

Prediksi Penurunan Segera Fondasi Tiang di Wilayah Pekanbaru Berdasarkan Data Sondir

Agus Ika Putra¹, Soewignjo Agus Nugroho², Muhammad Muhshi³

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Riau

²Prodi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Riau

³Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. ST Amin Pekanbaru, Riau

Submitted : 03, Januari, 2022;

Accepted: 12, April 2022

Abstrak

Pesatnya perkembangan Kota Pekanbaru, sebagai Ibukota Provinsi Riau, mengakibatkan permintaan Ijin Mendirikan Bangunan (IMB) untuk gedung bertingkat sangat tinggi. Peningkatan pembangunan Konstruksi Sipil dengan beban besar, bisa mengakibatkan penurunan tanah. Sebagian besar lapisan tanah di wilayah Pekanbaru terdiri dari tanah Gambut, lempung dan pasir. Jenis fondasi yang cocok untuk tanah di Pekanbaru adalah fondasi dalam (*driven/bored pile*). Perencanaan fondasi dalam umumnya menggunakan data properties tanah dan data pengujian lapangan. Data penyelidikan tanah yang populer untuk perencanaan fondasi dalam adalah *Dutch Cone Penetration Test* (DCPT) dan *Standard Penetration Test* (SPT). Pengujian DCPT juga sering disebut Sondir, yaitu alat uji terdiri dari kerucut penetrasi (*qonush*) untuk membaca tahanan ujung tiang dan *Shaft resistance* untuk menghitung tahanan kulit. Penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan penurunan segera (*intermediate settlement*) fondasi tiang pada saat konstruksi dibangun. Artinya beban yang diterima tiap tiang tidak melebihi daya dukung tiang tunggal dengan faktor keamanan tertentu (SF=3). Data uji sondir berasal dari Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Riau. Perhitungan penurunan daya dukung tiang dilakukan dengan diameter tiang 30 cm dan panjang tiang 6 m, 12 m, dan 18 m. Hasil perhitungan ditampilkan dalam bentuk peta penurunan untuk wilayah Pekanbaru.

Kata Kunci : fondasi; penurunan; tiang; sondir

Abstract

Pekanbaru has advanced at a breakneck pace. As a result, the government acknowledges the increasing demand for high-rise building construction, necessitating a soil depreciation test. This is done to mitigate the effects of building failure and ensure that

*Corresponding author email: nugroho.sa@eng.unri.ac.id

Another email

agusip@eng.unri.ac.id

muhammad.muhsii@student.unri.ac.id

the building's foundation is indeed resting on hard soil. The importance of land cannot be overstated. Land can serve as both a pedestal and a structure in and of itself. The weight of the building is carried from the foundation to the ground, where the soil is thought to support the weight. The soil shrinkage test, also known as the Dutch Cone Penetration Test (DCPT), is derived from the sonder test data and is used to determine the ground profile while monitoring the cone tip's resistance value. This study aims to look at how to calculate pile foundation depreciation using the elastic settlement process and foundation-bearing energy information collected from the Soil Mechanics Laboratory at Riau University. Investigating hypotheses about piles was also part of the research process, as did gathering data on the bearing energy of foundations with a pile diameter of 60 cm and sondir information. Calculation analysis is the final step in the research process. Elastic settlement maps for single pile foundations at depths of 18 m, 12 m, and 6 m are the outcomes of this study.

Keywords: *foundation; pile; settlement; sondir*

A. PENDAHULUAN

Kekuatan tanah dalam mendukung beban yang diteruskan oleh fondasi berbeda-beda tergantung dari jenis dan kondisi tanah. Mengetahui komposisi lapisan tanah asli di suatu lokasi, serta hasil pengujian kuat geser dan daya dukung sampel tanah dari berbagai kedalaman lapisan tanah, sangat penting untuk perencanaan (Das and Sawicki, 2001). Pesatnya kemajuan ilmu dan teknologi di bidang teknik sipil, khususnya di bidang ilmu geoteknik, fondasi tiang pancang sekarang lebih banyak digunakan untuk menopang beban struktur yang besar daripada fondasi dangkal (Istianingsih, 2009).

Beban konstruksi yang masif dan luas lahan yang terbatas, menyebabkan fondasi dangkal, baik telapak isolasi; telapak gabungan; maupun rakit, tidak dapat digunakan karena akan melebihi batas kepemilikan lahan. pemilihan fondasi dalam (*deep foundation*) adalah pilihan yang tepat karena daya dukung fondasi bisa ditingkatkan dengan menambah ukuran dan panjang tiang.

