

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian dari Randyanto (2015) dengan judul analisis daya dukung tiang pancang dengan menggunakan metode statis dan calendering studi kasus : proyek Pembangunan Manado town square 3 yang menyatakan bahwa untuk mengetahui nilai daya dukung tiang sangat beragam, dengan menggunakan berbagai data parameter tanah. Coduto (1994) membagi 3 (tiga) untuk mendukung daya dukung pondasi tiang diantaranya yaitu metode statis (Menggunakan prinsip –prinsip mekanika tanah klasik), Dinamis dan *loading test* (uji beban skala penuh). Beberapa metode yang dibahas dalam perhitungan daya dukung tiang diantaranya dengan cara statik dan calendering, untuk metode statik menggunakan data triaxial, N-SPT dan Sondir. Rumus umum yang digunakan untuk mencari daya dukung dengan metode statik yaitu $Q_u = Q_b + Q_s$ dengan menjumlahkan tahanan ujung (Q_b) dan tahanan samping (Q_s). Pengujian calendering didasarkan atas perlawanan tanah terhadap tumbukan tiang. Pengujian ini ditujukan untuk penghentian pemukulan dikarenakan tiang sudah tidak mengalami perlawanan penetrasi sehingga perlu dilakukan uji calendering untuk mendapatkan daya dukung tiang. Hasil daya dukung antara cara statik akan dibandingkan dengan pengujian calendering. Hasil nilai daya dukung tiang dengan menggunakan data triaxial pada Metode Meyerhof sebesar 38,76 ton dan U.S Army Corps sebesar 56,27. Perubahan nilai daya dukung tiang akibat pengaruh pemancangan, untuk Metode Meyerhof sebesar 74,17 ton dan U.S. Army Corps sebesar 105,90 ton. Penggunaan data SPT dalam mencari nilai daya dukung tiang dibagi menjadi dua metode, untuk Metode Meyerhof daya dukung tiang sebesar 69,88 ton dan metode Briaud et al 124,99 ton. Hasil daya dukung tiang dengan menggunakan data sondir, untuk Metode Meyerhof sebesar 96,21 ton dan Metode Schmertmann & Nottingham sebesar 90,1320 ton. Daya dukung tertinggi ada pada uji *calendering* dengan Metode Hiley sebesar 272,83 ton. Penurunan tertinggi sebesar 0,4 inch

dan struktur dapat dikategorikan sebagai *Reinforced concrete structure*, *Brick walls high story*, *Machine operation* dengan batas penurunan maksimum antara 1-3 inch. Hasil dari setiap metode diambil daya dukung tiang terendah untuk mewakili setiap metode.

Penelitian Utama (2013) tentang analisis daya dukung pondasi tiang pancang pada proyek pembangunan switchyard di kawasan PLTU pangkalan susu, Sumatera Utara menyatakan bahwa Pondasi tiang merupakan salah satu jenis dari pondasi dalam yang berfungsi untuk menyalurkan beban struktur ke lapisan tanah keras yang mempunyai kapasitas daya dukung tinggi yang letaknya cukup dalam di dalam tanah. Untuk menghitung kapasitas tiang, terdapat banyak rumus yang dapat digunakan dan menghasilkan nilai kapasitas yang berbeda-beda. Tujuan penelitian ini untuk menghitung daya dukung tiang dari hasil Sondir, *Standart Penetration Test* (SPT), Kalendering dan *Loading Test*, serta membandingkan hasil daya dukung tiang dari beberapa metode penyelidikan yang terjadi pada tiang tunggal. Hasil perhitungan daya dukung pondasi terdapat perbedaan nilai baik dilihat dari penggunaan metode perhitungan Aoki dan De Alencar, serta metode Meyerhof. Dimana dari data sondir Aoki dan De Alencar $Q_u=115,640$ ton, dari data sondir metode Meyerhof $Q_u = 280,339$ ton, dari data SPT metode Meyerhof $Q_u = 198,287$ ton, dari data kalendering metode Danish Formula $Q_u = 123,337$ ton, dari data kalendering metode Modifield New ENR $Q_u=133,131$ ton, dari bacaan loading test metode Davisson $Q_u = 124,0$ ton dan dari data loading test metode Mazurkiewicz $Q_u= 216,0$ ton Dari hasil perhitungan daya dukung tiang, lebih aman memakai perhitungan dari hasil data loading test karena lebih aktual.

Yusti (2014) dalam analisis daya dukung pondasi tiang pancang diverifikasi dengan hasil uji PDA (*pile driving analyzer*) dan CAPWAP yang menyatakan Pondasi adalah struktur bagian bawah bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah, atau bagian bangunan yang terletak dibawah permukaan tanah yang mempunyai fungsi untuk memikul beban bagian bangunan lain diatasnya (Bowles, 1997). Pada pengaplikasian/pengerjaan dilapangan sering juga mengesampingkan analisis daya dukung pondasi dan penurunan pondasi yang

tepat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan membandingkan daya dukung pondasi tiang tunggal secara analitis dan numeris dengan pengujian dinamik tes di lapangan atau PDA (*pile driving analyzer*) dan CAPWAP. Secara analitis, perhitungan dilakukan dengan analisis manual menggunakan metode Bagemann, deRuiter dan Beringen, Mayerhof (1976), Mayerhof (1956), α , Tomlinson (1977) yang dilakukan dengan menghitung kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan data-data dari lapangan yang didapat dari pengujian CPT (sondir) dan SPT, sedangkan numeris yaitu menghitung dengan menggunakan metode elemen hingga menggunakan program Plaxis 2D V.8. Perhitungan dilakukan pada dua titik pengujian dilapangan yaitu titik S1, S2 untuk pengujian CPT sedangkan pengujian SPT yaitu titik BH1, BH2 yang akan diverifikasi dengan pengujian PDA dan CAPWAP pada Proyek Pembangunan Gedung Kantor Bank Sumsel Babel di Pangkalpinang. Dari hasil analisis secara manual dan program, dapat disimpulkan bahwa metode Mayerhof (1956) memiliki nilai rentang paling kecil dibandingkan dengan metode-metode lainnya yang diverifikasi dengan pengujian PDA dan CAPWAP. Nilai Q_u sebesar 128,298 ton berbanding 118 ton, dan 102 ton pada titik BH1. Sedangkan pada titik BH2 Q_u sebesar 118,679 ton berbanding 165 ton, dan 163 ton.

Penelitian Gunawan (2014) tentang rasio hubungan nilai daya dukung tiang pancang berdasarkan pengujian sondir, kalendering dan test PDA pada Jembatan Pelawa Kabupaten Parigi Moutong yang menyatakan bahwa Daya dukung pondasi tiang pancang dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain, besar beban yang dipikul dan karakteristik tanah yang tidak homogen. Untuk menentukan daya dukung pondasi tiang pancang tunggal digunakan metode statis yang didasarkan pada data sondir dan metode dinamis melalui uji kalendering dan uji PDA. Pondasi tiang pancang yang digunakan dalam penelitian ini berlokasi di Kabupaten Parigi-Moutong tepatnya pada Jembatan Pelawa. Studi literatur dan data sekunder seperti data alat pancang, tiang pancang, sondir, kalendering, dan tes PDA digunakan untuk menganalisis daya dukung tiang. Metode Mayerhof, Aoki de Alencar, LCPC, Price dan Waldre, dan Schmertmann digunakan untuk menentukan kapasitas daya dukung tiang berdasarkan data sondir. Data

kalendering digunakan untuk menghitung kapasitas tiang dengan rumus Hiley, Olsen dan Flaate, Engineering News Record (ENR), Janbu Mansur dan Hunter, serta AASHTO. Hasil analisis memperlihatkan daya dukung batas dari yang terendah dan tertinggi untuk metode statis (data sondir) adalah 114,096 ton (Aoki De Alencar) dan 305,479 ton (Schmertmann). Untuk metode kalendering (dinamis) nilai terendah 284,22 ton diperoleh dari rumus yang diberikan oleh Hiley dan nilai tertinggi 1450,26 ton diperoleh dari persamaan yang diberikan oleh Janbu. Data uji PDA memberikan nilai daya dukung sebesar 171,2 ton – 174,5 ton. Nilai rasio antara uji sondir dan uji PDA yang paling dekat dengan nilai 1 adalah metode Meyerhof dengan nilai rasio 0.938 sedangkan untuk uji kalendering yang terdekat dengan nilai 1 adalah rasio daya dukung antara metode Hiley dan uji PDA yaitu sebesar 1,660.

