



## **PENGEMBANGAN PETA KECEPATAN GELOMBANG GESER DAN PETA TAHANAN PENETRASI STANDAR DI SEMARANG**

Abi Shandy Jananda, Pratami Fadillah, Windu Partono <sup>\*)</sup>, Siti Hardiyati <sup>\*)</sup>

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

### **ABSTRAK**

Untuk melakukan analisis perambatan gelombang diperlukan data tanah bawah permukaan yang lengkap dan akurat. Data diperoleh langsung dari survei geoteknik lapangan dan dari uji laboratorium terhadap contoh tanah yang diambil dari bawah permukaan melalui boring. Parameter dinamik tanah ditentukan secara tidak langsung dari hasil pengujian statis di lapangan, yakni uji penetrasi standar (SPT) dan uji sondir (CPT). Beberapa peneliti telah melakukan studi dan menghasilkan korelasi empiris antara kecepatan gelombang geser ( $v_s$ ) dengan nilai  $N$ -SPT dan tahanan konus ( $q_c$ )-CPT diantaranya Imai (1977), Imai & Tenouchi, (1982), Ohta & Goto (1978), dan Sykora & Stokoe (1983). Data menggunakan laporan penyelidikan tanah dari 85 lokasi tinjauan di kota Semarang, terdiri dari 156 titik boring, 83 titik Sondir manual, dan 96 titik sondir mesin. Untuk menentukan parameter kelas situs menggunakan metode rata-rata berbobot nilai  $N$  dan  $v_s$  untuk profil tanah sedalam 30 meter. Hasil penelitian ini berupa peta parameter tanah ( $\bar{N}$  dan  $\bar{v}_s$ ), dan peta kelas situs tanah kota Semarang. Berdasarkan 2

(dua) parameter tanah, klasifikasi tanah di Semarang dibagi menjadi dua kelas situs, yaitu tanah sedang (SD) dan tanah lunak (SE). Kelas situs SE berada di sepanjang pesisir utara kota Semarang, sedangkan kelas situs SD berada di sisi selatan kota Semarang.

**kata kunci :** peta Semarang, nilai  $N$ , tahanan konus, sedalam 30 meter, kelas situs

### **ABSTRACT**

To perform the necessary analysis of wave propagation subsurface soil data are complete and accurate. Data were obtained directly from the field geotechnical surveys and obtained from laboratory tests on soil samples taken from beneath the surface through bore hole. Dynamic soil properties determined indirectly from the results of static testing in the field, the Standard Penetration Test (SPT) and Cone Penetration Test (CPT). Several researchers have conducted studies and generate empirical correlation between shear wave velocity ( $v_s$ ) with SPT  $N$ -values and CPT cone resistance ( $q_c$ ) such as Imai (1977), Imai & Tenouchi (1982), Ohta & Goto (1978), and Sykora & Stokoe (1983). Using data from the soil investigation reports of 85 locations spread across the Semarang city,

<sup>\*)</sup> Penulis Penanggung Jawab

consisting of 156 boring point, 83 point manual CPT, and 96 points machine CPT. To determine the site class parameters using weighted average method of  $N$  and  $vs$  value for 30 meters topsoil profile. The results of this study become soil properties map ( $\bar{N}$  and  $\bar{v}_s$ ),

and site-class map of Semarang city. Based on two (2) soil properties, soil classification in Semarang divided into two site-class, stiff soil (SD) and soft soil (SE). SE site-class commonly found in the north coast side of Semarang city, while soil SD site-class found in the south side of Semarang city.

**keywords:** Semarang map,  $N$ -value, cone resistance, 30 meter depth, Site Class

## PENDAHULUAN

### Latar belakang

Gelombang gempa merambat melalui batuan dasar di bawah permukaan tanah. Dari kedalaman batuan dasar ini gelombang gempa tersebut kemudian merambat ke permukaan tanah sambil mengalami pembesaran (amplifikasi), bergantung pada jenis lapisan tanah yang berada di atas batuan dasar tersebut. Dengan adanya pembesaran gerakan ini, maka pengaruh gempa rencana di permukaan tanah ditentukan dari hasil analisis perambatan gelombang gempa dari kedalaman batuan dasar ke permukaan tanah (KemenPU, 2010).

### Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Membuat Peta Tahanan Penetrasi Standar rata-rata ( $\bar{N}$ ) untuk Kota Semarang.
2. Membuat Peta Kecepatan rata-rata Gelombang Geser ( $\bar{v}_s$ ) untuk Kota Semarang.
3. Membuat Peta Kelas Situs tanah Kota Semarang berdasarkan klasifikasi nilai  $\bar{N}$  dan  $\bar{v}_s$ .

### Ruang lingkup

Dipilihnya Kota Semarang sebagai objek studi yakni karena Kota Semarang sendiri masih minim memiliki peta tingkat kerawanan terhadap bencana khususnya gempa, dari pemetaan ini digunakan sebagai langkah awal dalam upaya mengurangi korban jiwa dan kerugian akibat gempa. Secara geografis wilayah Kota Semarang berada antara  $6^{\circ}50' - 7^{\circ}10'$  LS dan  $109^{\circ}35' - 110^{\circ}50'$  BT dengan luas wilayah  $373,70 \text{ km}^2$  dengan batas administratif sebelah utara dibatasi laut Jawa, sebelah selatan dengan kabupaten Semarang, sebelah timur dengan kabupaten Demak, sebelah barat dengan kabupaten Kendal.

Kota Semarang memiliki 16 kecamatan meliputi Mijen ( $62,15 \text{ km}^2$ ), Gunung Pati ( $53,99 \text{ km}^2$ ), Banyumanik ( $25,13 \text{ km}^2$ ), Gajah Mungkur ( $8,53 \text{ km}^2$ ), Semarang Selatan ( $8,48 \text{ km}^2$ ), Candisari ( $5,56 \text{ km}^2$ ), Tembalang ( $44,20 \text{ km}^2$ ), Pedurungan ( $19,85 \text{ km}^2$ ), Genuk ( $27,38 \text{ km}^2$ ), Gayamsari ( $6,36 \text{ km}^2$ ), Semarang Timur ( $7,7 \text{ km}^2$ ), Semarang Utara ( $10,46 \text{ km}^2$ ), Semarang Tengah ( $6,05 \text{ km}^2$ ), Semarang Barat ( $23,87 \text{ km}^2$ ), Tugu ( $31,29 \text{ km}^2$ ), Ngaliyan

(32,07 km<sup>2</sup>). Ketinggian Kota Semarang bervariasi, terletak antara 0,75 meter sampai dengan 348,00 meter di atas garis pantai (Ditjen Cipta Karya, 2013).

## TINJAUAN PUSTAKA

### Kelas Situs berdasarkan Parameter Dinamik Tanah

Penetapan jenis tanah yaitu antara Tanah Keras, Tanah Sedang dan Tanah Lunak didasarkan tiga kriteria, yaitu kecepatan rambat gelombang geser ( $\bar{v}_s$ ), nilai hasil Test

Penetrasi Standar ( $\bar{N}$ ) dan kuat geser niralir ( $\bar{s}_u$ ). Untuk menetapkan jenis tanah yang

dihadapi, paling tidak harus tersedia 2 dari 3 kriteria tersebut, di mana kriteria yang menghasilkan jenis tanah yang lebih lunak adalah yang menentukan. Dari berbagai penelitian ternyata, bahwa hanya lapisan setebal 30 m paling atas yang menentukan perbesaran gerakan tanah di permukaan tanah. Karena itu, nilai rata-rata berbobot dari ke-3 kriteria tersebut cukup dihitung sampai kedalaman tidak lebih dari 30 m.

Tabel 1. Klasifikasi Situs didasarkan atas Korelasi Hasil Penyelidikan Tanah di Lapangan dan Laboratorium (SNI 1726, 2012)

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ (pukulan/0,3 m)	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	$\bar{v}_s \geq 1500$	N/A	N/A
SB (batuan)	$750 < \bar{v}_s \leq 1500$	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	$350 < \bar{v}_s \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{s}_u \geq 100$
SD (tanah sedang)	$175 < \bar{v}_s \leq 350$	$15 < \bar{N} \leq 50$	$50 < \bar{s}_u \leq 100$
SE (tanah lunak)	$\bar{v}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{s}_u < 50$
Atau profil tanah yang mengandung ketebalan total lapisan lempung lunak lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut :			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Indeks plastisitas, <math>PI &gt; 20</math>,</li> <li>2. Kadar air, <math>w \geq 40\%</math>, dan</li> <li>3. Kuat geser niralir <math>\bar{s}_u &lt; 25</math> kPa</li> </ol>			
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs ( <i>Site-Specific Response Analysis</i> ))	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki satu atau lebih dari karakteristik berikut:		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifikasi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah</li> </ul>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan <math>H &gt; 3</math> m)</li> </ul>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan <math>H &gt; 7,5</math> m dengan Indeks Plastisitas <math>PI &gt; 75</math>)</li> </ul>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan <math>H &gt; 35</math> m, dengan <math>\bar{s}_u &lt; 50</math> kPa</li> </ul>		