Kemajuan teknis pelaksanaan pekerjaan fondasi, perubahan bentuk dan perhitungan daya dukung fondasi tiang juga berkembang. Banyak jenis fondasi

tiang telah dimodifikasi dan telah diubah untuk meningkatkan efisiensi fondasi tiang (Suryadi dkk, 2015). Settlement adalah perubahan volume tanah yang disebabkan oleh penambahan berat pada lapisan permukaan tanah, sehingga menghasilkan nilai penurunan tertentu pada suatu struktur. Penurunan tidak merata biasanya lebih berbahaya bagi bangunan daripada penurunan seragam.

Pengujian Sondir, juga dikenal sebagai DCPT, secara luas dipakai untuk merencanakan kapasitas dukung tiang tunggal. Dibanding data pengujian SPT, data sondir lebih valid dalam memperkirakan daya dukung tiang tunggal, karena pembacaan pada sondir sudah dalam satuan tekanan. Sementara data dukung tiang di lapangan, biasa dilakukan dengan uji beban langsung (*loading test*). Yusa dkk. (Yusa and Nugroho, 2007) telah membandingkan kapasitas tiang tunggal dari uji sondir dengan kapasitas tiang tunggal dari PDA test di Kota Pekanbaru. Pengujian yang hampir sama dengan Sondir, yaitu HCP, di Pekanbaru juga pernah dicari hubungannya dengan properties tanah dan CBR lapangan (Nugroho dkk, 2019). Daya dukung tanah di Pekanbaru.

Penurunan segera terjadi saat beban struktur mulai bekerja. Penurunan tidak seragam (*differential settlement*) terjadi apabila beban yang terjadi pada fondasi tidak sama atau karakteristik tanah berbeda. Penurunan tidak seragam bisa mengakibatkan bangunan/fondasi miring dan terjadi keruntuhan. Penelitian ini bertujuan membuat zonasi penurunan segera di wilayah Pekanbaru, untuk melihat potensi penurunan tidak seragam apabila konstruksi bangunan berdiri pada lapisan tanah dengan karakteristik berbeda.

B. TINJAUAN PUSTAKA

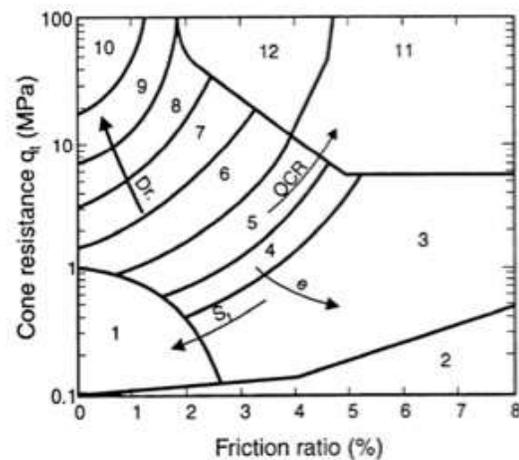
1. Sondir

Uji sondir merupakan salah satu uji tanah langsung di lapangan untuk mengetahui batas kuat geser tanah. Pemeriksaan kembang susut kemudian dapat diturunkan dari pemeriksaan nilai kuat geser. Struktur tanah harus dipertimbangkan dalam perencanaan struktur. Karakteristik dan kekuatan tanah, serta daya dukung tanah harus sesuai dengan jenis fondasi yang digunakan. Daya dukung tanah harus lebih besar daripada beban yang diteruskan oleh fondasi sehingga penurunan yang terjadi tidak melebihi batas. Pengujian sondir digunakan untuk mengetahui daya dukung tanah. Daya dukung tanah diperoleh dari nilai tahanan kerucut statis atau tahanan kerucut (q_c) dan tahanan kulit yang diperoleh melalui pengujian langsung (Suhaimi dkk, 2018). Perlengkapan sondir terdiri:

Tahanan (*resistensi*) pada bagian ujung kerucut yang diukur tiap satuan luas. Resistensi bagian akhir kerucut (q_c) merupakan nilai penting dari uji penetrasi kerucut. Nilai ini menunjukkan identifikasi tipe tanah serta jenisnya seperti Gambar 1 (Robertson, 1987) (Titi&Farsakh, 1999)

Tahanan selimut digunakan untuk mengukur besarnya lekatan atau gesekan

(*shaft resistance*) tanah. Sepanjang kedalaman pengujian sondir, nilai *friction ratio* (FR) yaitu perbandingan nilai ketahanan geser (f_s) tanah terhadap tahanan kerucut (q_c). Nilai FR dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis tanah. Perbandingan f_s dengan q_c (FR) dapat digunakan untuk membedakan antara tanah butiran halus dan tanah butiran kasar (Kosasi dkk, 2015)

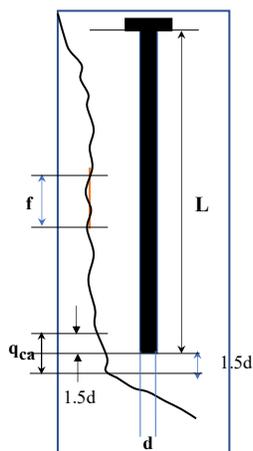


Gambar 1 Klasifikasi jenis Tanah berdasarkan data sondir (Robertson)