Wardani (2016) dengan analisis kapasitas daya dukung tiang pancang berdasarkan metode statis, metode dinamis dan kekuatan bahan berdasarkan data N-SPT (studi kasus pembangunan Hotel Ayola Surabaya). Setiap proyek konstruksi yang terpenting adalah faktor keamanan, dimana terjamin mutu strukturnya dan perencanaan pondasi. Pondasi yang digunakan untuk pembangunan Hotel Ayola Surabaya 10 lantai adalah pondasi dalam yaitu tiang pancang berdiameter 40 cm dengan kedalaman 20 m berdasarkan data Standard Penetration Test (SPT). Dari data SPT menunjukkan bahwa jenis tanah dominan adalah lempung dan sedikit variasi pasir. Perencanaan pondasi perlu dilakukan analisis daya dukung baik metode statis dan dinamis, selain itu diperlukan analisa kekuatan bahan pada tiang. Metode statis membandingkan antara metode Meyerhof dan Luciano Decourt, sedangkan metode dinamis menggunakan metode Hiley dan metode Modified ENR. Beban rencana diambil dari nilai beban maksimum hasil program bantu SAP sebesar 92 ton. Perhitungan daya dukung statis dipilih Metode Luciano Decourt dengan kapasitas daya dukung sebesar 134,71 ton, daya dukung metode dinamis dipilih metode ENR sebesar 97,068 ton. Dari analisis kekuatan bahan diperoleh kekuatan sebesar 103,62 ton yang dibandingkan terhadap daya dukung statis, dimana dari hasil tersebut mencapai kekuatan 77% daya dukung statis. Dari hasil perhitungan dan analisis diperoleh

bahwa metode dinamis dan metode statis beban rencana. Sehingga pada perencanaan pondasi tersebut perlu penambahan mutu tiang pancang, agar tiang pancang dapat bekerja secara maksimal.

2.2 Definisi Pondasi

Setiap pembangunan suatu struktur bangunan seperti gedung, jembatan, jalan raya, menara, dermaga, pelabuhan, dam/tanggul dan sebagainya harus mempunyai pondasi yang dapat mendukung beban-beban yang ditanggung struktur. Istilah pondasi juga digunakan dalam teknik sipil untuk mendefinisikan suatu konstruksi bangunan yang berfungsi sebagai penopang bangunan dan meneruskan beban bangunan di atasnya (*upper structure*) ke lapisan tanah yang cukup kuat daya dukungnya. Untuk itu, pondasi bangunan harus diperhitungkan agar dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban-beban yang berkerja, gaya-gaya luar seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain-lain. Di samping itu, tidak boleh terjadi penurunan melebihi batas yang di iijinkan.

Pembangunan pondasi pada lapisan tanah lunak (*soft clay*) maupun yang sangat lunak (*very soft clay*) dengan lapisan tanah kuat yang sangat dalam, maka harus menggunakan tiang pancang. Pondasi tiang pancang juga digunakan untuk mendukung bangunan yang menahan gaya angkat ke atas, terutama pada bangunan-bangunan tingkat tinggi yang dipengaruhi oleh gaya-gaya penggulingan akibat beban angin. Selain itu, tiang pancang juga digunakan untuk mendukung bangunan dermaga, dimana pada bangunan ini, tiang-tiang dipengaruhi oleh gaya-gaya benturan kapal dan gelombang air (Hardiyatmo, 2010).

Pondasi tiang pancang dibagi menjadi 3 katagori, sebagai berikut :

1. Tiang perpindahan besar (*large displacement pile*), yaitu tiang pejal atau berlubang dengan ujung tertutup yang dipancang ke dalam tanah sehingga terjadi perpindahan volume tanah yang relatif besar. Termasuk dalam tiang perpindahan besar adalah tiang kayu, tiang beton pejal, tiang beton prategang (pejal atau berlubang), tiang baja bulat (tertutup pada ujungnya).
2. Tiang perpindahan kecil (*small displacement pile*) adalah sama seperti tiang katagori pertama, hanya volume tanah yang dipindahkan saat

pemancangan relatif kecil, contohnya : tiang beton berlubang dengan ujung terbuka, tiang beton prategang berlubang dengan ujung terbuka, tiang baja H, tiang baja bulat ujung terbuka , dan tiang ulir.

3. Tiang tanpa perpindahan (*non displacement pile*) terdiri dari tiang yang terpasang di dalam tanah dengan cara menggali atau mengebor tanah. Termasuk dalam tiang tanpa perpindahan adalah tiang bor, yaitu tiang beton yang pengecorannya langsung di dalam lubang hasil pengecoran tanah (pipa baja diletakkan dalam lubang dan dicor beton).

2.3 Klasifikasi Pondasi

Pondasi adalah bagian paling bawah dari suatu bangunan yang meneruskan beban bangunan bagian atas kelapisan tanah atau batuan yang berada dibawahnya. Klasifikasi pondasi dibagi 2 macam, yaitu :

2.3.1 Pondasi Dangkal

Pondasi dangkal adalah pondasi yang mendukung beban secara langsung di atas lapisan tanah seperti :

2.3.1.1 Pondasi setempat

Biasanya digunakan pada tanah yang mempunyai nilai daya dukung berbeda-beda di satu tempat pada suatu lokasi yang akan dibangun.

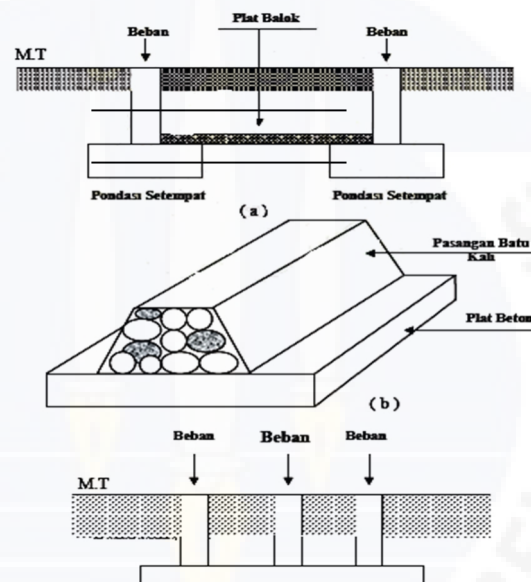
2.3.1.2 Pondasi menerus

Digunakan pada tanah yang mempunyai nilai daya dukung seragam pada satu lokasi pekerjaan yang akan dibangun. Pemakaian pondasi sangat ekonomis dari segi pelaksanaannya, dan dapat dipakai pasangan batu kali untuk pasangan pondasi bentuk trapesiumnya dan plat beton untuk dasar pondasi tersebut. Kemampuan pondasi ini dalam mentransfer beban kebawah pondasi (tanah) dianggap bisa merata akibat kemampuan daya dukung tanah yang homogen dalam merendam beban yang dipikul oleh pondasi.

2.3.1.2 Pondasi tika

Jenis pondasi ini umumnya berlaku untuk tanah yang mempunyai nilai daya dukung tanah yang sangat kecil, dimana jenis tanah tersebut termasuk jenis tanah lunak menurut USCS (*Unified Soil Classification System*). Nilai daya

dukung tanah yang sangat kecil, mengakibatkan kemampuan tanah dalam memberi daya dukung sangat kecil. Untuk mendapatkan nilai daya dukung yang maksimum, biasanya digunakan pondasi seperti ini dengan mengandalkan luasan plat untuk memberikan daya dukung yang maksimum dan dikombinasikan dengan pondasi tiang ke atas, sehingga nilai friksi tambahan dapat diharapkan sepanjang tiang untuk menambah nilai *friction file* antara tiang dan tanah juga nilai daya dukung ujung (*end-bearing file*) dari luasan pondasi. Mengingat konstruksi tersebut dinilai tidak ekonomis dari segi pelaksanaannya untuk gedung sederhana, maka konstruksi tersebut banyak dipakai pada gedung bertingkat.



Sumber : Bowles, 1991

Gambar 2.1 Macam-macam pondasi dangkal (a). Pondasi setempat, (b). Pondasi dangkal dan (c). Pondasi tiakar

2.3.2 Pondasi Dalam

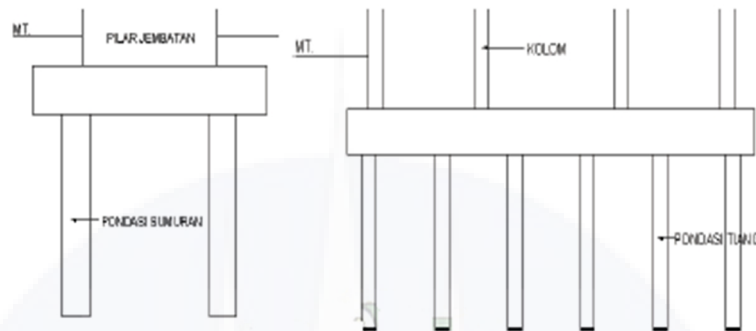
Pondasi dalam adalah pondasi yang meneruskan beban bangunan ke lapisan tanah keras atau batu yang terletak jauh dari permukaan, seperti :

2.3.2.1 Pondasi sumuran (*pier foundation*)

Pondasi sumuran, yaitu pondasi yang merupakan peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi tiang, digunakan bila tanah dasar yang sangat kuat terletak pada kedalaman yang relatif dalam, dimana pondasi sumuran nilai kedalaman (D_f) dibagi lebarnya (B) lebih besar dari 4 sedangkan pondasi dangkal $D_f/B \leq 1$.

2.3.2.1 Pondasi tiang (*pile foundation*)

Pondasi tiang digunakan bila tanah pondasi tidak mampu mendukung bebannya dan tanah kerasnya terletak pada kedalaman yang sangat dalam. Pondasi tiang umumnya berdiameter lebih kecil dan lebih panjang dibandingkan dengan pondasi sumuran (Bowles, 1991).



