

STUDI DRAG FORCE GELOMBANG AIR LAUT TERHADAP FONDASI TIANG MINI (*MINIPILE*) DI KAWASAN PANTAI PARANGTRITIS

Zainul Faizien Haza

Fakultas Teknik, Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa
zainulfaiz@gmail.com

ABSTRACT

Lateral load factor is an important parameter in the calculation of the load capacity of pile foundation, especially in desian pile foundation in coastal areas where the impact of the waves act as additional lateral load that significantly affect to lateral stability of pile foundation, in this case a mini slab foundations (minipile). The interaction between the waves with a pile foundation is a transfer force event, where the force transmitted by waves more as a drag force than impact force. This is because the wave is a fluid material instead of solid material. This study was conducted to determine the magnitude of the drag force due to the waves of the sea water on cylindrical concrete slab foundations mini (minipile). The simulation results show that the use of large diameter pile exacerbated the drag force coefficient of drag force exerted at the same time by the sea water to the surface of minipile.

Keywords: *drag force, impact force, lateral load, drag force coefficient, minipile*

PENDAHULUAN

Menurut *Federal Highway Administration, US (2000)*, fondasi di area pesisir (*coastal area*) harus memenuhi *National Flood Insurance Program (NIFP)*, dimana perencanaan fondasi harus memasukkan faktor hempasan air laut sebagai faktor beban tambahan dalam desain dan perhitungan kapasitas dukung lateral dari fondasi. Dalam hal ini, maka fondasi yang digunakan harus mampu mendukung sepenuhnya kestabilan bangunan yang mempunyai elevasi lebih tinggi dari permukaan pantai.

Pada beberapa bangunan gedung tinggi dan bangunan seperti menara transmisi dan dermaga cenderung menerima beban lateral (horisontal) yang lebih besar dibandingkan beban vertikalnya. Hal ini dikarenakan menara transmisi cenderung sangat tinggi dan menerima beban angin yang lebih besar, sedangkan

untuk beban mati pada struktur cenderung lebih kecil. Begitu juga pada struktur bangunan dermaga, dimana beban angin dan beban ombak lebih besar dibanding beban mati struktur. Pada penelitian ini akan terlihat bagaimana respon (*drag force*) pondasi tiang ketika diberi beban lateral pada tanah pasir.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya koefisien *drag force* dan besarnya *drag force* akibat hempasan gelombang air laut terhadap fondasi tiang beton mini (*minipile*) berbentuk silinder.

KAJIAN LITERATUR

Arus merupakan gerakan yang mengalir dari suatu massa air yang disebabkan oleh desitas air lau, tiupan angin atau dapat pula disebabkan gerakan bergelombang panjang. Arus juga dapat dikarenakan pasang surut. Middleton dan

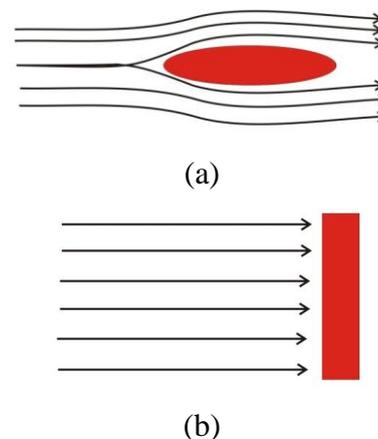
Cirano (2002) membagi arus laut ke dalam tiga golongan besar, yaitu:

- 1) Arus yang disebabkan oleh perbedaan sebaran densitas di laut. Arus ini disebabkan oleh air yang berdensitas lebih berat akan mengalir ke tempat air yang berdensitas kecil atau lebih ringan. Arus jenis ini biasanya memindahkan sejumlah besar massa air ke tempat lain;
- 2) Arus yang ditimbulkan oleh angin yang berhembus di permukaan laut. Arus jenis ini biasanya membawa air kesatu jurusan dengan arah yang sama selama satu musim tertentu;
- 3) Arus yang disebabkan oleh air pasang. Arus jenis ini mengalirnya bolak-balik dari dan ke pantai, atau berputar. Gerakan massa air dalam sangat berbeda dengan massa air permukaan. Massa air dalam terisolasi dari angin, oleh karena itu gerakannya tidaklah bergantung pada angin. Tetapi gerakan massa air dalam sebenarnya terjadi karena perubahan gerakan air permukaan.