Daya dukung tiang tunggal

Data kerucut penetrasi dapat digunakan untuk memperkirakan kapasitas tiang tunggal yang diperbolehkan untuk menerima beban. Ujung tahanan tiang yang terarah sama dengan ujung tahanan uji penetrasi kerucut (Rihardjo dkk, 2006), Sprince (Sprince and Pakrastinsh, 2010), Daya dukung ujung tiang sama dengan hambatan kerucut untuk ujung tiang yang tertutup, tetapi 70 persen tiang pre-cast menggunakan ujung yang terbuka. Informasi daya dukung dan karakteristik tanah pada lokasi bangunan sangat penting untuk menentukan dimensi, jumlah, dan kedalaman tiang sehingga daya dukung ultimit dan konsistensi tanah bisa digunakan sebagai batas beban rencana izin ketika pembangunan sedang dilakukan. Persamaan daya dukung tiang dari peneliti terdahulu seperti LCPC,

Nottingham, De reuter&Beringen, Meyerhof, Penpile, Philipponant, Price&Wardle, dan Aoki&Velloso dapat digunakan untuk menentukan kapasitas tiang ultimit (Yusa and Nugroho, 2007; Aswin, 2014)



Gambar 2 Penentuan nilai f dan qca

Aoki dan Velloso (Aoki N, & Velloso D., 1975) mengusulkan penggunaan data uji penetrasi kerucut untuk merencanakan daya dukung tiang tunggal sebagai berikut:

$$q_c = \frac{q_{ca}(\text{base})}{F_b} \quad (1)$$

$$Q_p = q_c A_p \quad (2)$$

$$f = q_c(\text{side}) \frac{\alpha_s}{F_s} \quad (3)$$

$$Q_s = f \times A_s \quad (4)$$

Nilai rerata *shaft friction* (f) dan tahanan ujung rerata (qca) merujuk pada Gambar 2. Faktor Fb dan Fs diberikan pada Tabel 1, sedangkan Tabel 2 menunjukkan Nilai Faktor Empiris untuk Jenis Tanah.

Tabel 1. Faktor Empirik Fb dan Fs

Pile Type	F _b	F _s
Bore Pile	3,50	7,00
Driven (Steel)	1,75	3,50
Driven (Prestressed Concrete)	1,75	3,50

Sumber: Titi &Farsakh, (1999)

Tabel 2. Nilai faktor empirik untuk tipe tanah (αs)

Soil Type	α _s (%)
Sand	1,4
Silty Sand	2,0
Silt Sand with Clay	2,4
Loamy Sand with Silt	2,8
Loamy Sand	3,0
Silty Sand	2,2
Silty Sand with Loam	2,8
Silt	3,0
Loamy Silt with Sand	3,0
Loamy Silt	3,4
Sandy Loam	2,4
Sandy Loam with Silt	2,8
Silty Loam with Sand	3,0
Silty Clay	4,0
Clay	6,0

Sumber: Titi & Farsakh, (1999)

Penurunan Tiang (Pile Settlement)

Karena komposisi yang bervariasi, seperti efek pada ketahanan tanah selama pemancangan tiang dan kerentanan terhadap distribusi dan lokasi perpindahan berat dari tiang ke tanah pendukung, menilai penurunan pondasi tiang adalah proses yang sulit.

Penurunan segera, bukan penurunan yang seragam, adalah jenis gangguan yang merusak bangunan. Ada dua faktor yang perlu dipertimbangkan ketika terjadi penurunan, yaitu:

1. Besar penurunan.
2. Kecepatan penurunan.

Distorsi massa tanah akibat terpadatkan menyebabkan penurunan, yang bekerja pada volume konstan. Karena penurunan terjadi setelah pembebanan, maka penurunan pada tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus tak jenuh (unsaturated) harus dipertimbangkan dalam perencanaan.

Penurunan ini bersifat elasto-plastis, dan tidak mungkin untuk memprediksinya di lapangan. Bangunan yang dibangun di atas tanah berbutir kasar lebih mungkin untuk mengalami penurunan segera. Penurunan yang diijinkan dari suatu struktur fondasi tiang bergantung pada komponen-komponennya. Menurut Marbun (2009) penurunan yang diizinkan dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor – faktor tersebut antara lain tinggi, jenis, kekakuan ,dan fungsi bangunan serta besar dan kecepatan penurunannya. Jenis, panjang, kekuatan, berat, dan dimensi tiang; tingkat pembebanan, dan penyebaran beban, semuanya merupakan faktor yang perlu dipertimbangkan. Apabila penurunan terjadi bertahap, bangunan pasti akan menyesuaikan tanpa menimbulkan keretakan karena efek *creep*.