Sumber : Bowles, 1991

Gambar 2.2 Macam-macam pondasi dalam

2.4 Pondasi Tiang Pancang

2.4.1 Sejarah Penemuan Pondasi Tiang Pancang

Pada tahun 1740, Christoffer Polhem menemukan peralatan *pile driving* yang mana mempunyai mekanisme *pile driving* saat ini. Tiang baja (*steel pile*) sudah digunakan selama 1800 dan tiang beton (*concrete pile*) sejak 1900. Revolusi industri membawa perubahan yang penting pada sistem *pile driving* melalui penemuan mesin uap dan mesin diesel.

Lebih lagi baru-baru ini, meningkatnya permintaan akan rumah dan konstruksi gedung memaksa para pengembang memanfaatkan tanah-tanah yang mempunyai karakteristik yang kurang bagus. Hal ini membuat pengembangan dan peningkatan sistem *pile driving*. Saat ini banyak teknik-teknik instalansi tiang pancang bermunculan. Dan dari tahun ke tahun, penggunaan tiang pancang semakin meningkat sehingga perkembangan teknologi tiang pancang semakin meningkat.

2.4.2 Definisi Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang adalah bagian-bagian konstruksi yang dibuat dari kayu, beton dan atau baja, yang digunakan untuk meneruskan (mentransmisikan) beban-beban

permukaan ke tingkat-tingkat permukaan yang lebih rendah di dalam masa tanah (Bowles, 1991). Pondasi tiang pancang juga merupakan suatu konstruksi pondasi yang mampu menahan gaya vertikal ke sumbu tiang dengan cara menyerap lenturan. Pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang yang terdapat di bawah konstruksi dengan tumpuan pondasi. Pondasi tiang digunakan untuk mendukung bangunan bila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam.

2.4.3 Kegunaan Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang digunakan untuk beberapa maksud yang digunakan pada pembangunan, antara lain :

1. Untuk meneruskan beban bangunan yang terletak di atas air atau tanah lunak ke tanah pendukung yang kuat.
2. Untuk meneruskan beban ke tanah yang relatif lunak sampai kedalaman tertentu sehingga pondasi bangunan mampu memberi dukungan yang cukup untuk mendukung beban tersebut oleh gesekan sisi tiang dengan tanah disekitarnya.
3. Untuk menguatkan bangunan yang dipengaruhi oleh gaya angkat ke atas akibat hidrostatis atau momen penggulingan.
4. Untuk menahan gaya-gaya horizontal dan gaya yang arahnya miring.
5. Untuk mendukung pondasi bangunan yang permukaan tanah mudah tergerus air.
6. Untuk memadatkan tanah pasir, sehingga kapasitas dukung tanah terus bertambah.

2.4.4 Kriteria Pondasi Tiang Pancang

Dalam perencanaan pondasi suatu konstruksi dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi. Pemilihan tipe pondasi yang digunakan berdasarkan atas beberapa hal, yaitu fungsi bangunan atas yang dipikul oleh pondasi tersebut dan sangat tergantung pada kondisi lapangan untuk suatu pondasi bangunannya.

Fungsi bangunan atas yang akan dipikul oleh pondasi tersebut ialah :

1. Besarnya beban dan beratnya bangunan atas;
2. Kondisi tanah tempat bangunan didirikan;

3. Biaya pondasi dibandingkan dengan bangunan atas.

Kriteria pemakaian tiang pancang dipergunakan untuk suatu pondasi bangunan sangat tergantung pada kondisi :

1. Tanah dasar dibawah bangunan tidak mempunyai daya dukung (misalnya pembangunan lepas pantai);
2. Tanah dasar dibawah bangunan tidak mampu memikul bangunan yang ada diatasnya atau tanah keras yang mampu memikul beban tersebut jauh dari permukaan tanah;
3. Pembangunan diatas tanah yang tidak rata;
4. Memenuhi kebutuhan untuk menahan gaya desak keatas (*uplift*)

2.4.5 Pembagian Pondasi Tiang Pancang

Pada perencanaan pondasi, pemilihan jenis pondasi tiang pancang untuk berbagai jenis keadaan tergantung pada banyak variabel. Faktor - faktor yang perlu dipertimbangkan di dalam pemilihan tiang pancang antara lain type dari tanah dasar yang meliputi jenis tanah dasar dan ciri - ciri topografinya, alasan teknis pada waktu pelaksanaan pemancangan dan jenis bangunan yang akan dibangun. Pondasi tiang dapat digolongkan berdasarkan material yang digunakan dan berdasarkan cara penyaluran beban yang diterima tiang ke dalam tanah. Berdasarkan material yang digunakan pondasi tiang pancang dibagi berdasarkan :

1. Tiang Pancang Kayu

Pemakaian tiang pancang kayu adalah cara tertua dalam penggunaan tiang pancang sebagai pondasi. Tiang pancang kayu dibuat dari batang pohon dan biasanya diberi bahan pengawet. Pada pemakaian tiang pancang kayu tidak diizinkan untuk menahan beban lebih tinggi dari 25 sampai 30 ton untuk setiap tiang. Tiang kayu akan tahan lama apabila tiang kayu tersebut dalam keadaan selalu terendam penuh di bawah muka air tanah dan akan lebih cepat busuk jika dalam keadaan kering dan basah yang berganti. Tiang pancang kayu tidak tahan terhadap benda-benda agresif dan jamur yang bisa menyebabkan pembusukan.

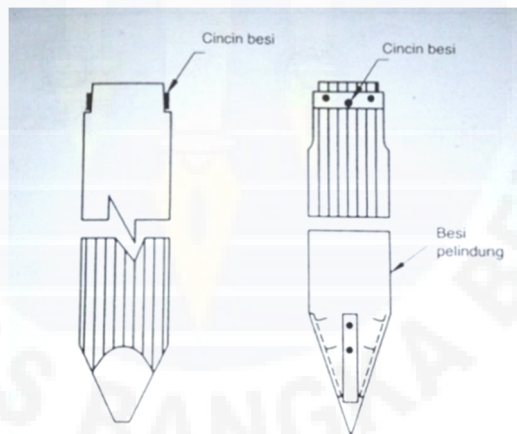
Keuntungan pemakaian tiang pancang kayu :

- a. Tiang pancang kayu relatif ringan sehingga mudah dalam pengerjaan dan pengakutannya,

- b. Kekuatan tariknya besar sehingga pada waktu diangkat saat pemancangan tidak menimbulkan kesulitan seperti pada tiang beton *precast*,
- c. Mudah untuk pemotongannya apabila tiang kayu sudah tidak dapat masuk lagi ke dalam tanah,
- d. Tiang pancang kayu lebih sesuai untuk *friction pile* dan pada *end bearing pile* karena tekanannya relatif kecil.

Kerugian pemakaian tiang pancang kayu :

- a. Karena tiang pancang kayu harus selalu terletak di bawah muka air tanah yang terendah agar dapat tahan lama, maka jika letak air tanah terendah tersebut sangat dalam, hal ini akan menambah biaya untuk penggalian;
- b. Tiang pancang kayu mempunyai umur relatif kecil dibandingkan dengan tiang pancang baja atau beton, terutama pada daerah yang tinggi air tanahnya sering naik turun;
- c. Pada waktu pemancangan pada tanah yang berbatu ujung tiang pancang kayu ini bisa rusak atau remuk;



Sumber : Hardiyatmo, 2010

Gambar 2.3 Pondasi kayu

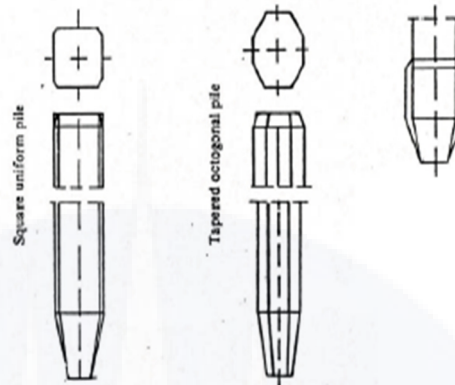
2. Tiang Pancang Beton

Tiang pancang beton terbuat dari bahan beton bertulang yang terdiri dari beberapa jenis, yaitu :

a. *Precast Reinforced Concrete Pile*

Precast reinforced concrete pile adalah tiang pancang dari beton bertulang yang dicetak dan dicor dalam acuan beton (*bekisting*), kemudian setelah cukup

kuat atau keras lalu diangkat dan dipancangkan. Tiang pancang beton ini dapat memikul beban lebih besar dari 50 ton untuk setiap tiang, tetapi tergantung pada demensinya. Penampang *precast reinforced concrete pile* dapat berupa lingkaran, segi empat dan segi delapan.



Sumber : Sardjono, 1988

Gambar 2.4 Tiang pancang beton *precast reinforced concrete pile*

Keuntungan pemakaian *precast reinforced concrete pile*, yaitu :

- 1) *Precast reinforced concrete pile* mempunyai tegangan tekan yang besar tergantung pada mutu beton yang digunakan;
- 2) Dapat diperhitungkan baik sebagai *end bearing pile* atau *friction pile*;
- 3) Tahan lama dan tahan terhadap pengaruh air ataupun bahan-bahan korosif asal beton dekingnya cukup tebal untuk melindungi tulangnya;
- 4) Karena tidak berpengaruh oleh muka air tanah maka tidak memerlukan galian tanah yang banyak untuk poernya.