Ketika angin berhembus di laut, energi yang ditransfer dari angin ke batas permukaan, sebagian energi ini digunakan dalam pembentukan gelombang gravitasi permukaan, yang memberikan pergerakan air dari yang kecil ke arah perambatan gelombang sehingga terbentuklah arus dilaut. Semakin cepat kecepatan angin, semakin besar gaya gesekan yang bekerja pada permukaan laut, dan semakin besar arus permukaan. Dalam proses gesekan antara angin dengan permukaan laut dapat menghasilkan gerakan air yaitu pergerakan air laminar dan pergerakan air turbulen (Thomson, 1986).

Dalam dinamika fluida, *drag force* didefinisikan sebagai hambatan udara atau

hambatan fluida, dimana gaya ini menghambat laju dari udara atau fluida akibat bergesekan dengan sebuah permukaan benda padat. Selain *drag force*, dalam lingkup interaksi antara air laut dengan permukaan benda padat, terdapat bentuk gaya lain yaitu *impact force*, yaitu gaya yang ditimbulkan oleh hantaman arus laut terhadap bidang datar tegak lurus terhadap arah gerak arus laut. Ilustrasi *drag force* dan *impact force* adalah sebagai berikut.



Gambar 1: (a) *Drag force*; (b) *Impact force*

Perilaku *drag force* tidak serupa dengan gaya hambatan yang lain karena drag force sangat tergantung kepada kecepatan aliran fluida (Falkovich, 2011). Selain itu, drag force selalu mengurangi laju fluida terhadap benda padat yang dilaluinya.

Dalam penelitian *drag force* (F_d) air laut terhadap struktur fondasi tiang, maka hal pertama dan utama yang perlu dilakukan adalah pemodelan gerakan gelombang (air laut). Dalam hal ini, faktor kecepatan (u) gelombang air laut bisa ditentukan sebagai parameter *drag force*.

Bruschi dkk. (2006) dan Zakeri dkk. (2008) menjelaskan metode pendekatan dalam menghitung *drag force* (F_d) oleh

fluida pada permukaan pipa. Dengan menggunakan pendekatan dinamika fluida, maka *drag force* (F_d) oleh fluida pada permukaan pipa dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot \rho_f \cdot C_d \cdot A \cdot u^2 \quad (1)$$

dimana F_d adalah komponen *drag force* tegak lurus terhadap sumbu pipa, ρ_f adalah berat jenis air laut, C_d adalah koefisien drag, A adalah luas permukaan pipa tegak lurus terhadap arah aliran air, dan u adalah kecepatan aliran air.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi masalah

Identifikasi permasalahan dilakukan dengan studi literatur yang memuat hasil penelitian tentang pengembangan wilayah pesisir dari aspek penyediaan infrastruktur. Permasalahan yang diteliti pada literatur sebelumnya dievaluasi ulang dengan mengacu pada rekomendasi-rekomendasi yang diberikan oleh rujukan tersebut.

2. Perumusan masalah

Perumusan masalah pada penelitian ini didasarkan pada kondisi terkini dari kawasan pesisir Pantai Parangtritis serta rekomendasi dari penelitian terdahulu dan juga program pengembangan wilayah pesisir. Berdasarkan rekomendasi tersebut, maka formulasi masalah yang berpotensi untuk diteliti dilakukan dengan menganalisis menggunakan penerapan metode-metode yang sebelumnya tidak digunakan.