Deformasi yang terjadi pada tiang (susut tiang) bisa terjadi karena beban luar dan atau susut material penyusun tiang. Penurunan fondasi tiang merupakan gabungan dari deformasi tiang (susut tiang) dan penurunan tanah akibat beban struktur atas yang disalurkan sepanjang tiang pada lapisan tanah. Sebagian besar penurunan terbentuk antara penurunan tanah dan penurunan karena susut tiang maksimum yang diprediksi tidak boleh melebihi penurunan ijin ($S_{total} \leq S_{ijin}$). Penurunan ijin ditentukan dari persamaan (Reese&Wright, 1997):

$$S_{ijin} = 10\% \cdot D \quad (11)$$

Persamaan menghitung penurunan segera pada fondasi tiang akibat beban vertikal sebagai berikut (Vesic, 1977):

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \quad (5)$$

dengan:

S = Total *Settlement*

S_1 = *Settlement* tiang

S_2 = *Settlement* di ujung tiang

S_3 = *Settlement* yang tersalurkan seluruh tiang

Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung penurunan tiang:

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws}) L}{A_p \times E_p} \quad (6)$$

Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung penurunan tiang yang disebabkan oleh beban pada ujung tiang:

$$S_2 = \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \times q_b} \quad (7)$$

Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung penurunan tiang yang disebabkan oleh distribusi beban di sepanjang tiang:

$$S_3 = \frac{Q_{wp} \times C_s}{L \times q_b} \quad (8)$$

Dimana:

Q_{wp} = Kapasitas resistensi di ujung tiang (kg)

Q_{ws} = Kapasitas resistensi selubung (kg)

ξ = Nilai dari friksi selubung

A_p = Luas tiang (m²)

E_p = Modulus elastis

L = Panjang tiang (m)

D = Diameter (cm)

C_p = Nilai empiris pada Tabel 3

q_b = Kapasitas dukung ujung persatuan luas

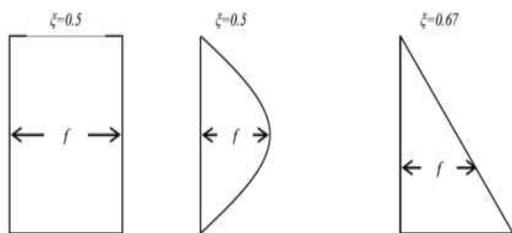
C_s = Konstanta empiris

$$C_s = (0,93 + 0,16 \sqrt{L/D}) \times C_p \quad (9)$$

$$E_p = 4700 \sqrt{f'c} \quad (10)$$

Nilai ξ dari tanah sesuai dengan tahanan gesek alami seluruh tiang di dalam tanah (Bowles, 1981). Jika berbentuk segitiga, artinya kuat gesek tanah semakin besar seiring kedalaman tanah seperti pada tanah berpasir, nilai $\xi = 0,67$ yang digunakan. Jika nilai tahanan gesek tanah lempung atau lanau seragam, seperti persegi panjang atau parabola,

seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, maka $\xi = 0,5$.



Gambar 3. Distribusi resistensi kulit di sepanjang tiang (Bowles ,1993)

Tabel 3. Nilai koefisien empiris (C_p)

Tipe Tanah	Pile type	
	driven	bored
Dense Sand	0,02	0,09
Loose sand	0,04	0,18
Hard Clay	0,02	0,03
Soft Clay	0,03	0,06
Silt	0,02	0,09
Stiff Silt	0,05	0,12

Sumber: (Vesic, 1977)

C. METODE PENELITIAN

1. Pembuatan peta ArcGIS

Data-data yang diperlukan untuk pembuatan peta penurunan, disamping google maps dan software GIS, adalah:

- peta kota Pekanbaru
- peta Citra satellite
- Koordinat lokasi sondir
- data penurunan fondasi

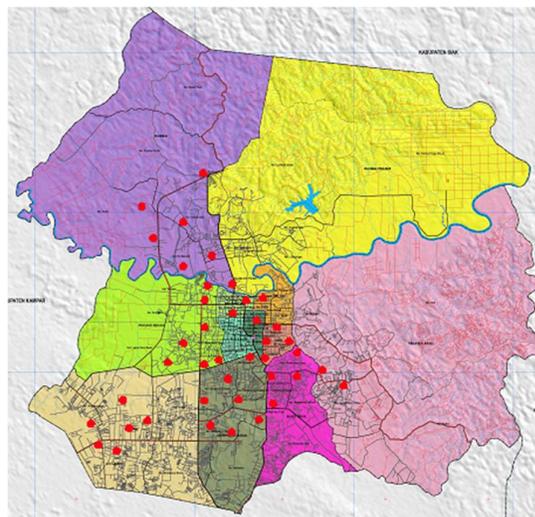
Langkah-langkah penggunaan ArcGIS adalah:

- a. pembuatan folder
- b. koneksi folder dengan ArcCatalog
- c. menambah informasi spatial reference pada ArcCatalog
- d. membuat peta dasar melalui program ArcGIS
- e. proses editing dan pemberian attribute pada peta dasar
- f. proses lay outing dan export peta

Kapasitas dukung fondasi tiang tunggal dengan panjang penanaman 6 m, 12 m, dan 18 m telah banyak dilakukan (). Pembuatan peta penurunan segera menggunakan data kapasitas ijin fondasi tiang tunggal dari penelitian Arisma dkk (Arisma, 2021). Dan dari data tersebut memiliki fungsi untuk memperkirakan penurunan fondasi segera maksimum dan dapat dibuat *mapping* penurunan segera.