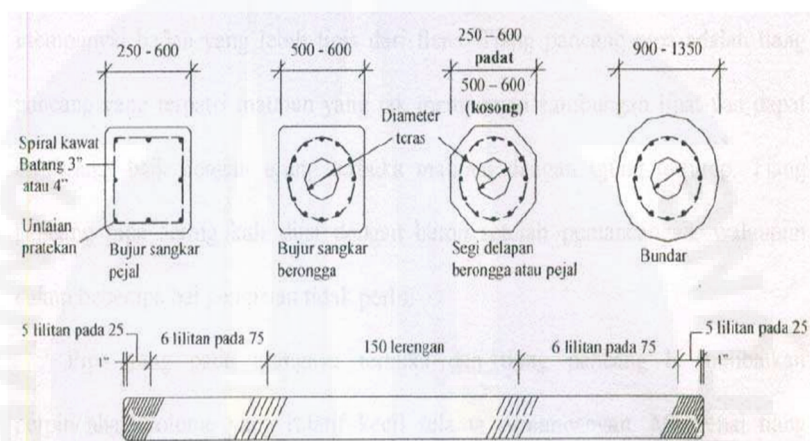
Kerugian pemakaian *precast reinforced concrete pile*, yaitu :

- 1) Karena berat sendirinya besar maka biaya pengangkutannya akan mahal, oleh karena itu *precast reinforced concrete pile* dibuat di tempat pekerjaannya;
- 2) Tiang pancang beton ini baru dipancang apabila sudah cukup keras hal ini berarti memerlukan waktu yang lama untuk menunggu sampai tiang pancang beton ini bisa digunakan;
- 3) Bila memerlukan pemotongan, maka pelaksanaannya akan lebih sulit dan membutuhkan waktu yang lebih lama juga;

- 4) Bila panjang tiang kurang dan karena panjang tiang tergantung pada alat pancang (*pile driving*) yang tersedia, maka akan sukar untuk melakukan penyambungan dan memerlukan alat penyambung khusus;
- 5) Apabila dipancang di sungai atau laut tiang akan bekerja sebagai kolom terhadap beban vertikal dan dalam hal ini akan ada tekuk sedangkan terhadap beban horizontal akan bekerja sebagai cantilever.

b. *Precast prestressed concrete pile*

Precast prestressed concrete pile adalah tiang pancang dari beton prategang yang menggunakan baja dan kabel kawat sebagai gaya prategangnya.



Sumber : Bowles, 1991

Gambar 2.5 Tiang pancang *Precast prestressed concrete pile* (Bowles, 1991)

Keuntungan pemakaian *precast prestressed concrete pile*, yaitu :

- 1) Kapasitas beban pondasi yang dipikulnya tinggi;
- 2) Tiang pancang tahan terhadap karat;
- 3) Kemungkinan terjadinya pemancangan keras dapat terjadi.

Kerugian pemakaian *precast prestressed concrete pile*, yaitu :

- 1) Sukar ditangani;
- 2) Biaya pembuatannya mahal;
- 3) Pergeseran cukup banyak sehingga prategangnya sukar disambung.

c. *Cast in place*

Tiang pancang *cast in place* ini adalah pondasi yang dicetak di tempat pekerjaan dengan terlebih dahulu membuat lubang dalam tanah dengan cara mengebor.

Pelaksanaan *cast in place* ini dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu :

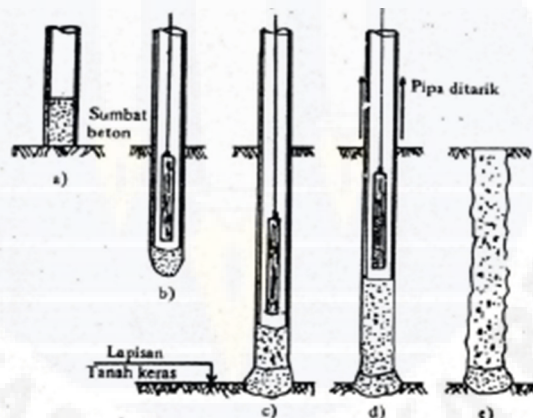
- 1) Dengan pipa baja yang dipancangkan ke dalam tanah, kemudian diisi dengan beton dan ditumpukkan sambil pipa baja ditarik ke atas;
- 2) Dengan pipa baja yang dipancangkan ke dalam tanah kemudian diisi dengan beton, sedangkan pipa baja tersebut tetap tinggal dalam tanah.

Keuntungan pemakaian *cast in place*, yaitu :

- 1) Pembuatan tiang tidak menghambat pekerjaan;
- 2) Tiang tidak perlu diangkat, jadi tidak ada resiko kerusakan dalam pengangkutan;
- 3) Panjang tiang dapat disesuaikan dengan keadaan lapangan.

Kerugian pemakaian *cast in place*, yaitu :

- 1) Kebanyakan dilindungi oleh hak patent;
- 2) Pelaksanaan memerlukan peralatan khusus;
- 3) Beton dan tiang yang dikerjakan secara *cast in place* tidak dapat dikontrol.



Sumber : Sardjono, 1988

Gambar 2.6 Tiang pancang *cast in place*

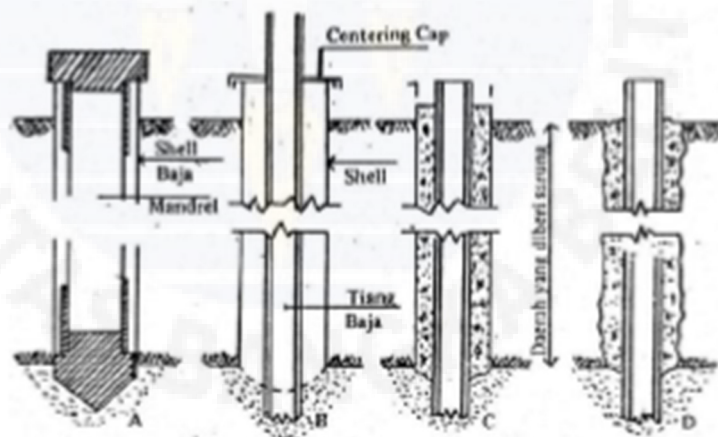
Tiang franki adalah termasuk salah satu jenis dari *cast in place*. Adapun prinsip kerjanya adalah sebagai berikut :

- 1) Pipa baja yang ujung bawahnya disumbat dengan beton yang dicor di dalam pipa ujung dan telah mengeras;
- 2) Dengan *drop hammer* sumbat beton tersebut ditumpuk agar tersumbat beton dan pipa masuk ke dalam tanah;
- 3) Setelah pipa mencapai kedalaman yang telah direncanakan, pipa terus diisi dengan beton sambil terus ditumbuk dan pipanya ditarik ke atas.

3. Tiang Pancang Baja

Jenis tiang pancang baja ini biasanya berbentuk profil H. Karena terbuat dari baja maka kekuatan dari tiang ini adalah sangat besar sehingga dalam transport dan pemancangan tidak menimbulkan bahaya patah seperti pada tiang pancang beton *precast*. Jadi pemakaian tiang pancang ini sangat bermanfaat jika dibutuhkan tiang pancang yang panjang dan dengan tahanan ujung yang besar. Tingkat karat pada tiang pancang baja sangat berbeda-beda terhadap *texture* (susunan butir) dari komposisi tanah, panjang tiang yang berbeda dalam tanah dan keadaan kelembaban tanah (*moisture content*).

Pada tanah dengan susunan butiran yang kasar, karat yang terjadi hampir mendekati keadaan karat yang terjadi pada udara terbuka karena adanya sirkulasi air dalam tanah. Pada tanah liat (*clay*) yang kurang mengandung oksigen akan menghasilkan karat yang mendekati keadaan seperti karat yang terjadi karena terendam air. Pada lapisan pasir yang dalam letaknya dan terletak di bawah lapisan tanah yang padat akan sedikit sekali mengandung oksigen, maka lapisan pasir tersebut akan menghasilkan karat yang kecil sekali pada tiang pancang baja.



Sumber : sardjono, 1988

Gambar 2.7 Tiang Pancang Baja

Keuntungan pemakaian tiang pancang baja :

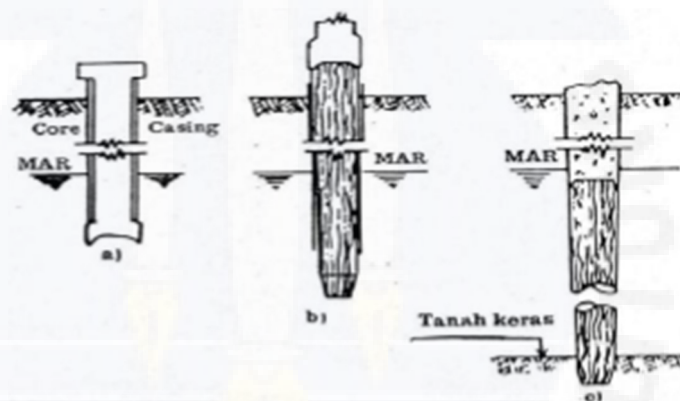
- Tiang pancang ini mudah dalam hal penyambungan;
- Tiang pancang baja mempunyai kapasitas daya dukung yang tinggi;
- Dalam pengangkutan dan pemancangan tidak menimbulkan bahaya patah.