3. Pengelolaan obyek utama penelitian

Obyek penelitian adalah sampel air laut yang diambil dari kawasan Pantai Parangtritis. Pengujian sampel air laut di Laboratorium Teknik Sipil Universitas

Sarjanawiyata Tamansiswa (UST). Jenis uji yang dilakukan meliputi penentuan berat jenis (*density* [kg/m^3]), kadar garam (*salinity* [g/kg]), viskositas absolut (*absolute viscosity* [Pa.s]), dan viskositas dinamik (*dynamic viscosity* [m^2/s]).

4. Analisis hasil pengujian obyek utama penelitian

Berdasarkan data hasil pengelolaan obyek utama penelitian, analisis dilakukan dengan menggunakan dua metode, yaitu perhitungan menggunakan persamaan empirik dan pemodelan numerik. Persamaan empirik diperoleh dari modifikasi persamaan-persamaan yang telah dipublikasikan melalui literatur-literatur sebelumnya. Sedangkan Metode numerik digunakan untuk analisis sekaligus pemodelan. Penerapan metode numerik ini melalui program aplikasi software komersial Ansys Fluent v.12, dimana software ini memiliki kapabilitas dalam pemodelan berbasis *computational fluid dynamic* (CFD) yang sesuai dengan penelitian ini.

5. Penentuan hasil dan analisis pemodelan

Hasil dan analisis pemodelan pada penelitian ini ditetapkan melalui kesimpulan akhir penelitian. Kesimpulan akhir penelitian ini menjelaskan tentang besarnya *drag force* yang diberikan oleh gelombang air laut di kawasan pesisir Pantai Parangtritis terhadap struktur fondasi tiang mini (*minipile*) beserta koefisiennya yang bisa digunakan sebagai acuan untuk melakukan estimasi pada proyek-proyek yang berkaitan langsung dengan pembangunan struktur fondasi tiang mini (*minipile*) di kawasan pesisir Pantai Parangtritis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data teknis air laut yang digunakan dalam penelitian ini adalah meliputi berat

jenis (*density* [kg/m³]), kadar garam (*salinity* [g/kg]), viskositas absolut (*absolute viscosity* [Pa.s]), dan viskositas dinamik (*dynamic viscosity* [m²/s]). Dalam penentuan parameter-parameter teknis air laut tersebut, acuan yang dipakai adalah rekomendasi dari International Towing Tank Conference (ITTC). Dalam standar internasional yang baru untuk parameter teknis air laut (*IOC, 2010*) salinitas absolut ditentukan berdasarkan massa air laut. Parameter kadar garam air laut ditentukan berdasarkan *standard pressure* sebesar 0.101325 MPa dan *standard absolute salinity*, $SA = 35.16504 \pm 0.007$ g/kg. Nilai densitas air laut ditentukan dengan menggunakan TEOS-10 code MatLab Version 2, (*IOC, 2010*).

Temperatur harian rata-rata berkisar antara 26,6°C sampai 28,8° C sedang temperatur minimum 18° C dan maximum 35°C, sehingga pada penelitian ini, parameter air laut yang digunakan adalah parameter pada suhu 30°C.

Purnamawati dan Wund (2012) mengemukakan bahwa angin yang bertiup membentuk dune di kawasan Pantai Parangtritis mempunyai kecepatan berkisar antara 11,4 m/det sampai dengan 13,0 m/det. Dengan demikian, maka bisa

diestimasikan bahwa kecepatan arus laut adalah sekitar 41 km/jam sampai dengan 46,8 km/jam. Oleh sebab itu dalam batasan masalah penelitian ini, variasi besarnya kecepatan arus laut adalah 30 km/jam, 50 km/jam, dan tambahan satu kecepatan ekstrim arus laut di Pantai Parangtritis yang berupa *rip current*, yaitu 80 km/jam.