2. Titik-titik daerah dari Penelitian

Di Pekanbaru, data uji penetrasi kerucut tersebar di banyak Kecamatan. Sebanyak sepuluh titik uji penetrasi kerucut ditawarkan. Menggunakan aplikasi Google Maps dan Google Earth, siapkan data Koordinat uji penetrasi kerucut. Gambar 2 mengilustrasikan hal ini.



Gambar 3. Titik-titik Sondir

3. Fondasi yang Dipakai

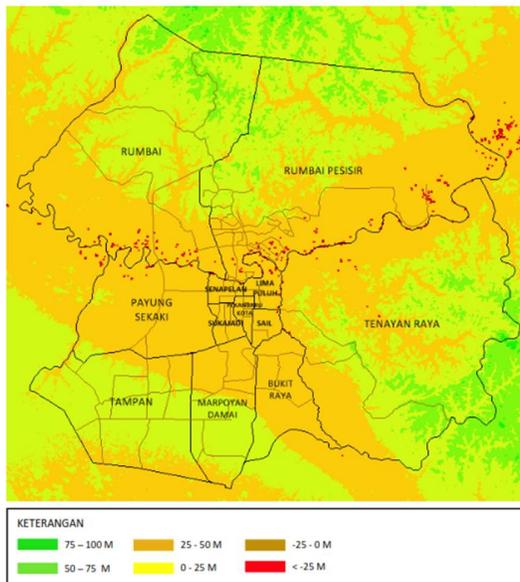
Tiang pancang bulat tipe PC-spun digunakan sebagai fondasi. Fondasi yang digunakan dalam perhitungan adalah struktur beton pra-tegang dengan diameter 60 cm.

4. Pemetaan Penurunan Elastis

Ploting zonasi penurunan dilakukan pada peta kota Pekanbaru, dan nilai penurunan elastik yang dihasilkan akan ditempatkan pada lokasi-lokasi dimana panjang tiang berubah dari 6 meter menjadi 12 meter, dan 18 meter.

Peta kota Pekanbaru tahun 2014, elevasi muka tanah ditentukan dengan menggunakan data *Digital Elevation Model (DEM)*. ArtGIS digunakan untuk menganalisis data DEM dan membuat peta ketinggian muka tanah.

Seperti terlihat pada Gambar 4, elevasi muka tanah di Kota Pekanbaru berkisar antara 25 sampai dengan 50 meter di atas permukaan laut. Di Kecamatan Rumbai, Rumbai Pesisir, dan Tenayan Raya, ketinggian maksimum 50-75 meter



Gambar 4. Peta Ketinggian Pekanbaru

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Penelitian

Perhitungan penurunan fondasi tiang dengan panjang 6,0 m; 12,0 m; dan 18,0 m dimaksudkan untuk menggambarkan kemungkinan beban yang nanti akan diterima fondasi. semakin besar kapasitas gedung, akan semakin banyak jumlah

lantai, sehingga kedalaman fondasi yang dibutuhkan untuk bisa mendukung beban juga akan semakin panjang. sebagai simulasi kriteria bangunan menggunakan dimensi fondasi ditampilkan pada Tabel 4.

Untuk pemetaan peta penurunan, hasil perhitungan penurunan fondasi tiang tunggal dimasukkan dan diproses menggunakan ArcGIS.

Tabel 4 Kriteria bangunan berdasar panjang tiang

L (m)	jarak kolom	jumlah lantai	beban/kolom (kN)
6,00	4-5	1-2	100-300
12,00	5-7	2-4	300-600
18,00	5-8	>4	>800

Tabel 4 merupakan taksiran kemungkinan bangunan yang dibangun dengan perencanaan fondasi tiang tunggal dengan diameter 60 cm, dengan mempertimbangkan faktor aman (SF=3) dan kemungkinan bekerja beban sementara (gempa, angin, hidup)

Gambar 5, penurunan paling signifikan terjadi pada runtuhnya fondasi tiang pancang pada kedalaman 6 meter di wilayah Pekanbaru, dari zona warna hijau menjadi zona warna hijau muda dan nilai 1-1,5 cm, sedangkan penurunan terbesar adalah pada rentang 2,0–2,5 cm. Penurunan tertinggi terletak di 4 (empat) Kecamatan (Tampar, Sukajadi, Pekanbaru kota dan Sail). Sedangkan kecamatan rumbai dan rumbai pesisir ada sebagian daerah yang penurunannya tinggi.