Kerugian pemakaian tiang pancang baja :

- a. Tiang pancang ini mudah mengalami korosi;
- b. Tiang pancang baja H dapat mengalami kerusakan besar menembus tanah keras dan yang mengandung batuan, sehingga diperlukan penguatan ujung.

4. Tiang Pancang Komposit

Yang dimaksud dengan *composite pile* ini adalah tiang pancang yang terdiri dari 2 bahan yang berbeda yang bekerja bersama-sama sehingga merupakan satu tiang. Kadang-kadang pondasi tiang pancang komposit dibentuk dengan menghubungkan bagian atas dan bagian bawah tiang dengan bahan yang berbeda, misalnya dengan bahan beton diatas muka air tanah dan bahan kayu tanpa perlakuan apapun dibawahnya



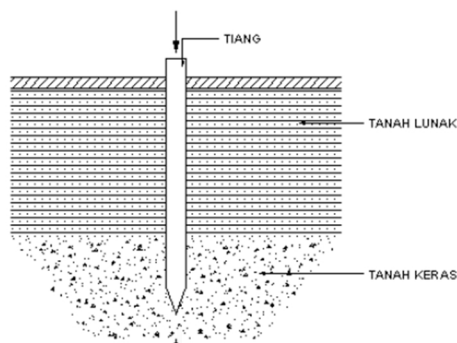
Sumber : Sardjono, 1988

Gambar 2.8 Tiang pancang komposit

2.5 Tiang Dukung Ujung dan Tiang Dukung Gesek

Ditinjau dari cara mendukung beban, tiang pancang dibagi menjadi 2 macam (Hardiyatmo, 2010), yaitu :

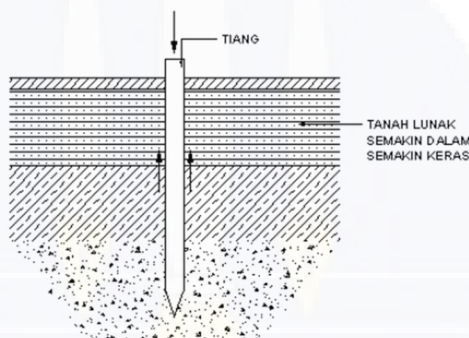
1. Tiang dukung ujung (*end bearing pile*) adalah tiang pancang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Umumnya tiang dukung ujung berbeda dalam zone tanah yang lunak yang berada diatas tanah keras. Tiang-tiang dipancang sampai mencapai batuan bagian dasar atau lapisan keras lain yang dapat mendukung beban yang diperkirakan tidak mengakibatkan penurunan berlebihan. Kapasitas tiang yang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada dibawah ujung tiang.



Sumber : Hardiyatmo, 2010

Gambar 2.9 Tiang dukung ujung (Tomlinson, 1977)

2. Tiang dukung gesek (*friction pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan lapisan tanah disekitarnya. Tahanan gesek dan pengaruh konsolidasi lapisan tanah dibawahnya diperhitungkan pada hitungan kapasitas tiang.



Sumber : Hardiyatmo, 2010

Gambar 2.10 Tiang dukung gesek (Tomlinson, 1977)

2.6 Kapasitas Daya Dukung Ultimate Cara Statis dan Cara Dinamis

Kapasitas daya dukung ultimate cara statis dihitung dengan menggunakan teori-teori mekanika tanah, yaitu dengan mempelajari sifat-sifat teknis tanah, sedangkan kapasitas daya dukung dinamis dihitung berdasarkan data lapangan, yaitu uji skala pembebanan seperti data *calendering* dan PDA (*pile driving analyzer*) yang diperoleh saat pemancangan. Hasil hitungan kapasitas dukung tiang yang didasarkan pada teori mekanika tanah, kadang-kadang masih perlu dicek dengan mengadakan pengujian tiang untuk menyakinkan hasilnya.

2.7 Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Dari Hasil Data N-SPT

Kapasitas dukung tiang adalah kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung beban. Jika dalam kapasitas dukung pondasi dangkal satuannya adalah satuan tekanan (kPa) maka dalam kapasitas dukung tiang pancang satuannya adalah satuan gaya (kN). Kapasitas dukung ultimit tiang (Q_u), dihitung dengan persamaan umum, yaitu :

$$Q_u = Q_b + Q_s \dots \dots \dots (2.1)$$

$$Q_b = A_b \cdot f_b \dots \dots \dots (2.2)$$

$$Q_s = A_s \cdot f_s \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan,

Q_u = Kapasitas daya dukung ultimit tiang (kN)

Q_b = Tahanan ujung tiang (kN)

Q_s = Tahanan gesek tiang (kN)

A_b = Luas ujung bawah tiang (m^2)

A_s = Luas selimut tiang (m^2)

Kapasitas daya dukung ultimate tiang pancang menggunakan data N-SPT dapat dihitung dengan beberapa metode antara lain sebagai berikut ini :

2.7.1 Metode Mayerhof (1976)

Kapasitas daya dukung ultimate dihitung secara empiris dari nilai N hasil uji SPT. Metode Mayerhof (1976) mengusulkan persamaan untuk menghitung tahanan ujung tiang (Hardiyatmo, 2010) :

$$Q_b = A_b (38\bar{N})(L_b / d) \leq 380\bar{N}(A_b) \dots \dots \dots (2.4)$$

Dengan,

\bar{N} = Nilai N rata-rata yang dihitung dari 8d di atas dasar tiang sampai 4d dibawah dasar tiang,

L/d = Rasio kedalaman yang nilainya dapat kurang dari L/d bila tanahnya berlapis-lapis dan

A_b = Luas ujung bawah tiang.

Untuk tahanan ujung tiang dengan memperhatikan faktor kedalaman, Mayerhof (1976) menyarankan :

- a) Untuk tiang dalam pasir dan krikil :

$$f_b = 0,4N_{60}'(L/d)\sigma_r \leq 4N_{60}'\sigma_r \dots\dots\dots(2.5)$$

- b) Untuk tiang dalam lanau tidak plastis :

$$f_b = 0,4N_{60}'(L/d)\sigma_r \leq 3N_{60}'\sigma_r \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan,

f_b = Tahanan ujung satuan tiang (kN/m²)

σ_r = Tegangan referensi = 100 kN/m²

L = Kedalaman penetrasi tiang

d = Diameter tiang (m)

N_{60}' = N-SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh prosedur lapangan dan tekanan *overburden*.

Nilai maksimum dari persamaan 2.6 diberikan , bila $\geq 7,5$.

Dalam menghitung tahanan gesek satuan (f_s), Metode Mayerhof 1976 menyarankan persamaan (Hardiyatmo, 2010) :

- a) untuk tiang perpindahan besar (tiang pancang) pada tanah tidak kohesif (pasir) digunakan persamaan :

$$f_s = \frac{1}{50}\sigma_r N_{60} \dots\dots\dots(2.7)$$

- b) untuk tiang perpindahan kecil (bor) pada tanah tidak kohesif (pasir) digunakan persamaan :

$$f_s = \frac{1}{100}\sigma_r N_{60} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan,

N_{60} = N-SPT yang koreksi terhadap pengaruh prosedur lapangan saja.

σ_r = Tegangan referensi = 100 kN/m²

f_s = Tahanan gesek satuan tiang (kN/m²)

2.7.2 Metode Briaud et al (1985)

Briaud et al (1985) menyarankan sebuah persamaan tahanan ujung satuan sebagai berikut ini (Hardiyatmo, 2010) :

$$fb = 19,7 \cdot \sigma_r \cdot (N_{60}')^{0,36} \Rightarrow (kN/m^2) \dots\dots\dots(2.9)$$

Dan tahanan gesek satuan digunakan persamaan sebagai berikut ini :

$$fs = 0,224 \sigma_r \cdot (N_{60}')^{0,29} \Rightarrow (kN/m^2) \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan,

σ_r = Tegangan referensi = 100 kN/m²

N_{60}' = *N-SPT* yang dikoreksi terhadap pengaruh prosedur lapangan dan tekanan *overburden*

Untuk menghitung daya dukung ultimit persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut ini :

$$Qu = Ab \cdot fb + As \cdot fs \dots\dots\dots(2.11)$$

Dengan,

Qu = Daya dukung ultimit

Ab = Luas ujung tiang

As = Luas selimut tiang

2.7.3 Metode Luciano Decourt (1987)

Perumusan ini adalah penyempurnaan dari perumusan sebelumnya yaitu Meyerhof, dimana perumusan Luciano Decourt mempunyai nilai yang lebih akurat. Pada perumusan Luciano Decourt dibutuhkan suatu nilai *k* yang dimaksud sebagai nilai koefisien yang tergantung dari jenis tanah yang akan dipakai, nilai *k* tersebut dapat dilihat pada tabel 2.1 (dalam jurnal Wardani, 2016).

$$Qu = (Ap \times Np \times k) + (As \times (Ns/3 + 1)) \dots\dots\dots(2.12)$$

Harga *N* di lapangan yang berada di bawah muka air harus dikoreksi dahulu untuk menjadi *N* design (*N1*) dengan persamaan Terzaghi dan Peck :

$$N1 = 15 + 0,5 (N-15) \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan,

Q = Daya dukung ultimate tiang (ton)

- A_p = Luas penampangan ujung tiang (m^2)
 N_p = Rata-rata dari harga SPT mulai 4D di bawah ujung tiang sampai 4D di atas tiang
 K = Koefisien yang tergantung dari jenis tanah
 A_s = Luas selimut tiang (m^2)
 N_s = Harga SPT rata-rata pada lapisan tanah sepanjang tiang yang ditinjau

Tabel 2.1 Nilai koefisien tergantung dari jenis tanah (Decourt. L, 1987)

Nilai k	
Jenis Tanah	K (t/m^2)
Lempung	12
Lanau Lempung	20
Lanau Berpasir	25
Pasir	40

Sumber : jurnal Wardani, 2016

2.7.4 Metode Mayerhof (1956)

Metode Mayerhof (1956) mengusulkan persamaan untuk daya dukung ultimit tiang sebagai berikut ini (Bowles, 2010) :

$$Q_u = 40.N_b.A_p + 0,2.\bar{N}.A_s \dots\dots\dots(2.14)$$

Dengan,

- Q_u = Kapasitas daya dukung ultimit tiang (ton)
 N_b = Harga N-SPT pada eleviasi dasar tiang (ton)
 A_p = Luas penampang dasar tiang (m^2)
 A_s = Luat selimut tiang (m^2)
 \bar{N} = Harga N-SPT rata-rata.

2.7.5 Metode Shio & Fukui (1982)

Untuk menghitung tahanan ujung tiang pancang, semua jenis tanah dapat digunakan persamaan sebagai berikut ini (dalam jurnal Adriani, 2013) :

$$f_b = 0,3.p_a.N_{60} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dengan,

- f_b = Unit tahanan ujung (kN/m^2).

p_a = Tekanan atmosfer (1000 kN/m² atau 2000 psf).

N_{60} = Nilai SPT rata-rata pada 4D dibawah dan 10D diatas ujung tiang.

Dan untuk menghitung tahanan selimut tiang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut ini :

$$f_s = 2 \cdot N_{55} \text{ (kPa)} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dengan,

f_s = Unit tahanan selimut (kN/m²).

N_{55} = Harga N-SPT rata-rata tahanan selimut.

2.8 Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data Sondir

Diantara perbedaaan test dilapangan, sondir atau *cone penetration test* (CPT) seringkali sangat dipertimbangkan berperan dari geoteknik. CPT atau sondir ini tes yang sangat cepat, sederhana, ekonomis dan test tersebut dapat dipercaya dilapangan dengan pengukur terus-menerus dari permukaan tanah-tanah dasar. CPT atau sondir ini dapat juga mengklarifikasi lapisan tanah dan dapat memperkirakan kekuatan dan karakteristik dari tanah. Didalam perencanaan pondasi tiang pancang (*pile*), data tanah sangat diperluakan dalam merencanakan kapasitas daya dukung (*bearing capacity*) dari tiang pancang sebelum pembangunan dimulai, guna menentukan kapasitas daya dukung ultimit dari tiang pancang. Kapasitas daya dukung ultimit di tentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_u = Q_b + Q_s = q_b \cdot A_b + f \cdot A_s \dots\dots\dots(2.17)$$

Dengan,

Q_u = kapasitas daya dukung aksial ultimit tiang pancang,

Q_b = kapasitas tahanan di ujung tiang,

Q_s = kapsitas tahanan kulit,

q_b = kapasitas daya dukung di ujung tiang persatuan luas,

A_b = luas di ujung tiang,

f = satuan tahanan kulit persatuan luas,

A_s = luas kulit tiang pancang.

Kapasitas daya dukung ultimit tiang juga ditentukan dengan beberapa persamaan metode, yaitu :

2.8.1 Metode Langsung/*Direct Core*

Metode langsung ini dikemukakan oleh beberapa ahli diantaranya : Mayerhorf, Tomlinson dan Begemann.

Perhitungan dengan daya dukung tiang pancang dari data sondir menggunakan metode langsung, yaitu (dalam jurnal Gunawan, 2014) :

$$Q_{ult} = (q_c \times A_b) + (JHL \times A_s) \dots\dots\dots(2.18)$$

Kapasitas daya dukung ijin pondasi dinyatakan dengan rumus :

$$Q_{all} = \frac{q_c \times A_b}{3} + \frac{JHL \times A_s}{5} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$A_b = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \dots\dots\dots(2.20)$$

$$A_s = \pi \times D \times L \dots\dots\dots(2.21)$$

Dengan,

q_c = tahanan ujung sondir (kg/cm^2),

A_b = luas penampang tiang (cm^2),

JHL = jumlah hambatan lekat/total friction (kg/cm),

A_s = keliling tiang (cm),

L = kedalaman tiang (m) dan

D = diameter tiang (m)

Dari hasil uji sondir ditunjukkan bahwa tahanan ujung sondir (harga tekan Konus) bervariasi terhadap kedalaman. Oleh sebab itu pengambilan harga q_c untuk daya dukung diujung tiang kurang tepat. Suatu rentang disekitar ujung tiang perlu dipertimbangkan dalam menentukan daya dukungnya.

Menurut Mayerhorf :

$$q_p = \frac{2}{3} q_c \quad \text{untuk keperluan praktis.}$$

$$q_p = (2/3 - 3/2) q_c \dots\dots\dots(2.22)$$

Dengan,

q_p = Tahanan ujung ultimate

q_c = Harga rata-rata tahanan ujung konus dalam daerah 2D dibawah ujung tiang.

2.8.2 Metode Mayerhof (1976;1983) dalam Fellenius (1990) CPT

Cara ini digunakan untuk menghitung kapasitas daya dukung pondasi pada tanah pasir. Mayerhof (1976;1983) dalam Fellenius (1990) mengusulkan persamaan untuk menentukan kapasitas dukungan tiang pada pasir dengan memperhatikan pengaruh skala dan penetrasi tiang. Untuk menentukan tahanan ujung satuan digunakan persamaan sebagai berikut (Hardiyatmo, 2010) :

$$fb = w1 \times w2 \times qca \dots \dots \dots (2.23)$$

Dengan,

qca = q_c rata-rata (kn/m^2) pada zona $1d$ dibawah ujung tiang dan $4d$ diatasnya,

$w1$ = $\{(d + 0.5) / 2d\}^n$, jika $d < 0.5$ m, $w1 = 1$

$w2$ = $L / 10d$, jika $L > 10d$, $w2 = 1$

d = diameter tiang (m)

L = kedalaman penetrasi tiang di dalam lapisan pasir padat (m)

N = nilai eksponensial.

Untuk tiang pancang, tahanan gesek satuan diambil salah satu dari persamaan :

$$fs = kf \times qf, \text{ (Dengan } kf = 1) \dots \dots \dots (2.24)$$

Atau bila tidak dilakukan pengukuran tahanan gesek sisi konus :

$$fs = kc \times qc, \text{ (Dengan } kc = 0.005) \dots \dots \dots (2.25)$$

Dengan,

Kf = koefisien modifikasi tahanan gesek sisi konus

Kc = koefisien modifikasi tahanan konus

Untuk menghitung kapasitas daya dukung pondasi dengan rumus :

$$Qu = Qb + Qs \dots \dots \dots (2.26)$$

$$Qb = Ab \times fb \dots \dots \dots (2.27)$$

$$Qs = fs \times As \dots \dots \dots (2.28)$$

$$Qa = \frac{Qu}{3} \dots \dots \dots (2.29)$$

Dengan,

Qu = Kapasitas Daya Dukung Aksial Ultimit Tiang Pancang,

Qb = Kapasitas Tahanan Di Ujung Tiang,

- Q_s = Kapasitas Tahanan Kulit,
- F_s = Tahanan Gesek Satuan,
- F_b = Tahanan Ujung Satuan,
- A_b = Luas Di Ujung Tiang,,
- A_s = Luas Kulit Tiang Pancang.

2.8.3 Metode Price & Wardle (1982)

Kontribusi lain dalam pengembangan korelasi langsung untuk memprediksi komponen daya dukung berdasarkan data CPT adalah metode Price dan Wardle (1982), dimaksudkan untuk memprediksi q_b dan f_b tiang dari data q_c dan f_s .

Komponen daya dukung tersebut diperoleh dengan persamaan sebagai berikut ini (dari jurnal Lim. A, 2014) :

$$f_b = k_s \cdot f_s \dots\dots\dots(2.30)$$

$$q_b = k_b \cdot q_{c(tip)} \dots\dots\dots(2.31)$$

Dengan,

- f_b = Tahanan selimut tiang (ton/m²)
- f_s = Bacaan gesek selimut konus (ton/m²)
- q_b = Tahanan ujung tiang (ton/m²)
- $q_{c(tip)}$ = Nilai q_c pada ujung tiang (ton/m²)
- k_s dan k_b = konstanta bergantung pada jenis tiang

Tabel 2.2 Variasi nilai k_s

k_s	Jenis tiang
0,53	Driven piles
0,62	Jacked piles
0,49	Drilled shaft

Sumber : jurnal aswin lim

Tabel 2.3 Variasi nilai k_b

k_b	Jenis tiang
0,35	Driven piles
0,3	Jacked piles

Sumber : jurnal aswin lim

Untuk Kapasitas daya dukung ultimit tiang digunakan persamaan :

$$Q_u = Q_b + Q_s = q_b \cdot A_b + f_b \cdot A_s \dots\dots\dots(2.32)$$

Dengan,

Q_u = kapasitas daya dukung aksial ultimit tiang pancang,

Q_b = kapasitas tahanan di ujung tiang,

Q_s = kapasitas tahanan kulit,

q_b = kapasitas daya dukung di ujung tiang persatuan luas,

A_b = luas di ujung tiang,

f_b = satuan tahanan kulit persatuan luas,

A_s = luas kulit tiang pancang.