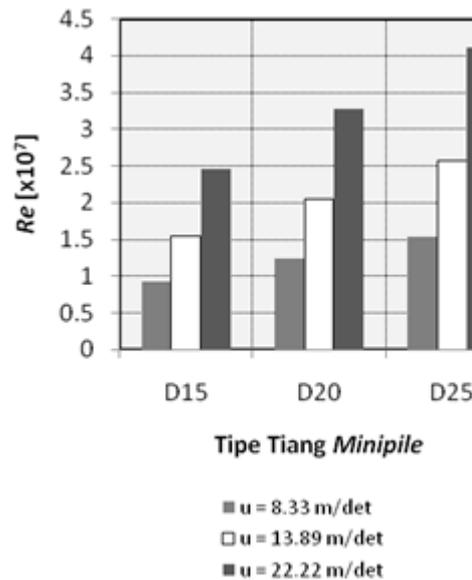
Dalam penelitian ini, *Reynolds number* (Re) dirumuskan seperti dalam Persamaan (2.6), yang terdiri dari unsur densitas air laut (ρ_f), kecepatan aliran (u), viskositas (μ), dan karakteristik dimensi linier (L). Dari empat parameter tersebut, faktor kecepatan aliran (u) adalah yang paling berfluktuasi dalam hal besarnya. Seperti yang telah ditentukan dalam lingkup penelitian, besarnya kecepatan arus laut yang digunakan dalam analisis adalah terdiri dari 3 jenis kecepatan arus, yaitu 30 km/jam, 50 km/jam, dan 80 km/jam atau bersesuaian dengan 8,33 m/det, 13,89 m/det, dan 22,22 m/det. Oleh karena itu, variasi kecepatan (u) inilah yang kemudian digunakan untuk menentukan nilai dari *Reynolds number* (Re). Hasil perhitungan adalah seperti yang tercantum dalam Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Nilai *Reynolds number* (Re)

Tipe Tiang <i>Minipile</i>	Diameter [m]	Karakteristik Linier [m]	Kecepatan Aliran (u) [m/det]	Densitas Air Laut [kg/m ³]	Viskositas Air Laut [Pa.s]	Re [$\times 10^7$]
D15	0,15	0,942857	8,33	1021,7694	0,000861	0,923
D15	0,15	0,942857	13,89	1021,7694	0,000861	1,54
D15	0,15	0,942857	22,22	1021,7694	0,000861	2,46
D20	0,20	1,257143	8,33	1021,7694	0,000861	1,23
D20	0,20	1,257143	13,89	1021,7694	0,000861	2,05
D20	0,20	1,257143	22,22	1021,7694	0,000861	3,28
D25	0,25	1,571429	8,33	1021,7694	0,000861	1,54
D25	0,25	1,571429	13,89	1021,7694	0,000861	2,57
D25	0,25	1,571429	22,22	1021,7694	0,000861	4,11

Pada Tabel 1 diatas terlihat bahwa semakin besar diameter dan semakin besar kecepatan arus air laut, maka nilai *Reynolds number* (*Re*) juga semakin besar.

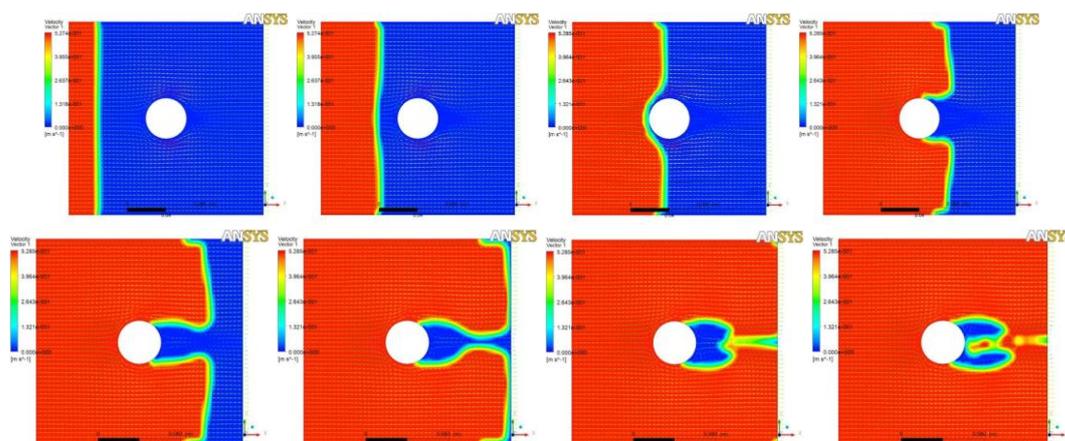
Peningkatan nilai *Re* terhadap penambahan besarnya diameter tiang *minipile* terlihat pada grafik dalam Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Perubahan nilai *Re* terhadap penambahan besarnya diameter *minipile*.