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

## Parameter untuk Penentuan Kelas Situs

Profil tanah yang mengandung beberapa lapisan tanah dan/atau batuan yang berbeda, dibagi menjadi lapisan-lapisan yang diberi nomor ke-1 sampai ke- $n$  dari atas ke bawah, sehingga ada total  $n$ -lapisan tanah yang berbeda pada lapisan 30 m paling atas tersebut. Simbol  $i$  mengacu kepada lapisan antara 1 dan  $n$ .

$$\bar{v}_s = \sum_{i=0}^n d_i \left/ \sum_{i=0}^n \frac{d_i}{v_{si}} \right. \quad (1)$$

$$\bar{N} = \sum_{i=0}^n d_i \left/ \sum_{i=0}^n \frac{d_i}{N_i} \right. \quad (2)$$

$$\bar{S}_u = \sum_{i=0}^n d_i \left/ \sum_{i=0}^n \frac{d_i}{S_{ui}} \right. \quad (3)$$

Ket:  $d_i$  adalah tebal setiap lapisan  $i$  antara kedalaman 0 - 30 meter;  
 $v_{si}$  adalah kecepatan gelombang geser lapisan  $i$  dalam satuan m/detik;  
 $N_i$  adalah tahanan penetrasi standar lapisan  $i$  dalam satuan pukulan/0,3 m;  
 $S_{ui}$  adalah kuat geser niralir lapisan  $i$  dalam satuan kPa;

## METODOLOGI

Keseluruhan pelaksanaan penelitian terdapat dalam bagan alir (*Flowchart*) pada Gambar 1.

## SEISMOTEKTONIK KOTA SEMARANG

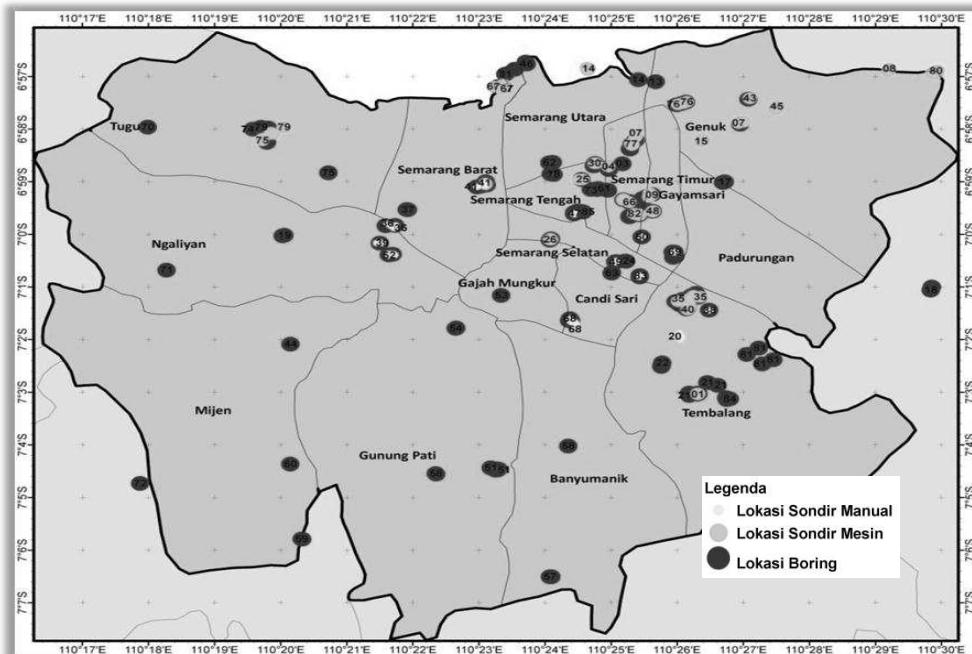
Aktifitas tektonik di Kota Semarang dipengaruhi oleh aktifitas benturan lempeng utama kerak bumi (*megathrust/interplate*), yakni akibat subduksi lempeng Australia di bawah lempeng Sunda. Kota Semarang terletak di pulau Jawa sebelah utara dimana merupakan kepulauan akibat *java trench* (patahan Jawa) merupakan bagian dari Lempeng Sunda. Selain itu aktifitas tektonik Jawa juga berkaitan dengan aktifitas sesar (*shallow crustal faults*), adalah Sesar Semarang dan Lasem. Struktur sesar tersebut merupakan patahan yang melintas Kota Semarang dengan karakteristik lajur seismotektonik berupa sesar normal Semarang (arah utara-selatan) dan patahan yang melintas lembah Pati dengan karakteristik lajur seismotektonik sesar naik pantai utara jawa tengah (barat-timur) (Soehaimi, 2008).

## INVENTARISASI DATA

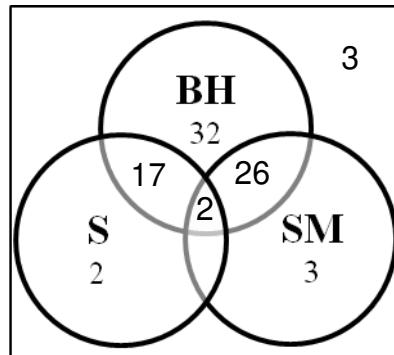
Dalam penelitian ini data yang digunakan adalah data *SPT* (tahanan penetrasi standar, nilai  $N$ ) dan data *CPT* (tahanan konus,  $q_c$ ) yang diperoleh dari laporan penyelidikan tanah untuk perencanaan proyek dan diambil dari 85 titik lokasi tinjauan yang tersebar di kota Semarang dan sekitarnya ditunjukkan Gambar 2. Kemudian dari ketersediaan data diperoleh sebaran data karena tidak semua lokasi dilakukan 2 (dua) pengujian dan cenderung yang sering ada adalah data *SPT* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 1. Bagan Alir (*Flowchart*) Studi



Gambar 2. Sebaran Data Lokasi Tinjauan



BH = boring (bore hole)

S = sondir manual

SM = sondir mesin

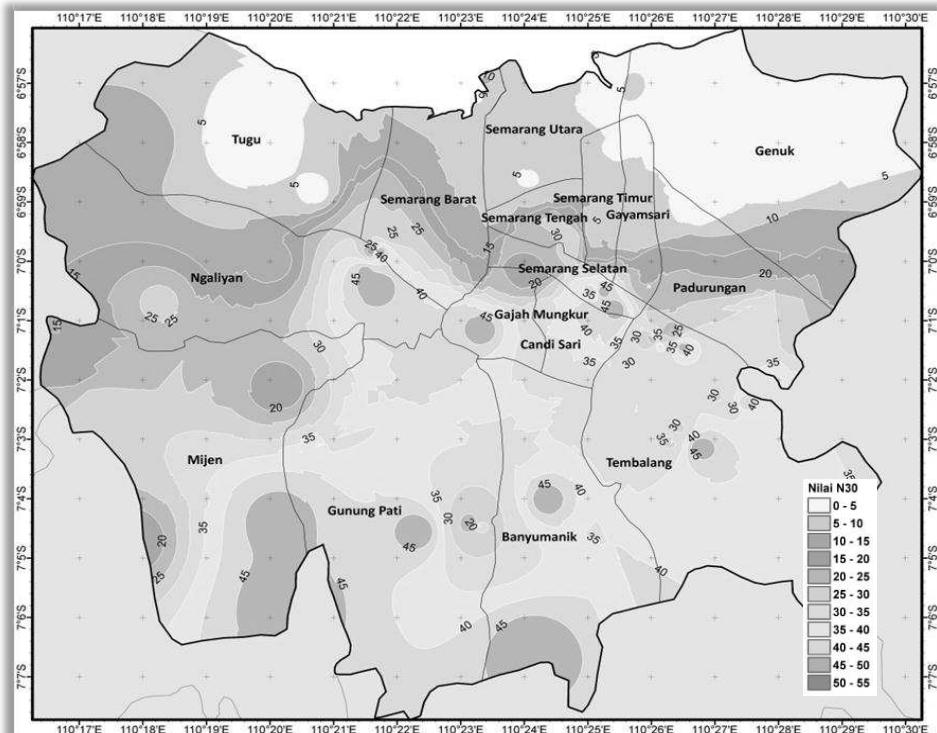
Gambar 3: Diagram Venn sebaran data

## PARAMETER KELAS SITUS

Penetapan kelas situs dilakukan menggunakan hasil pengukuran 2 (dua) dari 3 (tiga) parameter  $\bar{v}_s$ ,  $\bar{N}$ , dan  $\bar{S}_u$  yang diukur secara independen. Dalam penelitian ini digunakan  $\bar{v}_s$

(dalam penelitian ini disebut  $v_s^{30}$ ) dan  $\bar{N}$  (dalam penelitian ini disebut  $N^{30}$ ), nilai rata-rata

yang dimaksudkan adalah rata-rata untuk lapisan tanah 30 m paling atas dari muka tanah. Namun, untuk penentuan kelas situs lebih cenderung digunakan klasifikasi berdasarkan parameter  $N^{30}$  karena nilai  $N$  hasil uji *SPT* merupakan data standar yang ada dalam laporan hasil penyelidikan tanah selain *CPT*. Pada Gambar 4 merupakan pembagian nilai  $N^{30}$  kota Semarang dan pembagian kelas situs menurut nilai  $N^{30}$  berdasarkan Tabel 1.



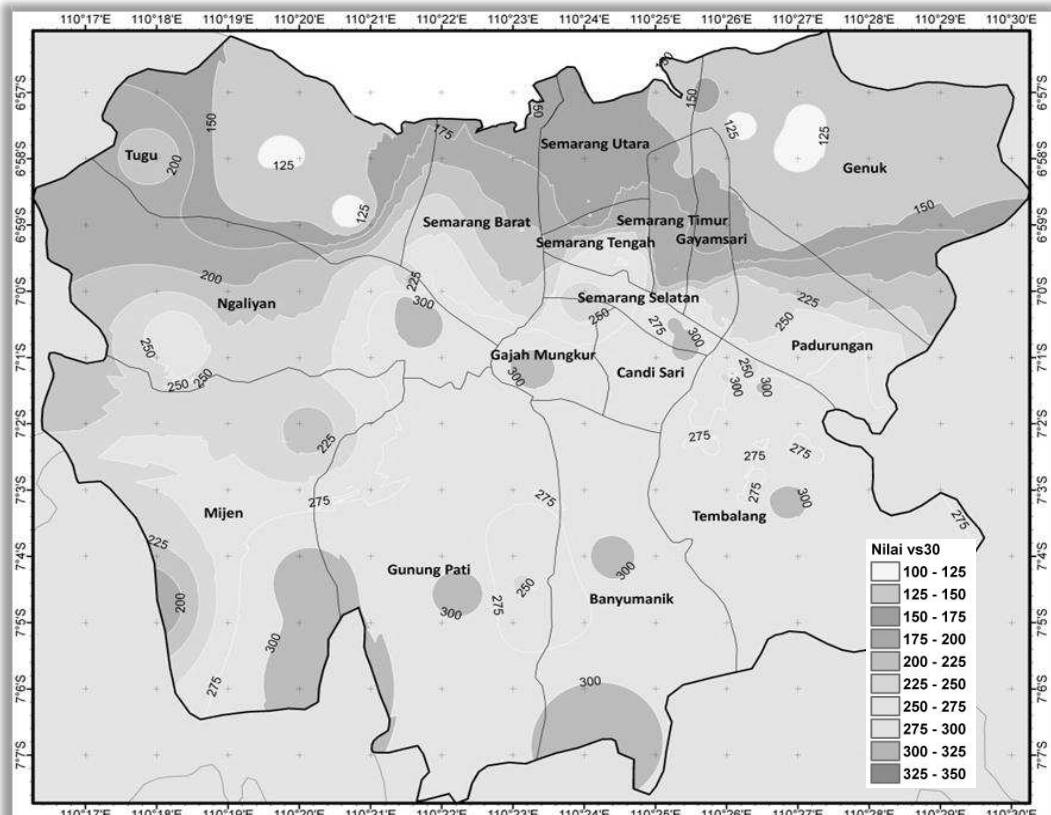
Gambar 4. Peta Nilai  $N^{30}$  untuk Kota Semarang

Nilai  $N$  tidak bisa menentukan lapisan batuan dasar (SB) sehingga digunakan parameter  $v_s^{30}$ . Nilai  $v_s^{30}$  inilah yang akan digunakan untuk menentukan besar amplifikasi perambatan gelombang gempa dari kedalaman batuan dasar hingga permukaan, karena lebih mendekati keadaan sesungguhnya di lapangan karena gempa merambat berupa gelombang yang memiliki kecepatan dan periode. Nilai  $v_s^{30}$  diperoleh dari korelasi nilai  $N$  dan  $q_c$  ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2: Hubungan antara  $N$  dan  $q_c$  dengan  $v_s$   
(Irsyam, Sahadewa, & Darjanto, 2008)

Referensi	Korelasi $v_s$ (m/s)	Sampel Tanah
(Imai, 1977)	$v_s = 91(N)^{0.337}$	Lempung & Pasir (Jepang)
(Ohta & Goto, 1978)	$v_s = 85.3(N)^{0.341}$	Lempung & Pasir (Jepang)
(Imai & Tenouchi, 1982)	$v_s = 96.9(N)^{0.314}$	Lempung & Pasir (Jepang)
(Sykora & Stokoe, 1983)	$v_s = 101(N)^{0.29}$ $v_s = 0.51(q_c) + 132$	Pasir (Amerika)
		-

Nilai  $v_s$  yang digunakan hanyalah yang berasal dari nilai  $N$  karena jumlah dan sebaran data yang cukup mewakili kota Semarang, sedangkan nilai  $v_s$  dari  $q_c$  kurang bisa dipakai untuk mewakili kota Semarang, namun tetap digunakan sebagai koreksi terhadap nilai  $v_s$  dari nilai  $N$ . Kemudian setelah didapat nilai  $v_s^{30}$  dibuatlah peta yang menunjukkan pembagian nilai  $v_s^{30}$  kota Semarang pada Gambar 5, sedangkan pembagian kelas situs menurut nilai  $v_s^{30}$  berdasarkan Tabel 1.



Gambar 5. Peta Nilai  $v_s^{30}$  berdasarkan nilai  $N$  untuk Kota Semarang

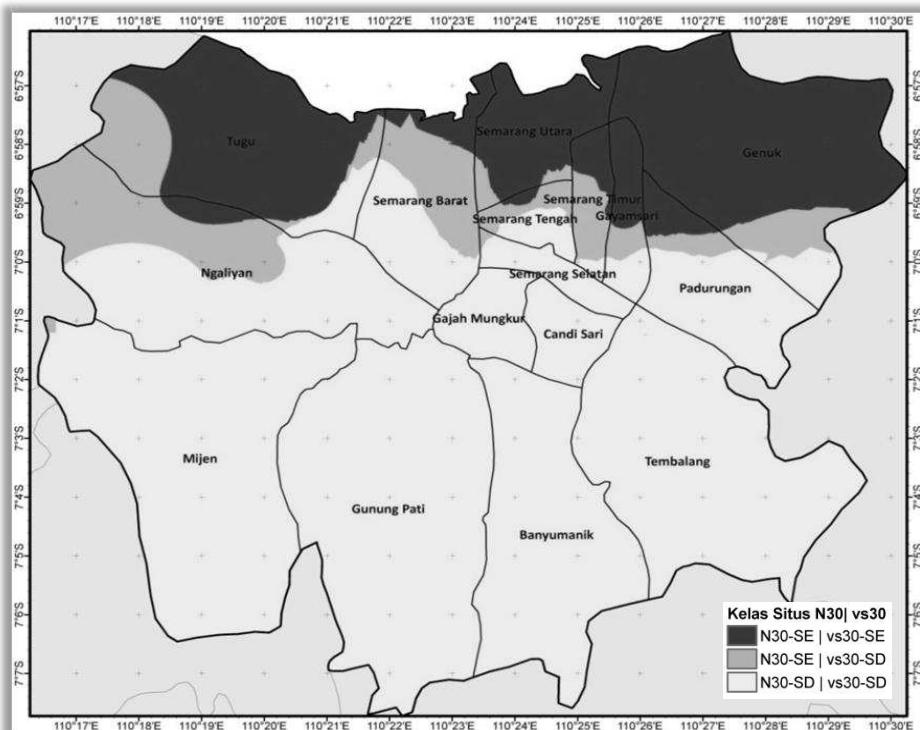
Setelah dilakukan perhitungan  $N^{30}$  dan  $v_s^{30}$  didapatkan nilainya untuk setiap lokasi tinjauan kemudian dihasilkan peta  $N^{30}$  (Gambar 4) dan peta  $v_s^{30}$  (Gambar 5).

