian model konstitutif tanah, dan penyesuaian f_{max} .

Ekstrapolasi Linear N-SPT

Berdasarkan hasil studi sebelumnya, spektrum respons mengindikasikan bahwa tanah dimodelkan secara lebih lunak dari seharusnya atau tanah seharusnya lebih kaku. Metode ekstrapolasi linear nilai N-SPT merupakan upaya awal untuk memodelkan tanah dengan lebih kaku karena dapat meningkatkan v_s sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 4. Berikut merupakan hasil pemodelan spektrum respons dengan ekstrapolasi linear nilai N-SPT.

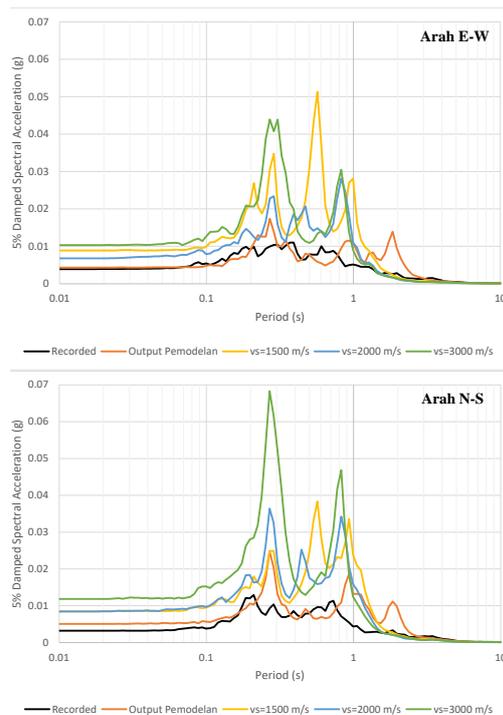


Gambar 6. Spektrum respons ekstrapolasi linear N-SPT

Berdasarkan Gambar 6, tampak bahwa percepatan spektral membentuk puncak yang lebih tinggi dari hasil studi sebelumnya. Namun, dalam hal periode, tampak puncak terakhir terjadi di periode yang sedikit lebih pendek dari hasil penelitian sebelumnya. Meski demikian, spektrum respons belum menunjukkan hasil yang mendekati pencatatan di lapangan.

Penyesuaian v_s dari Kedalaman 80 meter – 300 meter

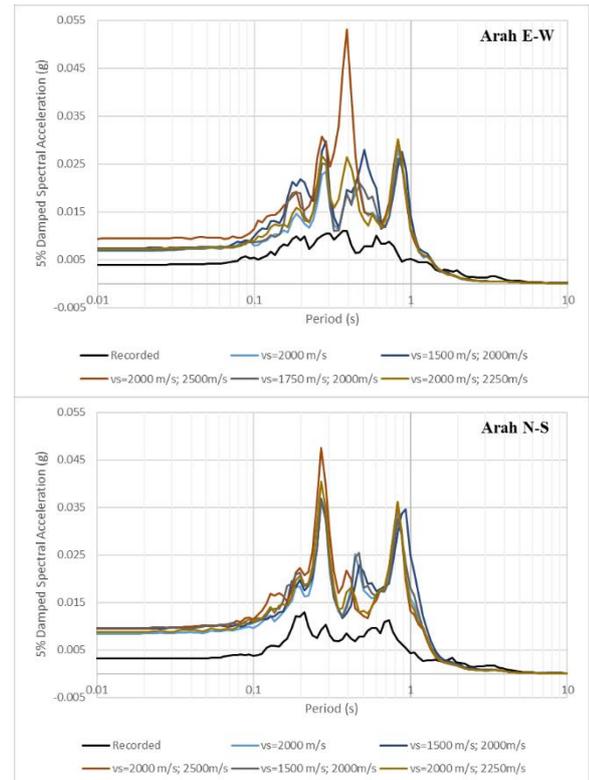
Hasil evaluasi spektrum respons berdasarkan ekstrapolasi linear nilai N-SPT belum menunjukkan hasil yang lebih baik secara signifikan. Oleh karena itu, evaluasi dilanjutkan dengan penyesuaian nilai v_s . Berdasarkan Gambar 5, spektrum respons sudah memiliki periode dan percepatan spektral tinggi dari awal terjadinya amplifikasi, yaitu pada kedalaman 200 meter dan 80 meter. Pada kedalaman tersebut pula, nilai v_s yang digunakan merupakan hasil komposit dengan penelitian lain yang tidak dikorelasikan terhadap nilai N-SPT. Dengan demikian, studi parametrik nilai kecepatan gelombang geser dilakukan pada kedalaman 80 meter – 300 meter dengan variasi v_s sebesar 1.500 m/s, 2.000 m/s, dan 3.000 m/s. Berikut merupakan hasil pemodelan spektrum respons dengan penyesuaian v_s dari kedalaman 80 meter – 300 meter.