Peristiwa tabrakan antara arus air laut dengan tiang *minipile* dimodelkan dengan simulasi numerik menggunakan *software* CFD yaitu Ansys Fluent (Ansys, 2014). Dalam simulasi CFD, nilai-nilai *Cd*

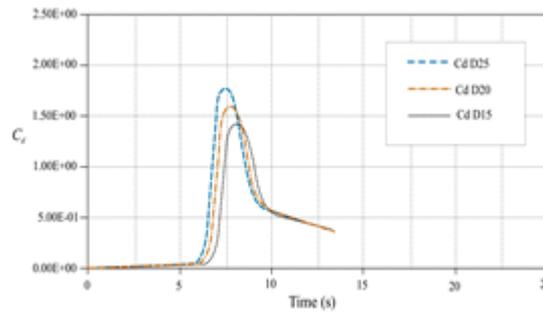
diperoleh berdasarkan interaksi antara zona air laut dengan zona tiang *minipile*. Pada Gambar 4 berikut menunjukkan sekuensial simulasi peristiwa tabrakan antara arus air laut dengan tiang *minipile* D25.



Gambar 4. Sekuensial simulasi peristiwa tabrakan antara arus air laut dengan tiang *minipile* tipe D25 dengan $u = 13,89 \text{ m/det}$.

Peristiwa tabrakan antara arus air laut dengan tiang *minipile* terjadi dalam waktu yang relatif singkat. Salah satu hasil luaran (*output*) dari simulasi menggunakan CFD adalah berupa sebaran nilai-nilai *Cd* selama

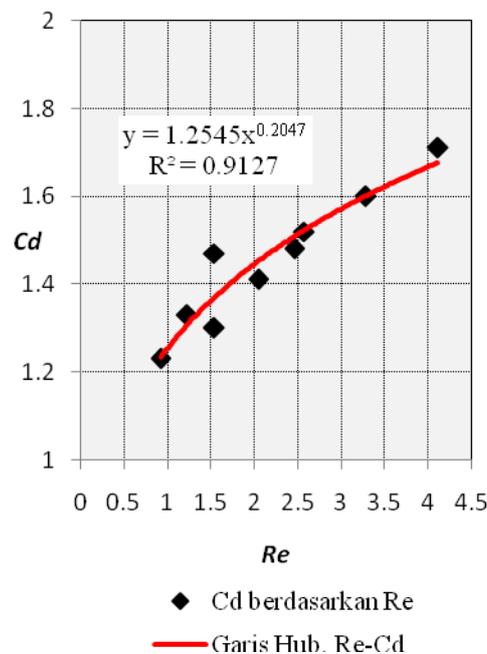
running pemodelan dalam bentuk grafik. Gambar 5 berikut ini menunjukkan sebaran nilai-nilai *Cd* berdasarkan besarnya kecepatan gelombang arus laut 80 km/jam atau bersesuaian dengan 22,22 m/det.



Gambar 5. Koefisien *drag force* simulasi numerik dengan $u = 22,22$ m/det.