Perbedaan penurunan yang terjadi ditunjukkan dengan perbedaan warna. Daerah pada batas-batas perubahan warna, memungkinkan untuk terjadinya *differential settlement*. Yang perlu diwaspadai adalah pembangunan gedung di zona hijau yang mempunyai area

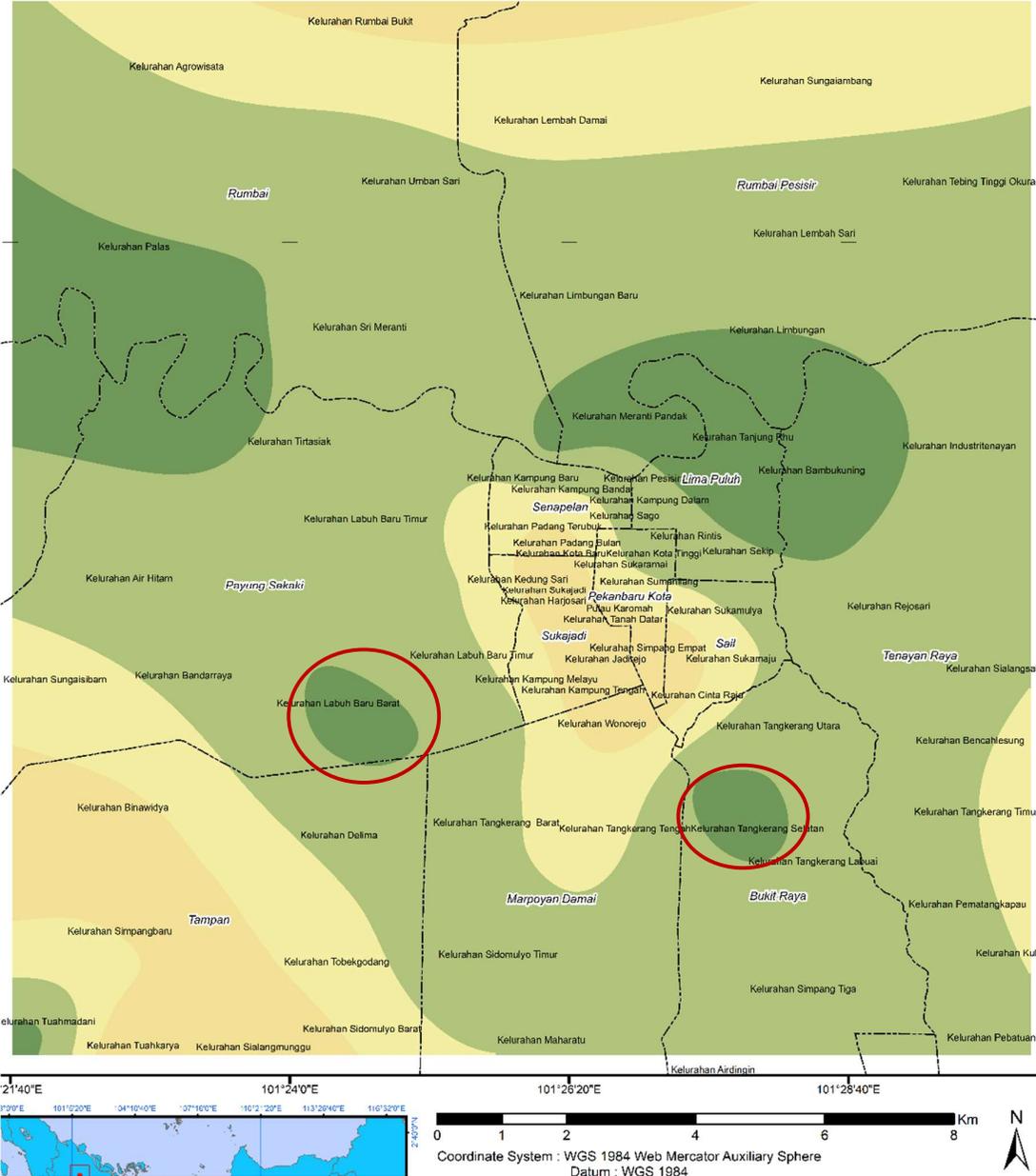
sempit (lingkaran merah) karena batas terjadinya perbedaan penurunan sempit. *Subsidence* kemungkinan bisa terjadi pada lantai atau munculnya fondasi di atas permukaan tanah lempung (kembang-susut) pada beban yang sama.

Gambar 6 menunjukkan penurunan terbesar pada kedalaman 12 meter, yaitu antara 4 dan 4,5 cm. penurunan 3 sampai 4 cm terletak di kecamatan Payung Sekaki, kecamatan Rumbai, kecamatan Pekanbaru Kota dan kecamatan Sail.