Gambar 7. Spektrum respons penyesuaian v_s dari kedalaman 80 meter – 300 meter

Berdasarkan Gambar 7, tampak bahwa nilai v_s lebih besar pada kedalaman tersebut berpengaruh pada periode spektrum respons yang akan menjadi lebih pendek. Dari ketiga nilai v_s , nilai v_s sebesar 2.000 m/s yang paling mendekati hasil pencatatan di lapangan karena percepatan spektral yang dihasilkan cenderung lebih rendah dibandingkan nilai v_s lainnya dengan periode yang dihasilkan tidak berbeda signifikan.

Penelitian dilanjutkan dengan membagi lapisan tanah pada kedalaman 80 meter – 300 meter menjadi dua lapisan. Hal ini didasarkan pada hasil *microtremor array* di kawasan UI yang berbeda pada kedalaman 80 meter – 200 meter dan 200 meter – 300 meter. Nilai v_s acuan yang ditentukan adalah berdasarkan nilai terbaik sebelumnya, yaitu 2.000 m/s. Variasi v_s untuk kedalaman 80 meter – 200 meter dan 200 meter – 300 meter berturut-turut adalah 1.500 m/s dan 2.000 m/s, 2.000 m/s dan 2.500 m/s, 1.750 m/s dan 2.000 m/s, serta 2.000 m/s dan 2.250 m/s. Berikut merupakan hasil pemodelan spektrum respons dengan penyesuaian v_s yang dibagi menjadi dua lapisan dari kedalaman 80 meter – 300 meter.

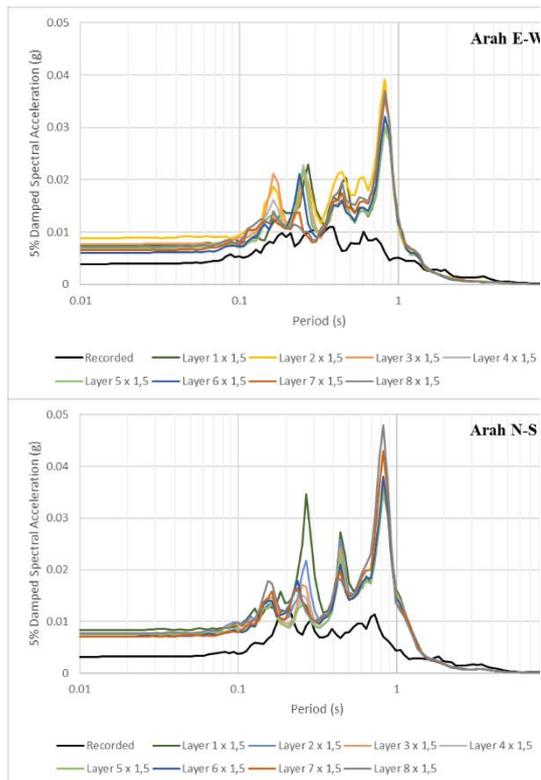


Gambar 8. Spektrum respons penyesuaian v_s dari kedalaman 80 meter – 300 meter (2)

Berdasarkan Gambar 8, tampak spektrum respons paling mendekati hasil pencatatan di lapangan adalah spektrum respons dengan nilai v_s sebesar 2.000 m/s yang tidak dibagi menjadi dua lapisan. Pada seluruh variasi v_s yang dibagi menjadi dua lapisan, tampak percepatan spektral cenderung lebih tinggi. Dengan demikian, pemodelan spektrum respons terbaik yang diperoleh dari penyesuaian v_s dari kedalaman 80 meter – 300 meter adalah 2.000 m/s tanpa dibagi menjadi dua lapisan.

Penyesuaian v_s dari Permukaan Tanah

Hasil evaluasi spektrum respons dengan penyesuaian v_s dari kedalaman 80 meter – 300 meter menghasilkan percepatan spektral yang lebih rendah dan periode yang lebih pendek, tetapi hal tersebut masih belum cukup mendekati hasil pencatatan di lapangan. Maka dari itu, evaluasi dilanjutkan dengan penyesuaian nilai v_s dari permukaan tanah, tetapi dengan nilai v_s dari kedalaman 80 meter – 300 meter dipertahankan sebesar 2.000 m/s. Tanah perlu dimodelkan secara lebih kaku, sehingga dilakukan *trial and error* dengan mengalikan v_s dari permukaan tanah dengan 1,5.