Nilai *Re* dan nilai *Cd* adalah parameter non-dimensi. Nilai *Re* merupakan representasi dari kecepatan gelombang arus laut (u), sedangkan nilai *Cd* merepresentasikan besarnya nilai *drag force* (F_d). Untuk mengetahui hubungan

antara dua parameter non-dimensi ini, maka hasil perhitungan nilai-nilai *Re* dan nilai-nilai *Cd* hasil simulasi numerik diplot dalam sebuah grafik seperti pada Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6: Garis hubungan antara *Re* dan *Cd*.

Garis hubungan antara Re dan Cd pada gambar diatas memberikan panduan dalam analisis dan perhitungan besarnya *drag force* hempasan gelombang air laut terhadap tiang *minipile*. Besarnya koefisien *drag force* dapat diperoleh berdasarkan nilai *Reynolds number* (Re) dengan menggunakan persamaan $y = 1,2545x^{0,2047}$ dimana y adalah besarnya koefisien *drag force* dan x adalah besarnya Re . Gambar 6 diatas sekaligus menjadi acuan dalam estimasi beban lateral pada tiang *minipile* pada saat melakukan desain dan perhitungan struktur fondasi tiang *minipile*.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan analisis-*analisis* yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Nilai-nilai koefisien *drag force* sangat dipengaruhi oleh diameter tiang *minipile* yang digunakan serta kecepatan gelombang arus air laut. Semakin besar diameter yang digunakan dan semakin besar kecepatan gelombang arus air laut maka akan menghasilkan perhitungan koefisien *drag force* yang besar pula.
2. *Drag force* maksimum yang terjadi pada kombinasi parameter besar diameter tiang *minipile* 15 cm, 20 cm, dan 25 cm dengan parameter besarnya kecepatan gelombang arus laut di kawasan pesisir Pantai Parangtritis 30 km/jam, 50 km/jam, dan 80 km/jam adalah sebesar 338,9 kN, yang terjadi pada kombinasi parameter besar diameter tiang *minipile* 25 cm dan parameter besarnya kecepatan gelombang arus laut 80 km/jam.

DAFTAR PUSTAKA

- Bond, A. J., Hight, D.W., Jardine, R.J., 1997, *Design of Piles in Sand in The UK Sector of The North Sea*, Health and Safety Executive, Offshore Technology Report, Norwich, UK.
- Bowles, J., E., 1997, *Foundation Analysis and Design*, McGraw-Hill, US.
- Brown, D., 2012, *Recent Advances in the Selection and Use of Drilled Foundations*, Geo Congress 2012: Geotechnical Engineering State of the Art and Practice: pp. 519-548, Oakland, California, US.
- Bruce, D. A., Cadden, A.W., Sabatini, P. J., 2005, *Practical Advice for Foundation Design – Micropiles for Structural Support*, Contemporary Issues in Foundation Engineering: pp. 1-25., doi: 10.1061/40777(156)14.
- Dartoyo, A.A., 2013, *Geospasial Pesisir Indonesia, Kabupaten Bantul, Beranda Daerah Istimewa Yogyakarta*, Laboratorium Geospasial Pesisir, Yogyakarta.
- Das, B. M., 2007, *Principles of Foundation Engineering*, Thomson Learning, Toronto.
- Federal Highway Administration, US, 2000, *Micropile Design and Construction Guidelines*, PUBLICATION NO. FHWA – SA – 97 – 070, Vancouver.
- Gulhati, S. K., Datta, M., 2005, *Geotechnical Engineering*, McGraw-Hill, New Delhi.
- Kumdetha, K. K., Dey, A., 2012, *Uncertainty in Predicting Bearing Capacity of Piles in Sand Using SPT*

Data, International Symposium on Engineering under Uncertainty: Safety Assessment and Management January 4 to 6 2012, Kolkata, India.

Manual, PLAXIS V 8.2.

Munadhifah, L., 2006, *Pengembangan Obyek Wisata Pantai Parangtritis Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta*, Laporan Tugas Akhir S1, Landasan Program Perencanaan dan Perancangan Arsitektur (LP3A) Universitas Diponegoro, Semarang