Dari peta  $N^{30}$  dan peta  $v_s^{30}$  ditinjau lagi bentang nilai  $N^{30}$  dan nilai  $v_s^{30}$  berdasarkan 16 kecamatan di kota Semarang yang ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil analisis nilai  $N^{30}$  dan  $v_s^{30}$  untuk masing-masing kecamatan

Kecamatan	$N^{30}$ (pukulan/0,3m)	$v_s^{30}$ (m/dt)	Kecamatan	$N^{30}$ (pukulan/0,3m)	$v_s^{30}$ (m/dt)
Genuk	2 – 22	113 – 240	Semarang Tengah	5 – 38	146 – 296
Tugu	2 – 30	104 – 250	Semarang Selatan	10 – 50	200 – 317
Semarang Utara	3 – 10	139 – 200	Gajah Mungkur	15 – 50	234 – 312
Semarang Barat	3 – 50	131 – 297	Candi Sari	19 – 47	246 – 312
Gayamsari	3 – 39	131 – 290	Tembalang	16 – 50	221 – 340
Semarang Timur	3 – 39	131 – 291	Mijen	14 – 50	177 – 315
Ngaliyan	7 – 50	156 – 320	Gunung Pati	15 – 50	220 – 315
Padurungan	3 – 38	130 – 287	Banyumanik	29 – 50	263 – 319

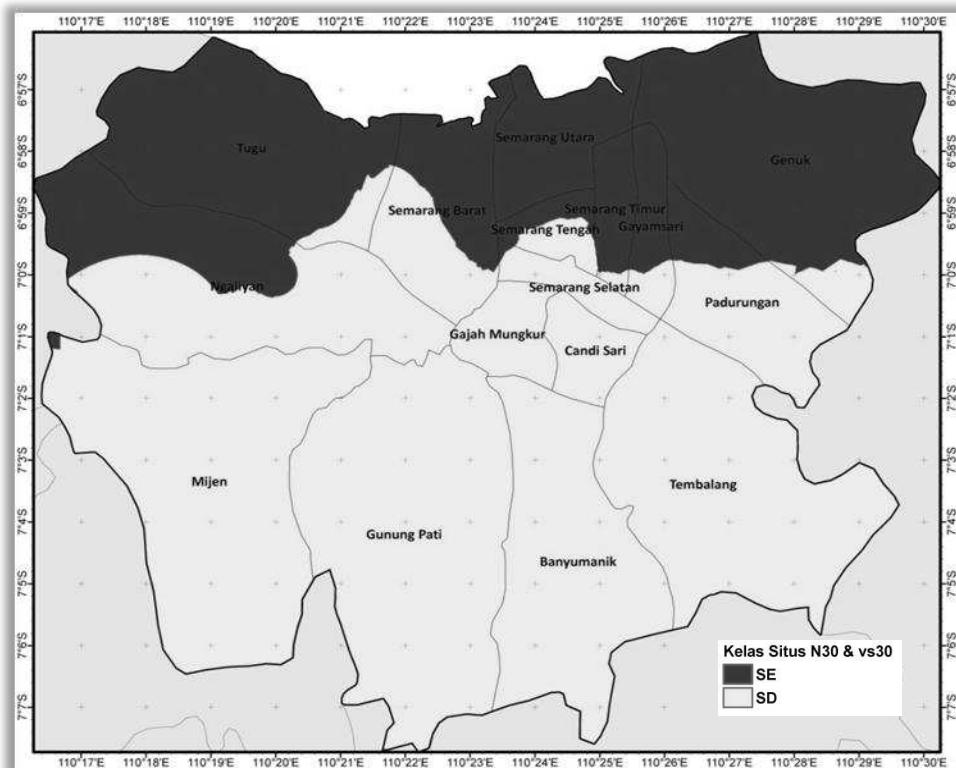
Dari hasil perhitungan parameter kelas situs diatas, setelah diklasifikasikan situsnya ditemukan bahwa dari dua parameter tersebut menghasilkan kelas situs yang berbeda, hal ini terjadi pada nilai parameter di sekitar batas kelas situs dan kecenderungannya parameter  $N^{30}$  menghasilkan kelas situs yang lebih lunak dibandingkan parameter  $v_s^{30}$ . Pada Gambar 6 merupakan hasil overlay dari kelas situs yang berdasarkan  $N^{30}$  dan  $v_s^{30}$ .



Gambar 6. Overlay Peta kelas situs berdasarkan parameter nilai  $v_s^{30}$  dari korelasi  $N^{30}$  untuk Kota Semarang

## HASIL KLASIFIKASI SITUS KOTA SEMARANG

Klasifikasi situs Kota semarang didasarkan dari dua kriteria yaitu  $N^{30}$  dan  $v_s^{30}$ , dengan syarat penetapan kelas situs harus didukung dua kriteria tersebut sehingga apabila terjadi perbedaan penetapan kelas situs dari dua kriteria tersebut maka yang diambil adalah yang menghasilkan kelas situs yang lebih lunak. Hasil klasifikasi situs Kota semarang didasarkan kriteria  $N^{30}$  dan  $v_s^{30}$  dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil klasifikasi situs Kota Semarang

## DESKRIPSI/PEMBAHASAN

Secara geografis wilayah Kota Semarang terbagi menjadi dua, yaitu daerah dataran rendah (Kota Bawah) dan daerah perbukitan (Kota Atas). Kota bawah merupakan pusat kegiatan pemerintahan, perdagangan dan industri sedangkan kota atas lebih banyak dimanfaatkan untuk perkebunan, persawahan, dan hutan. Sehingga Kota Semarang di sepanjang sisi utara memiliki tingkat kerawanan yang tinggi, dengan klasifikasi kelas situs SE (tanah lunak).

Dengan adanya peta mikrozonasi kota Semarang, untuk meninjau kelas situs dari tanah tidak harus dilakukan penyelidikan tanah tapi cukup dengan koordinat dari lokasi. Selain mengurangi biaya penyelidikan tanah juga lebih praktis dan akan mempermudah dalam perencanaan.

Dalam penelitian ini didapati penentuan kelas situs dengan  $N^{30}$  lebih aman jika dibandingkan dengan penentuan kelas situs dengan  $v_s^{30}$ , tetapi tentunya akan kurang efisien dari segi kekuatan strukturnya dan lebih boros dari segi biaya bahan yang digunakan.

## **KESIMPULAN**

Dari penelitian ini berdasarkan hasil analisis, terdapat beberapa kesimpulan antara lain :

1. Dari hasil analisis diperoleh tahanan penetrasi standar rata-rata ( $N^{30}$ ) untuk Kota Semarang nilainya antara 2 – 50 dan terbagi 2 (dua) kelas situs yaitu kelas situs SE dan kelas situs SD.
2. Dari hasil analisis diperoleh kecepatan rata-rata gelombang geser ( $v_s^{30}$ ) untuk Kota Semarang nilainya antara 104 - 340 dan terbagi 2 (dua) kelas situs yaitu kelas situs SE dan kelas situs SD.
3. Berdasarkan 2 (dua) parameter  $N^{30}$  dan  $v_s^{30}$ , klasifikasi tanah di Semarang dibagi 2 (dua) kelas situs yaitu kelas situs SD dan kelas situs SE. Kategori SE atau tanah lunak berada di sepanjang pesisir utara kota Semarang, sedangkan Tanah kelas situs SD dijumpai berada di sisi selatan kota Semarang.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Ditjen Cipta Karya. (2013). *Profil Kabupaten / Kota : Kota Semarang, Jawa Tengah*. Ditjen Cipta Karya.
- Imai, T. (1977). P- and S-wave velocities of the ground in Japan. *Proc. 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. II*, hal. 257–260. Tokyo: International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- Imai, T., & Tenouchi, K. (1982). Correlation of N-value with S-Wave Velocity and Shear Modulus. *Second Europe Symposium on Penetration Testing* (hal. 67-72). Amsterdam: The Netherlands.
- Irsyam, M., Sahadewa, A., & Darjanto, H. (2008). *Dinamika Tanah dan Fondasi Mesin*. Bandung: ITB.
- KemenPU. (2010). *Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 sebagai Acuan Dasar Perencanaan dan Perancangan Infrastruktur Tahan Gempa*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Ohta, Y., & Goto, N. (1978). Empirical Shear Wave Velocity Equation in Terms of Characteristic Soil Indexes. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 6, 167-187.
- SNI 1726. (2012). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Soehaimi, A. (2008, Desember). Seismotektonik dan Potensi Kegempaan Wilayah Jawa. *Jurnal Geologi Indonesia*, III(4), 227-240.
- Sykora, D., & Stokoe, K. (1983). *Correlation of In Situ Measurement in Sands of Shear Wave Velocity, Soil Characteristics, and Site Condition*. The University of Texas at Austin. Geotechnical Engineering Report GR83-33.