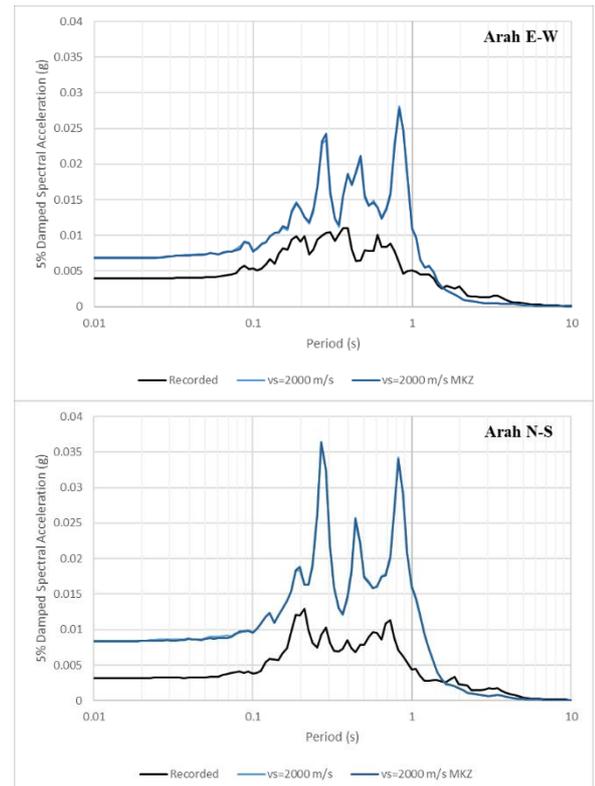
Gambar 9. Spektrum respons penyesuaian v_s dari permukaan tanah

Berdasarkan Gambar 9, tampak bahwa spektrum respons yang paling mendekati hasil pencatatan adalah penyesuaian v_s dari permukaan tanah hingga lapisan ke-6 atau pada kedalaman 23,5 meter. Hal tersebut juga berarti respons spektrum menghasilkan percepatan spektral yang paling rendah jika dibandingkan dengan variasi lain. Studi parametrik ini juga menunjukkan bahwa terdapat indikasi korelasi empiris antara N-SPT dengan kecepatan gelombang geser cenderung menghasilkan nilai v_s yang lebih rendah, sehingga tanah dimodelkan lebih lunak.

Penyesuaian Model Konstitutif Tanah

Penelitian dilanjutkan dengan menggunakan model konstitutif tanah *Pressure-Dependent Modified Kondner Zelasko* (MKZ). Model konstitutif tanah ini tidak menggunakan kuat geser sebagai pertimbangan pemodelan, sehingga analisis dilakukan lebih sederhana. Pemodelan dilakukan pada *best model* yang telah diperoleh dari studi parametrik sebelumnya, yaitu nilai v_s sebesar 2.000 m/s dari kedalaman 80 meter – 300 meter dan penyesuaian v_s dikalikan dengan 1,5 dari permukaan tanah hingga lapisan ke-6. Berikut merupakan hasil pemodelan

spektrum respons dengan penyesuaian model tanah.

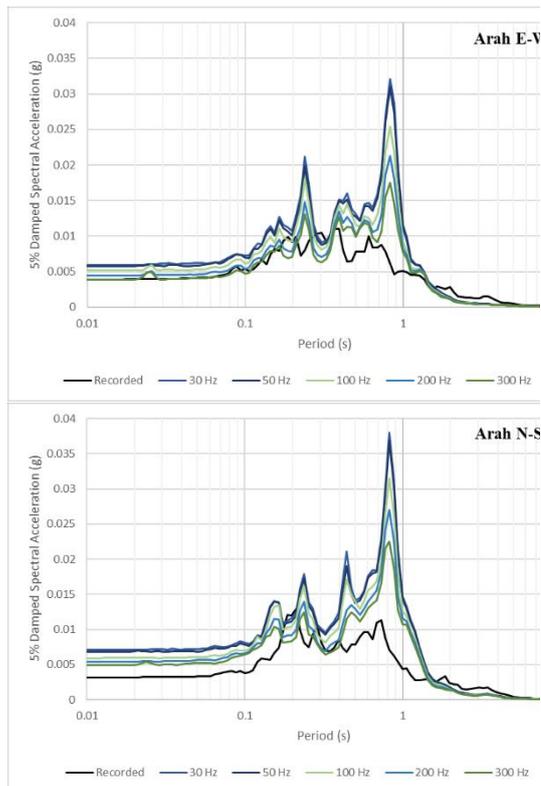


Gambar 10. Spektrum respons penyesuaian model tanah

Berdasarkan Gambar 10, tampak tidak ada perbedaan yang signifikan antara spektrum respons dengan model konstitutif *General Quadratic/Hyperbolic* (GQ/H) dan *Pressure-Dependent Modified Kondner Zelasko* (MKZ). Dari spektrum respons ini, diketahui pula bahwa kuat geser tidak berpengaruh signifikan terhadap pemodelan amplifikasi gerak tanah gempa karena model konstitutif MKZ tidak melibatkan kuat geser dalam analisisnya.