2.8.4 Metode Aoki dan De Alencar

Aoki dan Alencar mengusulkan untuk memperkirakan kapasitas dukung ultimit dari data sondir. Kapasitas dukung ujung persatuan luas (q_b) diperoleh sebagai berikut (dalam jurnal Gunawan, 2014):

$$q_b = \frac{q_{ca} (base)}{F_b} \dots\dots\dots(2.33)$$

Dengan,

$Q_{ca} (base)$ = perlawanan konus rata-rata 1,5D diatas ujung tiang 1,5D dibawah ujung tiang dan F_b adalah faktor empirik tahanan ujung tiang tergantung pada tipe tiang.

Tahanan kulit persatuan luas (f) diprediksi sebagai berikut :

$$f = q_c (side) \frac{\alpha_s}{F_s} \dots\dots\dots(2.34)$$

Dengan,

$Q_c (side)$ = Perlawanan konus rata-rata pada masing lapisan sepanjang tiang,

F_s =Faktor empirik tahanan kulit yang tergantung pada tipe tiang,

F_b =Faktor empirik tahanan ujung tiang yang tergantung pada tipe tiang.

Faktor F_b dan F_s diberikan pada tabel 2.4 dan nilai-nilai faktor empirik α_s diberikan pada tabel 2.5

Tabel 2.4 Faktor empirik F_b dan F_s

Tipe Tiang Pancang	F_b	F_s
Tiang Bor	3,5	7,0
Baja	1,75	3,5

Tipe Tiang Pancang	Fb	Fs
Beton Pratekan	1,75	3,5

Sumber : Titi dan Farsakh, 1999

Tabel 2.5 Nilai faktor empirik untuk tipe tanah

Tipe Tanah	α_s (%)	Tipe Tanah	α_s (%)	Tipe Tanah	α_s (%)
Pasir	1,4	Pasir berlanau	2,2	Lempung berpasir	2,4
Pasir kelanauan	2,0	Pasir berlanau dengan lempung	2,8	Lempung berpasir dengan lanau	2,8
Pasir kelanauan dengan lempung	2,4	lanau	3,0	Lempung berlanau dengan pasir	3,0
Pasir berlempung dengan lanau	2,8	Lanau berlempung	3,0	Lempung berlanau	4,0
Pasir berlempung	3,0		3,4	lempung	6,0

Sumber : Titi dan Farsakh, 1999

Pada umumnya nilai α_s untuk pasir = 1,4 persen, nilai lanau = 3,0 persen dan nilai untuk lempung = 1,4 persen.

Untuk perhitungan kapasitas daya dukung ultimit tiang di tentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_u = Q_b + Q_s = q_b \cdot A_b + f \cdot A_s \dots\dots\dots(2.35)$$

Dengan,

Q_u = kapasitas daya dukung aksial ultimit tiang pancang,

Q_b = kapasitas tahanan di ujung tiang,

Q_s = kapsitas tahanan kulit,

q_b = kapasitas daya dukung di ujung tiang persatuan luas,

A_b = luas di ujung tiang,

f = satuan tahanan kulit persatuan luas,

A_s = luas kulit tiang pancang.

2.8.5 Metode Imperial College

Perumusan ini adalah hasil dari ratusan percobaan melalui ratusan rumus yang digunakan untuk perhitungan berdasarkan data sondir sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut (dalam jurnal Ismail, 2014) :

$$Qu = (qc \times (1 - 0,5 \log \frac{D}{D_{cpt}}) + \frac{\pi \times D}{4}) + (\pi \times D \times fs \times Z) \dots \dots \dots (2.36)$$

Dengan,

D_{cpt} = 0.036 m,

Z = Kedalaman (m)

D = Diameter Tiang

fs = Bacaan gesek selimut konus

2.9 Penurunan Tiang Tunggal

2.8.1 Metode Vesic (1977)

Penurunan elastis tiang dibawah beban kerja vertikal (Q_w) dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut ini (Bowles, 2010) :

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \dots \dots \dots (2.37)$$

Dengan,

S = Penurunan tiang total,

S₁ = Penurunan batang tiang,

S₂ = Penurunan tiang akibat beban titik,

S₃ = Penurunan akibat beban yang tersalur sepanjang batang.

Untuk penurunan batang tiang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut ini :

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \epsilon \cdot Q_{ws}) \cdot L}{A_p \cdot E_p} \dots \dots \dots (2.38)$$

Dengan,

Q_{wp} = Bahan yang dipikul ujung tiang dibawah kondisi beban kerja (Q_b/F) (kN),

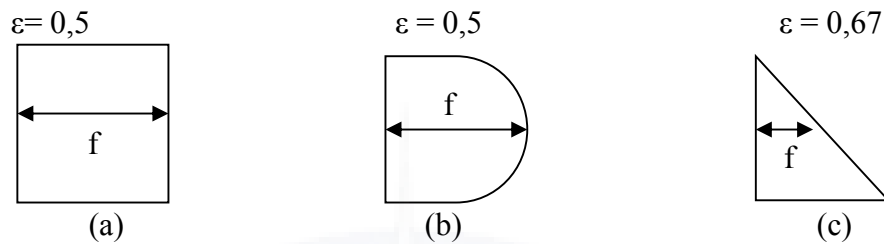
Q_{ws} = Beban yang dipikul kulit tiang dibawah kondisi beban kerja (Q_s/F) (kN),

A_p = Luas penampang tiang (m^2),

L = Panjang tiang (m),

E_p = Modulus bahan tiang.

Besarnya ϵ bergantung pada sifat distribusi tahanan kulit sepanjang batang tiang. Jika distribusi f adalah seragam atau parabola, seperti gambar (a) dan (b) adalah 0,5. Namun untuk nilai distribusi f dalam bentuk segitiga (c) nilai ϵ sekitar 0,67 (vesic, 1977).



Gambar 2.11 Jenis distribusi tahanan kulit sepanjang tiang

Untuk menghitung penurunan tiang akibat beban titik diperoleh dengan persamaan sebagai berikut ini :

$$S2 = \frac{Qwp \cdot Cp}{D \cdot qp} \dots\dots\dots(2.39)$$

Dengan,

Cp = Koefisien empiris dapat dilihat di tabel 2.6

qp = Tahanan ujung batas tiang

Tabel 2.6 Nilai-nilai koefisien empiris/ Cp (Vesic, 1977)

Jenis Tanah	Tiang Pancang	Tiang Bor
Pasir (padat ke lepas)	0,02 – 0,04	0,09 – 0,18
Lempung (kaku ke lunak)	0,02 – 0,03	0,03 – 0,06
Lanau (padat ke lepas)	0,02 -0,05	0,09 – 0,12

Sumber : Bowles, 2010

Untuk menghitung penurunan tiang akibat beban yang tersalur sepanjang batang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut ini :

$$S3 = \frac{Qws \cdot Cs}{L \cdot qp} \dots\dots\dots(2.40)$$

Dengan,

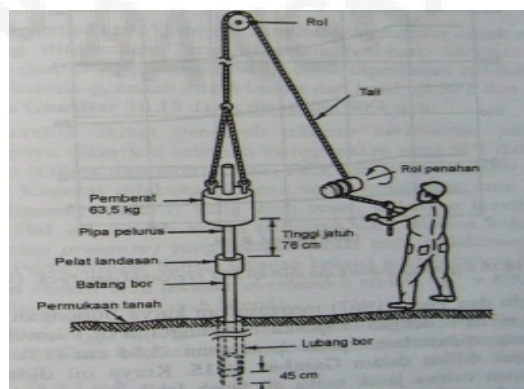
Cs = konstanta empiris = $\left(0,93 + 0,16 \sqrt{\frac{L}{D}} \right) \cdot Cp$

2.10 Penyelidikan Lapangan Dengan *Standar Penetration Test* (SPT)

Metode SPT (*standar penetration test*) adalah metode pemancangan batang (yang memiliki ujung pemancangan) ke dalam tanah dengan pukulan palu dan mengukur jumlah pukulan perkedalaman penetrasi. Untuk melakukan pengujian SPT ini dibutuhkan sebuah alat utama yang disebut *standard split barrel sampler* atau tabung belah standard. Alat ini dimasukkan kedalam *Bore Hole* setelah di bor terlebih dahulu dengan alat bor. Alat ini diturunkan bersama-sama pipa bor dan diturunkan hingga ujungnya menumpu ke tanah dasar. Pemancangan biasanya dilakukan dengan beban 63,5 kg yang dijatuhkan dari ketinggian ± 75 cm.