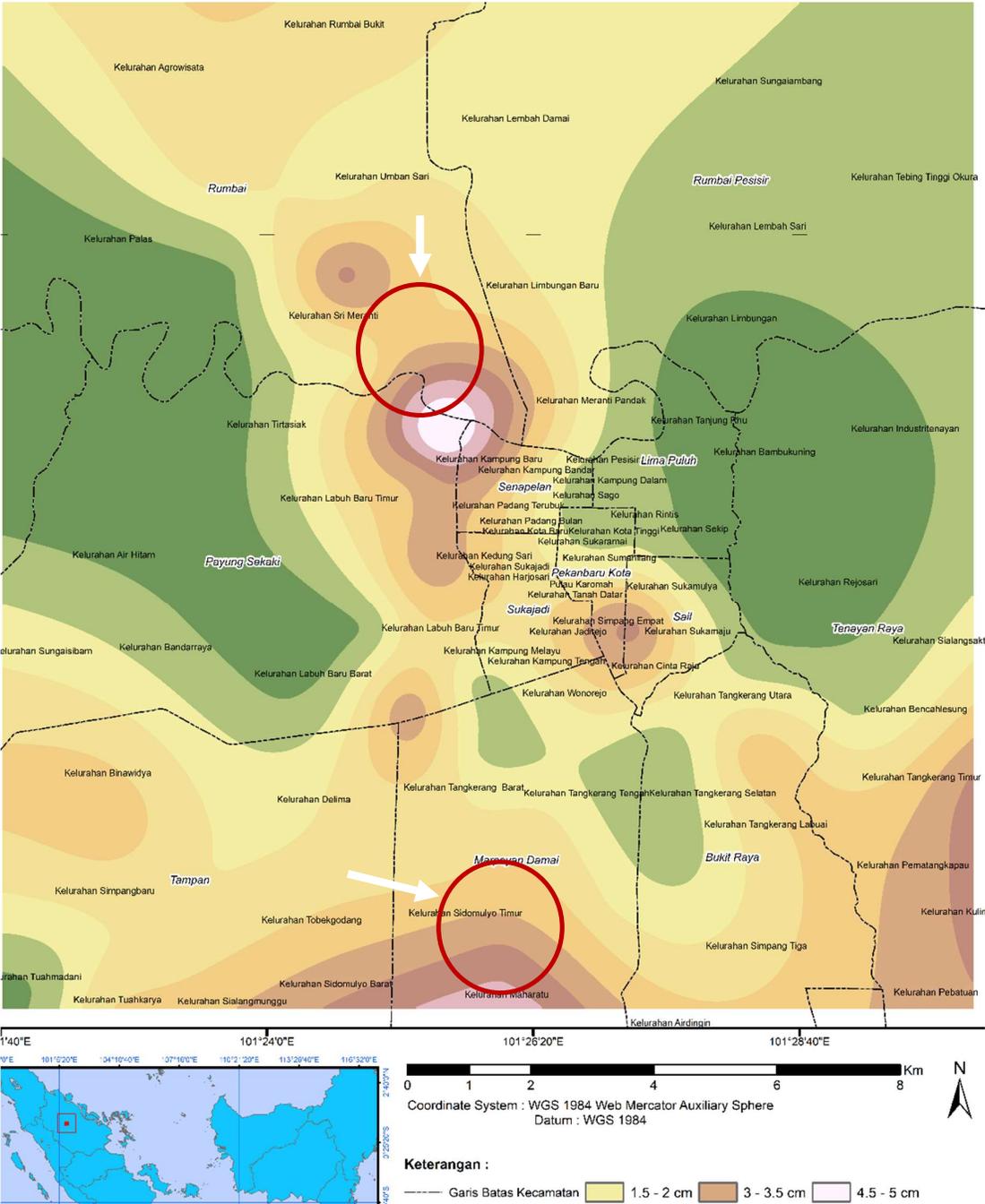
Perlu ditelaah perubahan nilai penurunan pada zona-zona dengan kontur sempit (lingkaran merah) yang semakin banyak terjadi pada cluster-cluster yang terpisah. cluster atau blok dari zona berbeda penurunan lebih banyak terjadi

pada penggunaan tiang dengan kedalaman 12,0 m

Berdasarkan Gambar 7, pemakaian fondasi tiang dengan diameter > 60 cm dan kedalaman penanaman fondasi lebih dari 18 m akan menimbulkan penurunan yang lebih besar dibandingkan panjang tiang 6 m dan 12 m. Zona daerah dengan warna berbeda lebarnya semakin menyempit (lingkaran merah). artinya perbedaan penurunan pada fondasi pada suatu bangunan gedung dengan beban besar, peluang terjadi sangat besar. Bangunan bisa menjadi miring akibat differential settlement dan runtuh jika ada gaya horizontal yang bekerja (misal gempa)