Penyesuaian f_{max}

Berdasarkan *best model* yang telah diperoleh dari hasil studi parametrik sebelumnya, penelitian dilanjutkan dengan melakukan penyesuaian pengaturan nilai f_{max} atau frekuensi maksimum. Berikut merupakan hasil pemodelan spektrum respons dengan penyesuaian f_{max} .



Gambar 11. Spektrum respons penyesuaian f_{max}

Berdasarkan Gambar 11, tampak bahwa makin tinggi f_{max} , percepatan spektral menjadi lebih rendah dengan nilai periode yang sama. Hal ini menunjukkan ketelitian analisis lewat pengaturan f_{max} dapat berpengaruh pada hasil spektrum respons secara keseluruhan, khususnya dalam hal percepatan spektral. Namun, makin tinggi nilai f_{max} yang ditentukan, waktu dalam memproses data akan lebih lama pula.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah *best model* hasil evaluasi spektrum respons amplifikasi gerak tanah gempa di Hutan UI adalah mengekstrapolasi N-SPT, menggunakan nilai v_s sebesar 2.000 m/s dari kedalaman 80 meter – 300 meter, penyesuaian v_s dikalikan dengan 1,5 dari permukaan tanah hingga lapisan ke-6 atau 23,5 meter, serta menggunakan nilai f_{max} tertinggi, yaitu 300 Hz. *Best model* menghasilkan spektrum respons yang paling mendekati hasil rekaman di lapangan. Dengan demikian, tanah perlu dimodelkan secara lebih kaku dari studi sebelumnya agar spektrum respons memiliki percepatan spektral dan periode yang relatif lebih rendah. Selain itu, pengaturan frekuensi maksimum sebesar 30 Hz pada studi sebelumnya dianggap masih kurang teliti karena

peningkatan frekuensi maksimum menghasilkan pemodelan yang lebih baik.

Saran yang dapat dikembangkan terkait penelitian evaluasi spektrum respons amplifikasi gerak tanah gempa adalah melakukan penelitian serupa dengan data yang berbeda, sehingga dapat dilakukan analisis komparatif terhadap penelitian yang telah dilakukan. Penelitian juga dapat dikembangkan dengan melakukan studi parametrik terhadap beberapa besaran lain yang memungkinkan agar dapat mempelajari perilaku dan sensitivitas spektrum respons.

DAFTAR PUSTAKA

Das, B. M., Ramana, G. V., 2011, Principles of Soil Dynamics Second Edition, Cengage Learning, Suite 400 Stamford.

Groholski, D., Hashash, Y., Kim, B., Musgrove, M., Harmon, J., and Stewart, J, 2016, Simplified Model for Small-Strain Nonlinearity and Strength in 1D Seismic Site Response Analysis, Journal Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001496, 04016042.

Hashash, Y.M.A., Musgrove, M.I., Harmon, J.A., Ilhan, O., Xing, G., Numanoglu, O., Groholski, D.R., Phillips, C.A., and Park, D, 2020, DEEPSOIL 7.0, User Manual, Urbana, IL, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign.

Hutabarat, D., 2016, Evaluation of One-Dimensional Seismic Site Response Analyses at Small to Large Strain Levels.

Misliniyati, R., Sahadewa A., Hendriyawan, Irsyam, M. Parametric Study of One-Dimensional Seismic Site Response Analysis Based on Local Soil Condition of Jakarta.

Kementerian PUPR, 2019, Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Fondasi. Direktorat Jenderal Bina Marga.

Kramer, S.L., 1996, Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, Upper Saddle River.

Prakoso, W. A., Daud, Y., Pratama, S. A., 2011, Karakteristik Geoteknik Stasiun Accelerometer Tanjung Priok (JATA) dan Depok (JAUI).

Puri, N., Jain, A., Mohanty, P., & Bhattacharya, S., 2018, Earthquake Response Analysis of Sites in

State of Haryana using DEEPSOIL Software.
Procedia Computer Science, 125, 357–366.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.12.047>.

Ridwan, M., 2016, Study of Ground Subsurface in Jakarta by Using Microtremor Array Method: Identification of Engineering Bedrock Depth and Site Class.

Setiani, N., Zaenudin, A., Hidayat, S., 2014, Amplifikasi Gempa Bumi Daerah Subang Jawa Barat, Jurnal Geofisika Eksplorasi, Vol. 2, No. 01.

SNI 8460-2017, Persyaratan Perencanaan Geoteknik

Yunita, H., Setiawan, B., Saidi, T., & Abdullah, N., 2018, Site Response Analysis for Estimating Seismic Site Amplification in the Case of Banda Aceh - Indonesia. MATEC Web of Conferences, 197.
<https://doi.org/10.1051/matecconf/201819710002>.