Pengamatan dan perhitungan dilakukan sebagai berikut :

1. Mula-mula tabung SPT dipukul kedalam tanah sedalam 45 cm, yaitu kedalam yang diperkirakan akan terganggu oleh pengeboran.
2. Kemudian untuk setiap kedalaman 15 cm dicatat jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk memasukkannya. Jumlah pukulan untuk memasukkan split spoon 15 cm pertama dicatat sebagai N1. Jumlah pukulan untuk memasukkan 15 cm kedua adalah N2 dan jumlah pukulan untuk memasukkan 15 cm ketiga adalah N3. Jadi total kedalaman setelah pengujian SPT adalah 45 cm dan menghasilkan N1, N2 dan N3.
3. Angka SPT ditetapkan dengan menjumlahkan 2 dari angka pukulan terakhir ($N2+N3$) pada setiap interval pengujian dan dicatat pada lembaran *Drilling log* sebagai data hasil pengujiannya.

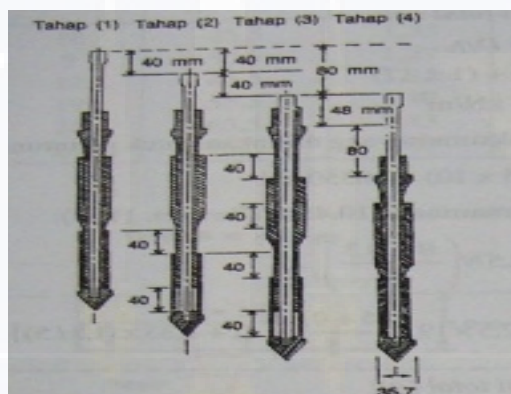


Sumber : Hardiyatmo, 2010

Gambar 2.12 Proses pengujian N-SPT

2.11 Uji Penetrasi Kerucut Statis (*Static Cone Penetration*)

Uji penetrasi kerucut statis atau uji sondir termasuk jenis alat penetrometer statis. Alat pengujian berupa kerucut dengan diameter 3,75 cm atau luas penampang 1000 mm². Kerucut dihubungkan dengan batang besi di dalam pipa besi penekan. Pipa dan mata sondir ditekan secara terpisah dengan penekan hidrolis atau gerakan gerigi dari hasil putaran dengan tangan. Kecepatan penekanan mata konus 10 mm/detik. Pembacaan tahanan konus dilakukan dengan melihat arloji pengukurannya. Beban dibagi dengan luas tampang konus merupakan tahanan kerucut statis atau sering juga disebut tahanan konus (q_c). Dari data diagram tahanan konus yang dihasilkan dari uji kerucut statis atau sondir, kapasitas dukung tanah secara empiris dapat ditentukan.



Sumber : Hardiyatmo, 2010

Gambar 2.13 Cara kerja alat penetrasi kerucut statis

2.12 Uji PDA (*Pile Driving Analyzer*)

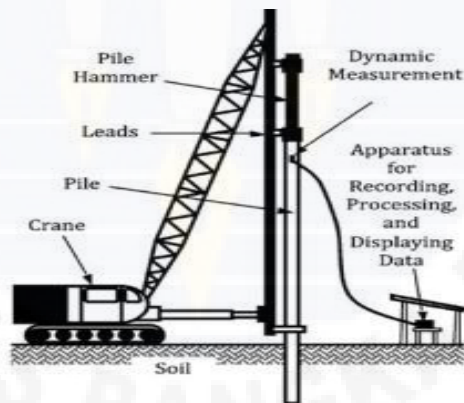
Tujuan dasar dari pengujian PDA, yaitu untuk mengevaluasi daya dukung tiang, integritas/keutuhan tiang dan penurunan tiang. Dengan kemampuannya tersebut PDA test digunakan pada proyek-proyek besar sebagai tes tambahan selain uji skala penuh (*static load test*), sedangkan pada proyek-proyek menengah dan kecil PDA test dianggap bisa menggantikan uji beban. Jenis fondasi tiang yang dapat diuji dengan PDA tidak terbatas pada tiang pancang saja. PDA juga dapat digunakan untuk tiang yang dicor ditempat seperti tiang bor, tiang franki dan jenis pondasi lainnya.



Sumber : Google.com

Gambar 2.14 Alat yang digunakan dalam proses test PDA

Pengujian tiang pancang cara dinamis dilakukan dengan menempatkan 2 pasang sensor secara berlawanan. Satu pasang sensor terdiri dari pengukur regangan (*strain transducer*) dan pengukur percepatan (*accelerometer*) di pasang dibawah kepala tiang (minimum jarak kepala tiang ke transducer $1,5D - 2D$, dimana D adalah diameter tiang) sehingga ada jarak bebas pada saat tumbukan.



Sumber : Google.com

Gambar 2.15 Tipikal penyusunan pengetesan PDA

Akibat tumbukan *hammer* pada kepala tiang, sensor akan menangkap gerakan yang timbul dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang kemudian direkam dan diproses dengan PDA (*pile driving analyzer*) model PAX. Hasil pengukuran tersebut diperlukan untuk memperkirakan kapasitas dukung aksial tiang dengan menggunakan *case metode*.

Pada pengujian PDA test terdapat beberapa dial bacaan atau parameter yang dihasilkan dari alat tersebut, seperti dalam tabel 2.7.

Tabel 2.7. Data dan parameter pengujian PDA *test*

Kode	Keterangan
BN	Pukulan
RMX	Daya Dukung Tiang (ton)
FMX	Gaya Tekan Maksimum (ton)
CTN	Gaya Tarik Maksimum (ton)
EMX	Energi Maksimum yang ditransfer (ton.m)
DMX	Penurunan Maksimum
DFN	Penurunan Permanen
STK	Tinggi Jatuh Palu (m)
BPM	Pukulan Per Menit
BTA	Nilai Keutuhan Tiang (%)
LE	Panjang Tiang Bawah Instrumen (m)
LP	Panjang Tiang Tertanam (m)
AR	Luas Penampang Tiang (cm ²)

Sumber : PT. Pelabuhan Indonesia II

Hasil keluaran (*output*) dari PDA (*pile driving analyzer*) antara lain :

1. Daya dukung aksial tiang (Ru-ton)

Penentuan daya dukung aksial tiang didasarkan pada karakteristik dari pantulan gelombang yang diberikan oleh reaksi tanah (lengketan dan tahanan ujung). Korelasi yang baik antara daya dukung tiang yang diberikan dari hasil PDA dengan cara statis yang konvensional telah diakui, yang membawa pada pengakuan PDA sebagai metode yang sah dalam ASTM D-4945-1996. Meski demikian, harus dicatat korelasi yang ditunjukkan dalam grafik didasarkan pada hasil pengujian jika daya dukung batas (*ultimate*) dicapai baik dengan PDA maupun dengan pengujian statis yang konvensional.

2. Integritas tiang/keutuhan tiang (BTA_%) dan lokasi kerusakan dibawah sensor (LTD-m)

Kerusakan pada pondasi tiang dapat terjadi karena beberapa hal antara lain pada saat pengangkatan tiang atau selama pemancangan tiang. Untuk tiang bor, pengecilan penampang dan longsornya tanah adalah kerusakan yang paling umum dijumpai. Kerusakan ini dapat dideteksi dengan PDA. Berdasarkan F (gaya) dan V (kecepatan) yang terekam dari gelombang selama perambatannya sepanjang tiang, lokasi dari kerusakan dapat dideteksi dan luas penampang sisa dari tiang

dapat diperkirakan. Jika hanya keutuhan tiang saja yang dibutuhkan, sebuah sub-sistem dari PDA yang disebut "*pile integrity tester*" lebih ekonomis untuk digunakan.

3. Penurunan maksimum tiang (Dx-mm) dan penurunan permanen (DFN-mm)

PDA mengukur energi pemancangan aktual yang ditransfer selama pengujian. Karena berat palu pemancang dan tinggi jatuh palu dapat diketahui, maka efisiensi energi yang ditransfer dapat dihitung. Hasil pengujian PDA angka penurunan yang diambil sebagai hasil data *immediate displacement* (kapasitas sesaat) sampai batas keamanan $FK = 2$ dan tidak menjelaskan tentang penurunan konsolidasi. Angka penurunan permanen dari uji PDA tidak lebih besar dari $\frac{1}{4}$ penurunan maksimum tiang.

2.11 CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program)

CAPWAP (*case pile wave analysis program*) adalah program aplikasi analisis numerik yang menggunakan masukan daya gaya (*forced*) dan kecepatan (*velocity*) yang diukur oleh PDA. CAPWAP juga merupakan sebuah program perangkat lunak yang memperkirakan daya dukung total tumpukan atau poros, serta distribusi resistensi sepanjang poros dan pada jari kaki. Kegunaan program ini adalah untuk memperkirakan distribusi dan besarnya gaya perlawanan tanah total sepanjang tiang berdasarkan modelisasi sistem tiang tanah yang dibuat dan memisahkannya menjadi bagian perlawanan diamis dan statis.

Program CAPWAP menganalisis dari data hasil PDA yang memberikan hasil analisis yang lebih detail. Program ini juga menyediakan distribusi tanah sepanjang tahanan pondasi dan mensimulasikan tes beban statis. Hasil *output* dari program ini berupa hasil daya dukung pondasi tiang (Q_u), daya dukung selimut tiang (Q_s), daya dukung ujung tiang (Q_b) dan daya dukung tarik tiang (Q_{up}).