Gambar 5. Penurunan Pondasi pada Kedalaman 6 Meter pada Peta



Gambar 7. Penurunan Pondasi pada Kedalaman 18 Meter pada Peta

E. KESIMPULAN

Penurunan segera fondasi tiang pancang di berbagai wilayah administrasi Kota Pekanbaru dengan pemakaian tiang dengan diameter 60 cm tidak boleh melebihi penurunan ijin. Dengan memberikan beban rencana pada bangunan tidak melebihi daya dukung tiang tunggal, penurunan terbesar kurang dari 6 cm. Penurunan tertinggi adalah 2–2,5 cm pada tiang kedalaman 6 meter; penurunan 3–3,5 cm pada panjang tiang 12 m; dan penurunan terbesar adalah 4,5–5 cm pada kedalaman 18 meter. Pemetaan penurunan tanah yang diprediksi dengan pemakaian tiang panjang 6m, 12m, dan 18m menghasilkan batas antara zona penurunan semakin sempit. Artinya semakin besar beban bangunan, kemungkinan terjadinya penurunan tidak seragam semakin besar. Penggunaan fondasi panjang 18 meter menghasilkan zona terjadi penurunan < 2 cm dominan.

F. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Universitas Riau dan CV Geotek Multi Services atas pemakaian data sendiri

DAFTAR PUSTAKA

Aoki N, & Velloso D., A. (1975) 'An approximate method to estimate the bearing capacity of piles.', in *Proceedings of 5th Pan-American conference of soil mechanics and foundation engineering, Buenos Aires*, pp. 367–376.

Arisma, I. (2021) 'Pemetaan Kapasitas Daya Dukung Tanah Untuk Fondasi Dalam Berdasarkan Data Sondir Di Kota Pekanbaru', 8, pp. 1–15.

Aswin, L. (2014) *Evakuasi Formula Penentuan Daya Dukung Aksial Tiang Pancang Tunggal menggunakan Data CPT Berdasarkan Metode Langsung (Direct Methods)*. Bandung.

Bowles, J. E. (1981) 'Physical and geotechnical properties of soils', *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 18(6), p. 109. doi: 10.1016/0148-9062(81)90529-5.

Budi, G. S., Kosasi, M. and Wijaya, D. H. (2015) 'Bearing capacity of pile foundations embedded in clays and sands layer predicted using PDA test and static load test', *Procedia Engineering*, 125, pp. 406–410. doi: 10.1016/j.proeng.2015.11.101.

Das, B. M. and Sawicki, A. T. (2001) *Fundamentals of Geotechnical Engineering, Applied Mechanics Reviews*. doi: 10.1115/1.1421116.

Istianingsih (2009) *Desain Alternatif Pondasi Tiang Pancang Pada Gedung Rumah Sakit Global Awalbros Makassar*.

Nugroho, S. A., Yusa, M. and Satibi, S. (2019) 'Value Estimation of California Bearing Ratio from Hand Cone Penetrometer Test for Pekanbaru Soils', *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 26(1), pp. 25–32.

Rihardjo, H. P., Hardiyatmo, H. C. and Suhendro, B. (2006) 'Uji Kapasitas Tarik pada Model Fondasi Tiang Apung', *Forum Teknik Sipil*, 26(1), pp. 199–211.

Sprince, A. and Pakrastinsh, L. (2010) 'Helical Pile Behaviour and Load Transfer Mechanism in Different Soils', in *The 10th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques*, pp. 1174–1180.

Suhaimi, M., Fathurrozi, F. and Aspihani Rahman, M. (2018) 'Perbandingan Daya Dukung Ultimit Tiang Pancang Antara Metode Teoretis Dan Metode Aktual Dengan Konfigurasi Tiang Dan Kedalaman', *Jurnal Gradasi Teknik Sipil*, 1(2), p. 70. doi: 10.31961/gradasi.v1i2.436.

Suryadi, R., Nugroho, S. A. and Muhandi (2015) 'Pengaruh Kemiringan Pondasi Tiang Terhadap Daya Dukung Tiang Tunggal Akibat beban Vertikal', in *1st Annual Civil Engineering Seminar*, pp. 263–271.

Titi Hana and Farsakh M.A.Y. (1999) *Evaluation of Bearing Capacity of Piles From Cone Penetration Test*, Louisiana.

Vesic, A. S. (1977) *Design of Pile Foundations*. Transportation Research Board, 68. Washington D.C.

Yusa, M. and Nugroho, S. A. (2007) 'Korelasi Penentuan Daya Dukung Tiang Cara Empirik (CPT) Dengan Pile Driven

Analysis (PDA) di Kota Pekanbaru', *Media Teknik Sipil*, 7(1), pp. 41–48.



© 2022 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY License