

Pemilihan Metode Desain Pondasi Tiang dengan Sistem Pakar

Rara Dwi Novianti

Universitas Gunadarma

Jl. Margonda Raya No.427, Pondok Cina, Beji, Kota Depok, Jawa Barat 16424

E-mail: raradwin@gmail.com

Sri Wulandari

Universitas Gunadarma

Jl. Margonda Raya No.427, Pondok Cina, Beji, Kota Depok, Jawa Barat 16424

E-mail: swulanb@yahoo.com

Abstrak

Pondasi adalah bagian yang penting dari sistem rekayasa konstruksi yang bertumpu pada tanah. Perencanaan pondasi membutuhkan seorang ahli dalam perhitungannya. Banyak metode yang dapat digunakan dalam perencanaan pondasi khususnya daya dukung dan penurunan. Namun metode yang paling sesuai harus berdasarkan judgement dari seorang ahli. Penulisan ini bertujuan untuk membantu perhitungan daya dukung dan penurunan pondasi dengan strong foundation application (SFA). SFA merupakan suatu sistem pakar yang dibuat berdasarkan knowledge base dari berbagai sumber. Perhitungan yang dilakukan pada SFA telah dibandingkan dengan hasil uji pembebanan dari lima proyek di Indonesia, yaitu Apartement MO, PYRC Mall, CPRW, ARJE dan SPET. Dari kelima proyek didapat bahwa daya dukung yang dihitung menggunakan data laboratorium metode Tomlinson lebih mendekati nilai uji tiang daripada metode Gamma; data SPT metode Luciano memberikan nilai yang lebih mendekati hasil uji pembebanan; metode Mayerhoff memberikan nilai yang lebih optimis; perhitungan dengan data sondir metode Vesic dan Tomlinson memberikan nilai daya dukung ujung yang sama; namun daya dukung selimut Vesic lebih besar dari Tomlinson.

Kata-kata Kunci: Pondasi, SFA, sistem pakar, uji pembebanan.

Abstract

Foundation is one important elements of construction engineering which rests on soil. Foundation design requires an expert on the calculation process. Many methods can be used to design foundation particularly to calculate bearing capacity and settlement. However, choosing the suitable method should be based on an expert judgement. The purpose of this paper is to provide help on bearing capacity and settlement calculation, with strong foundation application (SFA). SFA is an expert system based on knowledge obtained from many sources. The calculation by SFA has been carried out and compared with the loading test taken from the five project in Indonesia, namely MRO Apartement, PYRC mall, CPRW, ARJE, and SPET. From the 5 projects, it is known that the end bearing capacity, calculated by Tomlinson method, is closer to the test value compared to Gamma Method. For SPT data, Luciano method gives value closer to the loading test. Meyerhoff method give a more optimistic value and the calculation by using sondir data, based on Vesic and Tomlinson Method, gives the same end-bearing capacity, even tough the vesic method give higher side friction capacity compared to Tomlinson method.

Keywords: Foundation, SFA, expert system, loading test.

1. Pendahuluan

Kekuatan daya dukung pondasi tiang aksial dapat diperkirakan dari analisis empirik dengan menggunakan data pengujian tanah lapangan seperti *standard peenetration test* (SPT), uji sondir, uji laboratorium dan pengujian langsung dilapangan seperti *static load test* dan *pile drving analyzer* (PDA). (Sanjaya G., 2014). Banyak metode yang dapat digunakan dalam menghitung daya dukung tiang aksial baik dari data lapangan maupun laboratorium. Sehingga banyak penelitian-penelitian yang dilakukan untuk mengetahui metode yang paling mendekati nilai pengujian langsung.

Kapasitas daya dukung tiang sangat erat kaitannya dengan penurunan yang akan terjadi. Penurunan tiang merupakan salah satu parameter penting dalam keberhasilan perencanaan pondasi. Banyaknya metode perencanaan pondasi yang dipakai, membuat perlu dilakukannya analisis berbagai metode dan dibandingkan dengan hasil satu sama lain. Sehingga didapat metode yang paling tepat untuk di lapangan. Selain itu pengalaman dan pengetahuan seorang ahli sangat dibutuhkan, karena pondasi bertumpu pada tanah yang memiliki sifat yang berbeda di setiap lapisannya. Sebab itu, perencanaan pondasi membutuhkan seorang ahli namun ahli belum tersebar secara merata. Melihat fakta ini diperlukan adanya sistem yang dapat membantu perencanaan pondasi di setiap proyek. Sistem

pakar akan membantu tenaga non ahli untuk merencanakan pondasi serta membuat keputusan yang tepat dalam perencanaan. Sistem pakar yang dibuat dengan berbasis teknologi membuat pekerjaan perencanaan lebih optimal. Sistem ini bukanlah untuk menggantikan para ahli, tetapi untuk membuat pengetahuan dan pengalaman para pakar tersimpan dan tersedia lebih luas.

2. Metode Analisis

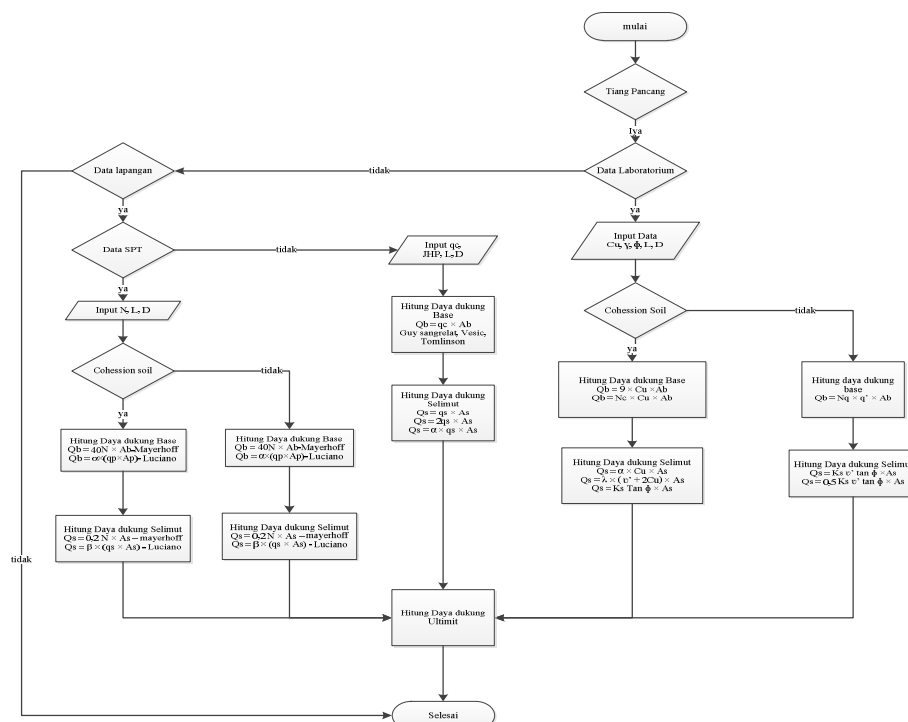
2.1 Tahapan Perencanaan Pondasi

Pembuatan pengembangan program perlu dibuat diagram alir untuk mengarahkan tahap-tahap pengerjaan. Tahap awal yaitu studi literature untuk mengumpulkan data, mencari landasan teori dan referensi yang digunakan untuk *database* aplikasi. Tahap berikutnya yaitu pengerjaan pembuatan program yang menggunakan software *Visual Studio*. Selanjutnya memverifikasi program yang telah dibuat dengan pakar sehingga program sepenuhnya dapat mewakili pengetahuan dan pengalaman pakar dibidangnya. Selain verifikasi pakar, program diuji coba terhadap user, untuk menguji apakah program mudah dimengerti dan dapat memberikan solusi atas permasalahan yang ada. Pada **Gambar 1** sampai **Gambar 3** dapat dilihat diagram alir yang digunakan pada pembuatan sistem pakar. Lebih detailnya, perhitungan pakar terbagi menjadi 5 bagian, yaitu perencanaan pondasi, pemilihan jenis tiang pondasi, perhitungan daya dukung tiang pancang, perhitungan daya dukung tiang bor, dan perhitungan penurunan segera.

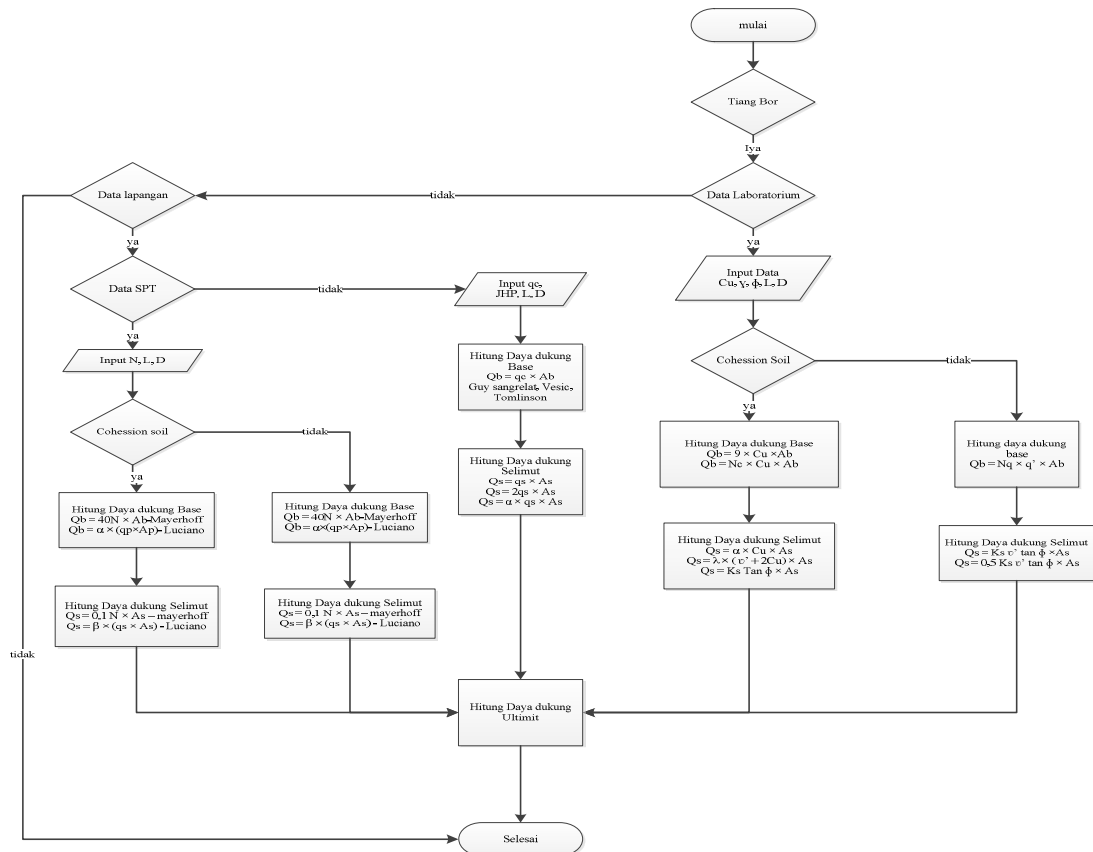
Untuk tahapan perencanaan pondasi, data yang digunakan adalah data tanah dan data beban struktur atas. Data ini kemudian digunakan untuk menentukan dimensi dari pondasi. Dari dimensi pondasi tersebut, dihitunglah daya dukung aksial dari tiang pancang. Untuk dapat menopang struktur di atasnya, ditentukan juga kebutuhan jumlah tiang pancang yang dimensinya telah dihitung sebelumnya. Langkah selanjutnya adalah menghitung efisiensi dari tiang grup yang kemudian digunakan untuk menghitung daya dukung tiang grup. Setelah itu, penurunan dari tiang dihitung. Apabila penurunan tiang grup lebih kecil dari 75 mm, maka proses perhitungan telah selesai. Apabila tidak, maka dimensi dari pondasi harus dihitung kembali.

Dalam proses pemilihan jenis tiang pondasi, langkah pertamanya adalah pengumpulan tanah, data proyek dan data beban struktur. Melalui data ini, kemudian ditentukan jenis tiang yang dipilih, yaitu di antara pondasi tiang pancang dan pondasi tiang bor. Setelah tipe pondasi ditentukan, dilakukan perhitungan pondasi dengan data laboratorium yang dilengkapi dengan data lapangan. Apabila data laboratorium tidak tersedia, maka perhitungan akan dilakukan dengan data lapangan saja.

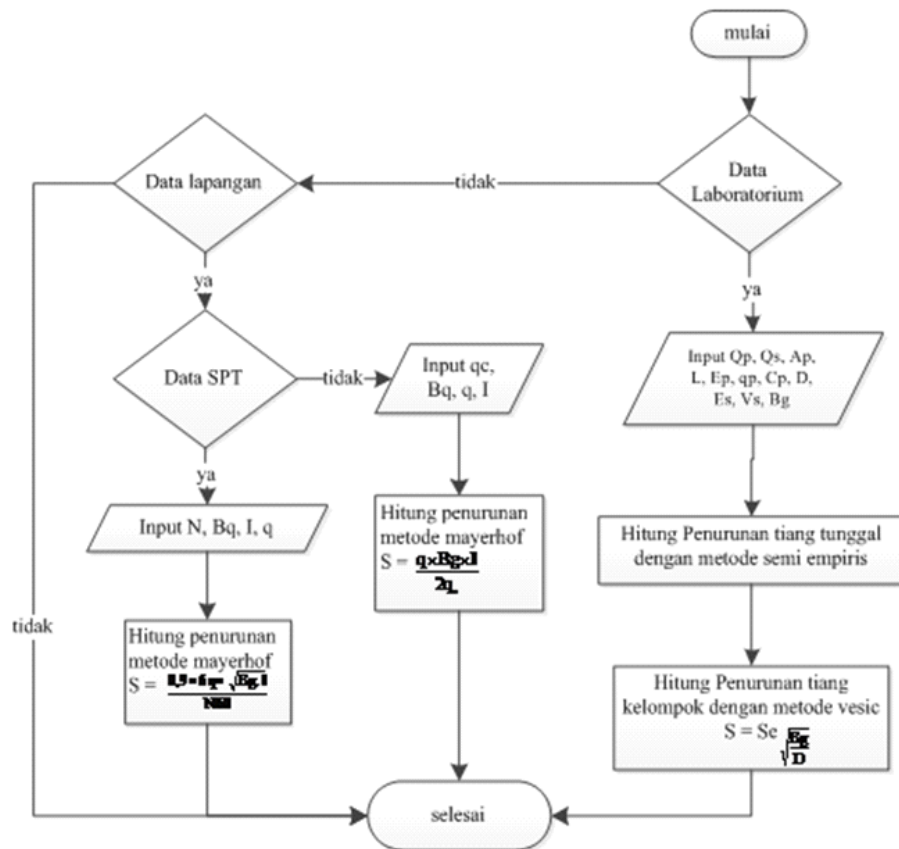
Metode-metode yang digunakan dalam pembuatan *knowledge base* SFA didapat dari berbagai sumber buku-buku perencanaan pondasi, baik pada perhitungan daya dukung, efisiensi maupun pada perhitungan penurunan segera (Ariyanto dan Untung, 2013; Bowles, 1998; Das, 2011; Poulos dan Davis, 1980; Rahardjo, 2005; Tomlinson, 1994; Teng, 1962). Pada **Tabel 1** dapat dilihat kesimpulan metode yang digunakan pada perhitungan daya dukung, efisiensi dan penurunan pada SFA.



Gambar 1. Diagram alir perhitungan daya dukung tiang pancang



Gambar 2. Diagram alir perhitungan daya dukung tiang bor



Gambar 3. Diagram alir perhitungan penurunan segera

Tabel 1. Metode perencanaan pondasi

Metode	Laboratorium Data	SPT Data	CPT Data
End Bearing	Cohession	Vesic, Mayerhoff	
	Cohessionless	Vesic, Castello	
Skin Friction	Cohession	Tomlinson, Gamma	Luciano Mayerhoff
	Cohessionless	Beta	Vesic Tomlinson
Effisiensi	Converse Labarre, Seiler Kenney, Los Angeles		
Penurunan Segera	Vesic	Vesic, Mayerhoff	

2.2 SFA (Strong Foundation Application)

Strong foundation application version 1 atau disingkat SFA v.1 (selanjutnya akan digunakan istilah ini dalam penyebutannya) merupakan sistem pakar dari perencanaan pondasi tiang gedung yang di dalamnya terdapat *knowledge base* sebagai dasar dari perhitungan. *Knowledge base* tersusun dari banyak metode-metode perhitungan yang telah dirangkum dalam **Tabel 1**. Sistem *knowledge base* untuk perhitungan daya dukung pondasi tiang sebelumnya pernah diteliti, yaitu:

1. Software BORPILE oleh Paulus P. Rahardjo dkk, software ditulis dengan QBASIC. Metode yang digunakan berdasarkan metode Reese. Software dikembangkan untuk tiang bor.
2. Program perhitungan daya dukung dan penurunan pondasi oleh Ryan Wijaya dkk. Perhitungan dilakukan menggunakan MATLAB. Program perhitungan khusus untuk tiang pancang.

SFA dibuat dengan *knowledge based system* (KBS) yang merupakan salah satu bentuk dari sistem pakar yang menggabungkan pengetahuan atau literatur, dapat berupa dari buku, jurnal dan penelitian yang telah teruji. KBS adalah sebuah program untuk memperluas dan membuktikan sebuah pengetahuan. Sebuah *database* pengetahuan merupakan sebuah kumpulan pengetahuan yang dapat dituliskan dengan beberapa bahasa program. SFA ditulis dengan bahasa C# menggunakan software *visual studio* 2013. C# (dibaca "See-Sharp") adalah bahasa pemrograman baru yang diciptakan oleh *Microsoft*. Seperti halnya bahasa pemrograman yang lain, C# bisa digunakan untuk membangun berbagai macam jenis aplikasi, seperti aplikasi berbasis windows (desktop) dan aplikasi berbasis web serta aplikasi berbasis web services. Banyak kelebihan yang diberikan oleh C#, sehingga C# menjadi bahasa pemrograman yang banyak digunakan.

SFA merupakan aplikasi berbasis web, hal ini dimaksudkan agar *user* dapat mengakses aplikasi ini di manapun dan kapanpun. SFA mengakomodasi perhitungan untuk pondasi tiang pancang maupun tiang bor. Namun dari banyak metode di dalamnya terdapat batasan, karena metode-metode yang digunakan dalam perhitungan memiliki batas

maksimum dan minimum. Batasan-batasan tersebut di antaranya:

1. Pada perhitungan efisiensi tiang, konfigurasi tiang untuk perhitungan masih terbatas dalam grup yang berbentuk persegi atau persegi panjang. Seperti jika jumlah tiang ada 5 maka SFA v.1 akan mendefinisikan tiang berbentuk 3×2. Namun ini tidak terlalu berpengaruh karena efisiensi jumlah tiang 6 akan sama atau lebih kecil dari jumlah tiang 5, sehingga perhitungan akan sedikit bersifat konservatif.
2. Perhitungan jumlah tiang pondasi berdasarkan beban satu kolom, tidak dapat menghitung untuk tiang dengan beban grup.
3. Perhitungan daya dukung ujung tiang untuk tanah pasir dengan metode Coyle & Castello memiliki nilai N_q yang telah diubah dari bentuk grafik menjadi bentuk tabel. Hal ini dilakukan karena dalam pembuatan program input terbatas hanya pada data, tidak dapat hanya berdasarkan gambar.
4. Perhitungan daya dukung ujung tiang untuk tanah pasir dengan metode Vesic, memiliki batasan untuk sudut geser tanah pasir hanya terbatas 45°, apabila lebih dari itu maka hasil perhitungan daya dukung ujung memiliki hasil 0.
5. Perhitungan penurunan segera tiang dengan metode Mayerhoff data SPT, memiliki batasan bahwa panjang tiang tidak boleh kurang dari delapan kali diameter. Apabila lebih maka hasil penurunan memiliki hasil nol.

3. Hasil dan Analisis

Program SFA v.1 memberikan alur program sesuai dengan langkah-langkah perhitungan pondasi pada umumnya. Namun program ini membatasi perhitungan pondasi hanya pada satu beban struktur atas saja. Dimulai dari menghitung daya dukung pondasi, jumlah pondasi yang dibutuhkan, efisiensi tiang, dan penurunan segera tiang. Pada *case study* ini untuk memverifikasi output SFA, output akan dibandingkan dengan *output* dari *static* dan *dynamic loading test* yang diambil dari lima proyek di Indonesia, yaitu:

- a. Apartement MRO di Cikarang, Jawa Barat
- b. PYRC Mall and Apartement di Surabaya, Jawa Timur
- c. CPRW di Jakarta Timur, Jakarta
- d. ARJE di Jakarta Barat, Jakarta

e. SPET di Jakarta Timur, Jakarta

Simulasi dilakukan dengan menggunakan data tanah pada proyek PYRC Mall yang terletak di Surabaya. Pada proyek ini menggunakan tiang pancang diameter 0,45 meter dengan panjang tiang 25 meter. Pada proyek ini dilakukan *loading test*, sehingga dapat dibandingkan dari *output* program dengan hasil *loading test*. Berdasarkan data tanah yang ada, tanah di proyek PYRC termasuk ke *silty clay* (CH) dengan *high plasticity* yang memiliki varian *stiffness* berbeda setiap kedalamannya. Langkah-langkah dalam simulasi akan dijelaskan di bawah ini.

Langkah pertama yaitu menginput data tanah, pada proyek ini kedalam tanah mencapai 36 meter dengan ketebalan setiap layer 2 meter untuk SPT dan untuk data CPT mencapai 25 meter dengan ketebalan setiap layer 2,5 meter. Pada data SPT nilai yang diinput yaitu jumlah pukulan dan jenis tanah. Jumlah pukulan merupakan nilai yang didapat dari data SPT, atau yang sering disebut nilai N. Sedangkan untuk data CPT yang diinput yaitu tahanan ujung tiang (qc) dan selimut (qs).

Tanah di dominasi dengan lempung dan data tanah CPT tidak mencapai tanah keras.

Kemudian menginput beban struktur, pada SFA beban hanya bisa dihitung untuk satu reaksi kolom. Pada kolom proyek PYRC memiliki reaksi sebesar 1500 ton dengan kekuatan beton yaitu 30 MPa.

Dan input terakhir yaitu data kondisi lingkungan proyek yang akan dihitung pondasinya. Kondisi data proyek digunakan untuk menentukan jenis pondasi tiang dan faktor keamanan tertentu. Di PYRC, jenis tiang dipilih oleh *owner* yaitu tiang pancang dan kondisi tanah didominasi oleh tanah lempung.

Setelah menginput data, langkah selanjutnya yaitu menginput diameter *pile*. Jika tiang yang digunakan adalah tiang pancang, maka *user* harus memilih bentuk tiang. PYRC menggunakan tiang pancang dengan bentuk segiempat dan dengan diameter 0,45 meter.

Kemudian tampilan program akan menampilkan data dan metode perhitungan yang dapat dipilih oleh *user*.

Tabel 2. Summary calculation with SFA v.1 data SPT PYRC Surabaya

Metode	Data SPT		Data CPT		SI
	Mayerhoff	Luciano	Vesic	Tomlinson	
End bearing	405,00	405,00	91,13	91,13	Ton
Skin friction	389,52	199,80	227,70	113,85	Ton
Ultimate Bearing	794,52	604,80	318,83	204,98	Ton
Converse Labarre	0,76	0,74	0,71	0,68	-
Efficiency					
Los Angeles	0,83	0,81	0,78	0,75	-
Seiler Kenney	0,66	0,65	0,65	0,64	-
Pile	8	10	18	29	Pile
Grup Capacity	1934,89	1799,79	1629,42	1622,81	Ton
Settlement Mayerhoff	371,00	241,00	83,00	136,99	mm
Settlement Vesic	76,59	77,15	25,50	21,17	mm

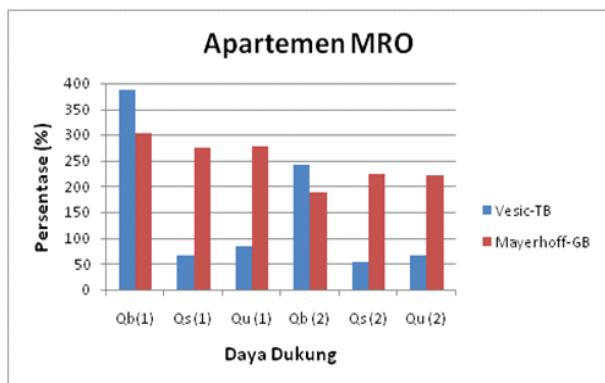
Analisa dilakukan dengan membandingkan output dari SFA V.1 dengan hasil *loading test*. Perbandingan disajikan dalam grafik rasio persentase. Metode interpretasi yang digunakan pada *static loading test* yaitu metode Mazerkuiwich, Chin dan Davisson, sedangkan PDA menggunakan program CAPWAP. Nilai yang dihasilkan dari PDA adalah nilai yang menunjukkan daya dukung dengan cara dinamik. Pada penggunaannya nilai daya dukung yang didapat dari PDA, digunakan sebagai pembanding hasil *static loading test* yang kemudian hasilnya dikorelasikan. Tiang yang diuji *loading test* pada proyek MRO dan SPET yaitu dua tiang, sedangkan pada proyek PYRC, CPRW dan ARJE memiliki 4 tiang yang diuji.

Pada proyek MRO dan SPETs memiliki data laboratorium yang dapat digunakan untuk perhitungan, sedangkan proyek lain hanya memiliki data SPT. Sedangkan data

CPT tidak dapat digunakan karena data kedalam tanah tidak mencapai panjang tiang. Pada grafik SPT, ada dua metode kombinasi antara Mayerhoff dan Luciano yaitu Lb (Luciano base) - Ms (Mayerhoff shaft) dan Mb (basis Mayerhoff) - Lb (Luciano base), hal ini dilakukan untuk mengetahui daya dukung ujung dan daya dukung selimut masing-masing metode sehingga dapat dibandingkan. Adapun data laboratorium terdapat metode kombinasi TB yaitu Tomlinson untuk tanah liat - Beta untuk pasir dan GB yaitu Gamma untuk tanah liat - Beta untuk pasir.

Soft toe terjadi di MRO Project, hal ini diketahui dari data *crosshole sonic logging*. *Soft toe* menyebabkan daya dukung ujung tidak termobilisasi, sehingga output PDA memiliki kapasitas yang sangat kecil dan rasio persentasenya sangat besar antara perhitungan empiris memakai SFA V.1 dan perhitungan langsung dengan

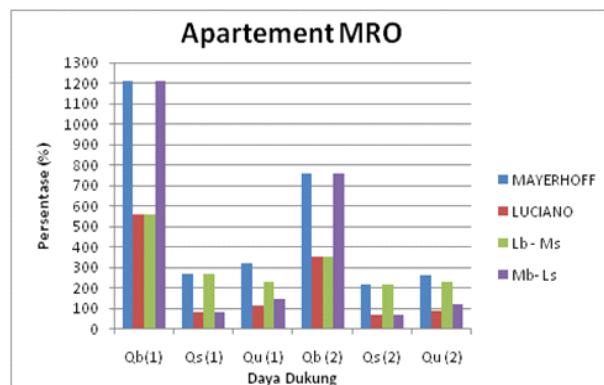
PDA. Hal ini juga terjadi pada proyek PYRC. Metode interpretasi pada CPRW, ARJE dan SPTE yang memiliki hasil mendekati dengan output SFA adalah Chin Method. Daya dukung ujung Apartement MRO dengan data laboratorium mendekati nilai metode Vesic dan Mayerhoff. Sedangkan untuk perhitungan SPTE laboratorium metode Vesic tidak dapat dilakukan karena input sudut gesekan tanah lebih besar dari 45° .



Gambar 4. Persentase ratio daya dukung PDA dengan hasil perhitungan SFA v.1 data laboratorium apartemen MRO

Perhitungan daya dukung ujung pada MRO menggunakan metode Vesic dan Mayerhoff karena tanah ujung tiang merupakan tiang lempung. Sedangkan untuk daya dukung selimut menggunakan metode Tomlinson (L) Beta (P) dan Gamma (L) Beta (P), sehingga daya dukung ultimate yang dihitung menggunakan empat kombinasi dari empat metode yang ada. Dari hasil yang didapatkan dari SFA v.1 menunjukkan bahwa daya dukung ujung dengan metode Vesic dan Mayerhoff memiliki *range* nilai yang dekat. Namun untuk daya dukung selimut memiliki *range* nilai yang jauh. Oleh karena itu pada perhitungan daya dukung *ultimate*, daya dukung selimut sangat berpengaruh. Sehingga pada grafik daya dukung *ultimate* hanya memiliki dua kombinasi metode yaitu Vesic – TB dan Mayerhoff – GB.

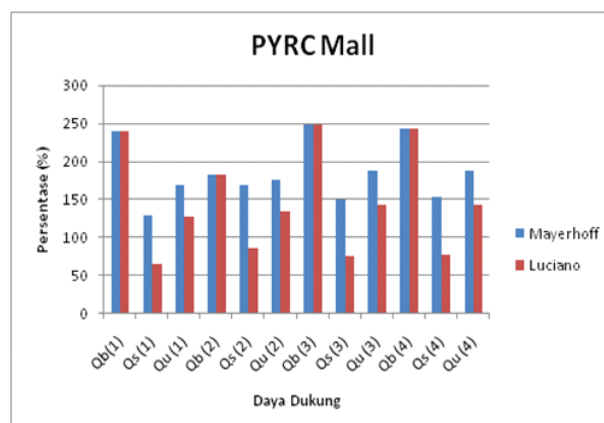
Berdasarkan grafik yang ada pada **Gambar 4** dapat diketahui bahwa perbandingan daya dukung ujung hasil perhitungan SFA dengan hasil uji tiang memiliki ratio 150% sampai 400% di kedua tiang. Hal ini dapat disebabkan karena terjadinya *soft toe* pada tiang yang diuji. Hal ini dapat diketahui karena pada tiang dilakukan uji *crosshole sonic logging* untuk mengetahui keadaan beton tiang pondasi. *Soft toe* bisa menyebabkan daya dukung ujung tidak termobilisasi. Sehingga perhitungan daya dukung antara SFA v.1 dan hasil uji PDA memiliki nilai yang berbeda jauh. Daya dukung selimut dan *ultimate* di kedua tiang memiliki persentase ratio mendekati 100% menggunakan metode Vesic – TB, sedangkan metode Mayerhoff – GB sangat optimistik. Hal ini disebabkan karena daya dukung selimut dengan metode Tomlinson (L) Beta (P) sangat besar.



Gambar 5. Persentase ratio daya dukung PDA dengan hasil perhitungan SFA v.1 data SPT apartement MRO

Dari persentase pada **Gambar 5** dapat dilihat bahwa daya dukung *base* (Qb) untuk kedua tiang memiliki persentase ratio yang sangat tinggi. Hal ini sesuai dengan hasil perhitungan daya dukung data laboratorium. *Soft toe* merupakan penyebab daya dukung ujung dapat sangat berbeda. Selain itu uji tiang dengan PDA menggunakan metode perambatan gelombang. Sehingga ketika tiang diuji, gelombang dapat tidak mencapai tanah ujung karena adanya *soft toe*.

Namun untuk daya dukung selimut (Qs) dan daya dukung *ultimate* (Qu) memiliki hasil ratio mendekati 100%. Hal ini didapati pada metode Luciano dan gabungan dari Mayerhoff *base* dan Luciano selimut. Sedangkan untuk hasil dengan metode Mayerhoff memiliki persentase yang cukup besar yaitu 300% atau 3 kali lebih besar dari daya dukung yang didapatkan dari hasil tes PDA, sehingga dapat disimpulkan bahwa metode Mayerhoff memiliki daya dukung yang lebih optimis.



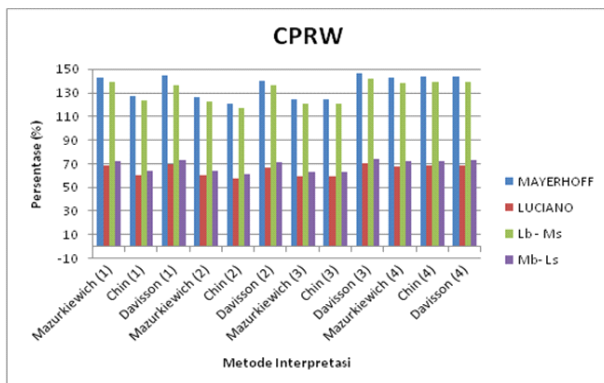
Gambar 6. Persentase ratio daya dukung aksial loading test dengan hasil perhitungan SFA v.1 PYRC mall

Pada proyek PYRC tiang yang digunakan adalah tiang pancang dengan ujung tiang telah mencapai tanah keras. Hasil dari perhitungan SFA v.1 didapatkan daya dukung ujung dengan kedua metode yaitu Mayerhoff dan Luciano memiliki nilai yang sama. Namun apabila

dibandingkan dengan hasil uji PDA, daya dukung ujung *output* SFA v.1 memiliki *ratio* 200% sampai 250% atau dua kali lipat dari daya dukung uji PDA. Hal ini disebabkan karena daya dukung ujung belum termobilisasi dengan sempurna. Uji tiang PDA menggunakan rambat gelombang dalam menghitung daya dukung tiang.

Gelombang didapatkan dari energi yang dipukul di kepala tiang dengan beban rencana sesuai dengan daya dukung yang telah dihitung. Namun apabila pada saat uji dilakukan, daya dukung selimut termobilisasi lebih dulu. Apabila daya dukung selimut lebih besar dari beban rencana, maka energi akan hilang pada saat melewati daya dukung selimut. Sedangkan daya dukung ujung, hanya menerima sisa energi yang ada. Hal ini dapat menyebabkan daya dukung ujung tiang yang terbaca hanya sebagian saja.

Daya dukung selimut pada tiang kedua, ketiga dan keempat dengan metode Luciano mendekati 100%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada proyek PYRC metode Luciano lebih mendekati hasil uji PDA untuk daya dukung selimut. Sedangkan metode Mayerhoff lebih optimis. Sedangkan untuk daya dukung *ultimate*, nilai daya dukung ujung lebih besar. Oleh karena itu daya dukung *ultimate* lebih dipengaruhi oleh daya dukung ujung. Namun dapat disimpulkan bahwa metode Luciano untuk proyek PYRC lebih mendekati nilai daya dukung uji PDA, dan metode Mayerhoff lebih optimis.

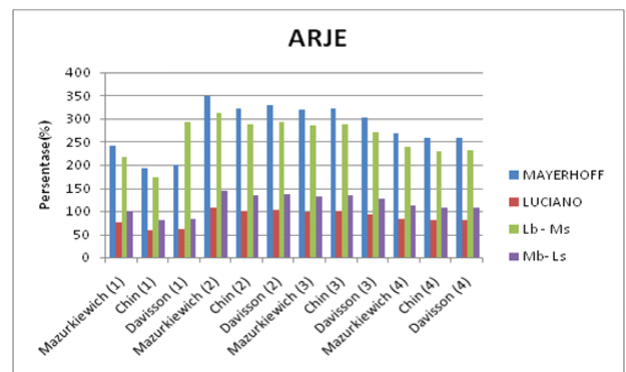


Gambar 7. Persentase ratio daya dukung aksial loading test dengan hasil perhitungan SFA v.1 data SPT CPRW

Dari **Gambar 7** dapat dilihat bahwa semua metode memiliki persentase yang berbeda setiap metode pada 4 tiang yang diuji. Metode Mayerhoff dan metode Luciano (*base*) Mayerhoff (selimut) memiliki daya dukung yang lebih besar dari hasil PDA. Sedangkan untuk metode Luciano dan Mayerhoff (*base*) Luciano (selimut) memiliki daya dukung yang lebih kecil dari hasil hitungan daya dukung PDA.

Persentase ratio metode Mayerhoff hampir dua kali lipat dari metode Luciano di setiap tiang. Namun adanya dua metode kombinasi antara metode Luciano (*base*)

Mayerhoff (selimut) dan Mayerhoff (*base*) Luciano (selimut), dapat disimpulkan bahwa daya dukung selimut Mayerhoff sangat besar. Sehingga mempengaruhi nilai daya dukung *ultimate* dan membuat metode Luciano (*base*) Mayerhoff (selimut) memiliki daya dukung yang lebih besar. Metode interpretasi memberikan nilai daya dukung yang tidak jauh berbeda. Sehingga ratio yang didapat ada di rata-rata setiap metodenya.



Gambar 8. Persentase ratio daya dukung aksial loading test dengan hasil perhitungan SFA v.1 data SPT ARJE

Berdasarkan **Gambar 8** dapat dilihat perhitungan dengan metode Luciano mendekati persentase ratio nol persen. Persentase grafik metode Luciano yang mendekati nilai 100 persen yaitu pada pada tiang uji kedua, ketiga dan keempat untuk ketiga metode yaitu Mazurkewich, Chin dan Davisson. Hal ini menunjukkan bahwa perhitungan yang dilakukan dengan SFA v.1 menggunakan metode Luciano mendekati hasil dari nilai uji tiang.

Sedangkan untuk metode Mayerhoff memiliki persentase yang lebih besar, berkisar antara 190% sampai 350%. Hal ini menunjukkan bahwa metode Mayerhoff memiliki nilai daya dukung 3,5 kali lebih besar dari hasil nilai daya dukung uji tiang. Dan bisa disimpulkan bahwa metode Mayerhoff memiliki hitungan yang lebih optimis. Dua metode lainnya yang merupakan metode percobaan dapat dilihat bahwa metode Luciano (*base*) Mayerhoff (selimut) memiliki bentuk grafik yang sama dengan metode Mayerhoff, sedangkan metode Mayerhoff (*base*) Luciano (selimut) memiliki bentuk grafik yang sama dengan metode Luciano. Dari hal ini dapat disimpulkan bahwa nilai daya dukung selimut Mayerhoff memiliki nilai yang sangat besar sehingga mempengaruhi nilai daya dukung *ultimate*.

Pada **Gambar 9** didapatkan bahwa metode Castello – Tomlinson (L) Beta (P) untuk kedua tiang uji yang mendekati hasil uji tiang dengan daya dukung yang dihitung dengan SFA v.1. berkisar antara 150% sampai 270%. Metode interpretasi yang paling mendekati yaitu metode Chin. Sedangkan untuk metode Davisson dan Mazurkewich lebih optimis. Metode Castello – Gamma (L) Beta (P) memiliki nilai daya dukung yang lebih optimis. Persentase ratio berada di 220% sampai 420%.

Daya dukung selimut memiliki pengaruh yang besar dalam perhitungan nilai daya dukung *ultimate*. Hal ini dikarenakan pada kedua metode memiliki nilai daya dukung ujung yang sama. Pada perhitungan daya dukung ini, metode Chin juga metode interpretasi yang paling mendekati. Maka dapat disimpulkan untuk proyek SPETs dengan data laboratorium, metode Chin merupakan metode interpretasi yang paling mendekati nilai daya dukung SFA v.1. Sedangkan untuk metode perhitungan, metode Gamma (L) Beta (P) lebih optimis. Karena untuk perhitungan tanah pasir memiliki rumus yang sama, maka rumus Gamma lempung dapat disimpulkan lebih optimis dari rumus Tomlinson.

Pada **Gambar 10** memiliki bentuk grafik yang sama dengan grafik pada perhitungan metode laboratorium. Metode Chin merupakan metode interpretasi yang paling mendekati dalam perhitungan persentase ratio. Hal ini sama dengan yang didapatkan dari analisis data laboratorium. Pada data SPT metode perhitungan daya dukung dengan SFA v.1 yang paling mendekati adalah metode Luciano. Persentase metode Luciano berkisar di 90 sampai 150 persen. Sedangkan untuk metode Mayerhoff lebih optimis. Persentase berada di 200 sampai 400 persen. Sedangkan untuk metode Luciano (*base*) Mayerhoff (*selimut*) dan Mayerhoff (*base*) Luciano (*selimut*) berada diantara kedua metode. Maka dapat disimpulkan untuk proyek SPETs dengan data SPT, metode Chin merupakan metode interpretasi yang paling mendekati nilai daya dukung SFA v.1. sedangkan untuk metode perhitungan daya dukung yang paling mendekati yaitu metode Luciano.

Berdasarkan perhitungan dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal yang kemudian dirangkum dalam **Tabel 3**, yaitu:

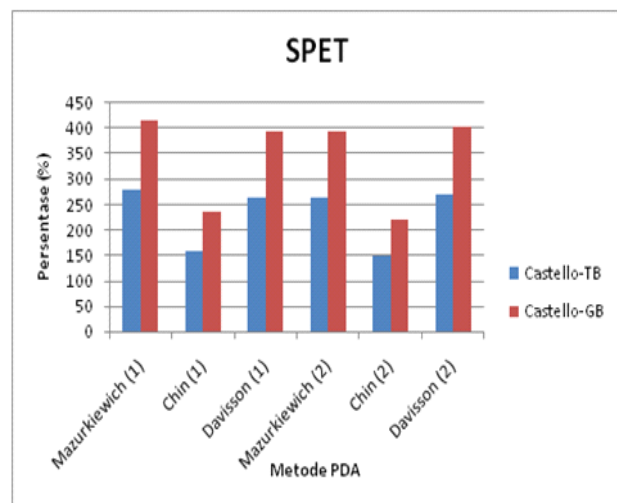
Metode perhitungan daya dukung dengan data laboratorium untuk tiang bor maupun tiang pancang menunjukkan bahwa perhitungan daya dukung ujung untuk data lempung menggunakan metode Vesic dan Mayerhoff memiliki nilai yang tidak jauh berbeda. Sedangkan untuk daya dukung selimut metode Tomlinson lebih mendekati hasil uji pembebanan tiang, baik uji aksial ataupun dengan uji dinamik. Sedangkan metode Gamma lebih optimis untuk perhitungan tanah lempung. Sedangkan untuk tanah pasir menunjukkan bahwa perhitungan daya dukung selimut metode Tomlinson lebih mendekati hasil uji pembebanan tiang dan metode Gamma lebih optimis.

1. Metode perhitungan daya dukung dengan data SPT untuk tiang bor menunjukkan bahwa metode Luciano lebih mendekati hasil uji pembebanan tiang, baik uji aksial ataupun dengan uji dinamik. Sedangkan metode Mayerhoff lebih optimis. Hal ini dikarenakan metode Mayerhoff memiliki nilai daya dukung selimut yang lebih besar. Kedua

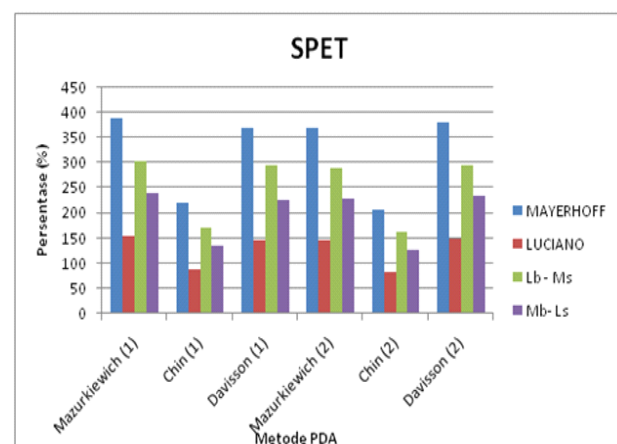
metode dapat digunakan pada tanah lempung maupun tanah pasir. Sedangkan untuk tiang pancang menunjukkan bahwa metode Luciano dan Mayerhoff memiliki nilai daya dukung ujung yang sama. Namun daya dukung selimut Mayerhoff lebih besar daripada Luciano.

2. Metode perhitungan daya dukung dengan data sondir memiliki nilai daya dukung yang tidak terlalu berbeda antara metode Vesic maupun Tomlinson. Namun penggunaan data sondir seringkali tidak dapat digunakan, karena kedalaman data sondir mencapai tanah keras lebih pendek daripada panjang tiang pondasi.

3. Metode interpretasi yang digunakan untuk perhitungan daya dukung hasil uji tiang paling mendekati dengan perhitungan SFA v.1 adalah metode Chin.



Gambar 9. Persentase ratio daya dukung aksial loading test dengan hasil perhitungan data laboratorium SFA v.1 SPET



Gambar 10. Persentase ratio daya dukung aksial loading test dengan hasil perhitungan data SPT SFA v.1 SPET

Tabel 3. Perbandingan *output* SFA V.1 and *loading test*

Project	Pile	Loading test	Data Laboratorium	Data SPT	Data CPT
Apartemen MRO	Bored Pile	PDA	Metode Vesic-TB lebih mendekati nilai dari PDA test. Metode Mayerhoff-GB memiliki nilai lebih optimis.	Metode Luciano lebih mendekati nilai dari PDA tes. Metode Mayerhoff memiliki nilai lebih optimis. Metode Luciano lebih mendekati nilai dari PDA test. Metode Mayerhoff memiliki nilai lebih optimis. Metode Luciano lebih mendekati nilai dari PDA test. Metode Mayerhoff memiliki nilai lebih optimis.	N/C*
PYRC Mall	Driven Pile	PDA	N/C*	Metode Luciano lebih mendekati nilai dari PDA test. Metode Mayerhoff memiliki nilai lebih optimis. Metode Luciano lebih mendekati nilai dari PDA test. Metode Mayerhoff memiliki nilai lebih optimis.	Tidak bisa dibandingkan dengan PDA tes karena data tidak mencukupi. Metode Vesic lebih optimis dari metode Tomlinson.
CPRW	Bored Pile	Static Loading Test	N/C*	Metode Luciano lebih mendekati nilai dari PDA test. Metode Mayerhoff memiliki nilai lebih optimis. Metode Luciano lebih mendekati nilai dari PDA test. Metode Mayerhoff memiliki nilai lebih optimis.	Tidak bisa dibandingkan dengan <i>loading test</i> karena data tidak mencukupi. Metode Vesic lebih optimis dari metode Tomlinson.
ARJE	Bored Pile	Static Loading Test	N/C*	Metode Luciano lebih mendekati nilai dari PDA test. Metode Mayerhoff memiliki nilai lebih optimis. Metode Luciano lebih mendekati nilai dari PDA test. Metode Mayerhoff memiliki nilai lebih optimis.	N/C*
SPET	Bored Pile	Static Loading Test	Metode Castello-TB lebih mendekati nilai <i>loading test</i> . Metode Castello-GB memiliki nilai lebih optimis.	Metode Luciano lebih mendekati nilai dari PDA test. Metode Mayerhoff memiliki nilai lebih optimis.	Tidak bisa dibandingkan dengan <i>loading test</i> karena data tidak mencukupi. Metode Vesic and Tomlinson memiliki nilai daya dukung yang sama.

4. Kesimpulan

Strong Foundation Application (SFA) V.1, merupakan hasil dari jurnal ini dapat digunakan sebagai sebuah alat untuk membantu dalam perhitungan pondasi. Perhitungan yang dilakukan pada SFA telah dibandingkan dengan hasil uji pembebanan dari lima proyek di Indonesia, yaitu Apartemen MRO, PYRC Mall, CPRW, ARJE dan SPET. Dari kelima proyek didapat bahwa daya dukung yang dihitung menggunakan data laboratorium metode Tomlinson lebih mendekati nilai uji tiang daripada metode Gamma; data SPT metode Luciano memberikan nilai yang lebih mendekati hasil uji pembebanan; metode Mayerhoff memberikan nilai yang lebih optimis; perhitungan dengan data sondir metode Vesic dan Tomlinson memberikan nilai daya dukung ujung yang sama; namun daya dukung selimut Vesic lebih besar dari Tomlinson.

SFA bisa sangat membantu dalam perencanaan pondasi, oleh karena itu SFA bisa dikembangkan untuk ke depannya dengan menambah metode-metode perhitungan yang belum ada. Banyak percobaan yang masih harus dilakukan sehingga dapat mendapatkan sebuah kesimpulan metode yang paling sesuai dengan kondisi tanah pada setiap proyek, karena pada dasarnya tanah memiliki karakteristik yang berbeda di setiap daerah. Oleh karena itu sebaiknya untuk mempertimbangkan data-data yang telah ada di setiap daerah.

Daftar Pustaka

- Ariyanto, Dwi D. dan Djoko Untung. 2013. Studi Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal Dengan Beberapa Metode Analisa. *Jurnal Teknik Pomits*, Volume 1 No. 2.
- Bowles, Joseph E. 1988. Analisis dan desain pondasi edisi keempat jilid 2. *Erlangga*, Jakarta.
- Das, Braja M. 2011. Principles of foundation engineering 7th edition. *Cengage learning*: USA.
- Poulos, H.G and Davis, E.H. 1980. Pile foundation analysis and design. *Rainbow bridge co.*: Canada.
- Rahardjo, Paulus P. 2005. Manual Pondasi Tiang. *Universitas katolik parahyangan*: Bandung.
- Sanjaya, Gigih. dkk. 2014. perbandingan kapasitas dukung aksial pondasi tiang tunggal dengan beberapa metode analisis. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Riau*.
- Tomlinson, M.J. 1994. Pile design and construction practice 4th edition. *E&FN spon*: London.
- Teng, Wayne C. 1962. Foundation design. *Prentice-Hall inc*: New Delhi.

