

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Rumah susun sekolah merupakan tempat untuk melaksanakan aktifitas yang selalu digunakan. Pekerjaan yang utama dalam rumah susun sekolah adalah dalam kegiatan mengajar dan lainnya. Hal tersebut yang menjadi pembaruan rumah susun sekolah yang baru untuk menampung anak - anak yang lebih banyak. Oleh karena itu dalam merencanakan rumah susun sekolah perlu adanya desain yang matang ditinjau dari segi kekuatan struktur, arsitektur, dan yang terpenting dalam pembangunan rumah susun sekolah tersebut ialah pondasi.

Pada proyek ini akan dilakukan pembangunan rumah susun sekolah 3 lantai yang berlokasi di Kabupaten Nias Barat Kecamatan Mandrehe. Dalam perancangan struktur gedung, keamanan merupakan faktor utama yang harus diperhatikan dan harus di perhitungkan agar struktur memiliki ketahanan terhadap gaya – gaya. Dalam merencanakan gedung, analisis astruktur sangat diperlukan untuk memperkirakan gaya yang di timbulkan apabila suatu struktur bangunan dikenai gaya itu. Namun, pada hakekatnya suatu konstruksi bangunan sipil berdiri di atas tanah dasar atau bebatuan yang akan menerima dan menahan beban dari keseluruhan struktur di atasnya (sesuai dengan perencanaan) yang kemudian di dukung oleh pondasi sebagai penyeimbang dari beban – beban yang bekerja.

Pemakaian metode dalam mencari daya dukung tiang tunggal sangat banyak

seiring dengan kebutuhan proyek tersebut.

1.2 Batasan Masalah

Pondasi secara umum dibagi atas dua bagian yaitu pondasi dangkal (*shallow foundation*) misalnya pondasi telapak dan pondasi dalam (*deep foundation*) seperti pondasi tiang pancang. Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka batasan masalah ini adalah :

1. Analisa daya dukung pondasi tiang pancang dengan metode elemen hingga
2. Perhitungan kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan data sondir dan SPT (*Standard Penetration Test*)
3. Perbandingan hasil perhitungan di lapangan dengan perhitungan penelitian ini yang mana yang lebih aman
4. Menentukan perbandingan antara data sondir dan SPT dengan menggunakan metode elemen hingga dengan aplikasi *plaxis*

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mampu mengulas kajian mengenai penggunaan metode elemen hingga dalam menghitung kapasitas daya dukung tiang pancang dengan data sondir dan SPT
2. Mampu menentukan alternatif pemakaian metode elemen hingga dalam kajian daya dukung tiang pancang dalam perhitungan
3. Mampu meminimalisir kesalahan dalam perencanaan
4. Untuk mengetahui nilai yang mana yang lebih aman di gunakan

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah untuk memberikan kontribusi pemahaman mengenai metode elemen hingga dan memberikan referensi bagi mahasiswa yang lain yang sedang dalam mencari referensi dengan tema atau topik yang dibahas dan memberikan tambahan wawasan dalam melakukan perencanaan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

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 penompang 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 ijinan.

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.

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 kategori 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).

2.2 Klasifikasi Pondasi

Pondasi adalah bagian paling bawah dari suatu bangunan yang meneruskan beban bangunan bagian atas ke lapisan tanah atau batuan yang berada dibawahnya.

Klasifikasi pondasi dibagi 2 macam, yaitu :

2.2.1 Pondasi Dangkal

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

2.2.1.1 Pondasi setempat

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

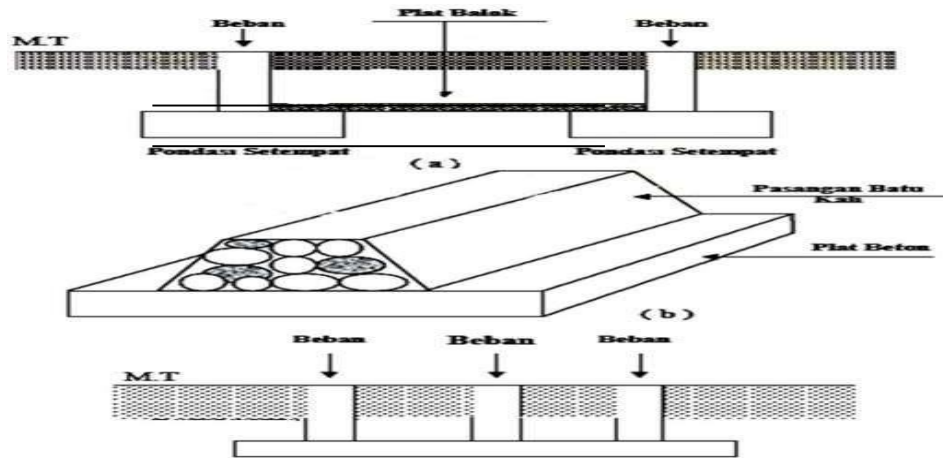
2.2.1.2 Pondasi menerus

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.

2.2.1.3 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.



Gambar 2.1 Macam-macam pondasi dangkal.

(a). Pondasi setempat,

(b). Pondasi dangkal dan Pondasi tiar

Sumber : Bowles, 1991

2.3.1 Pondasi Dalam

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

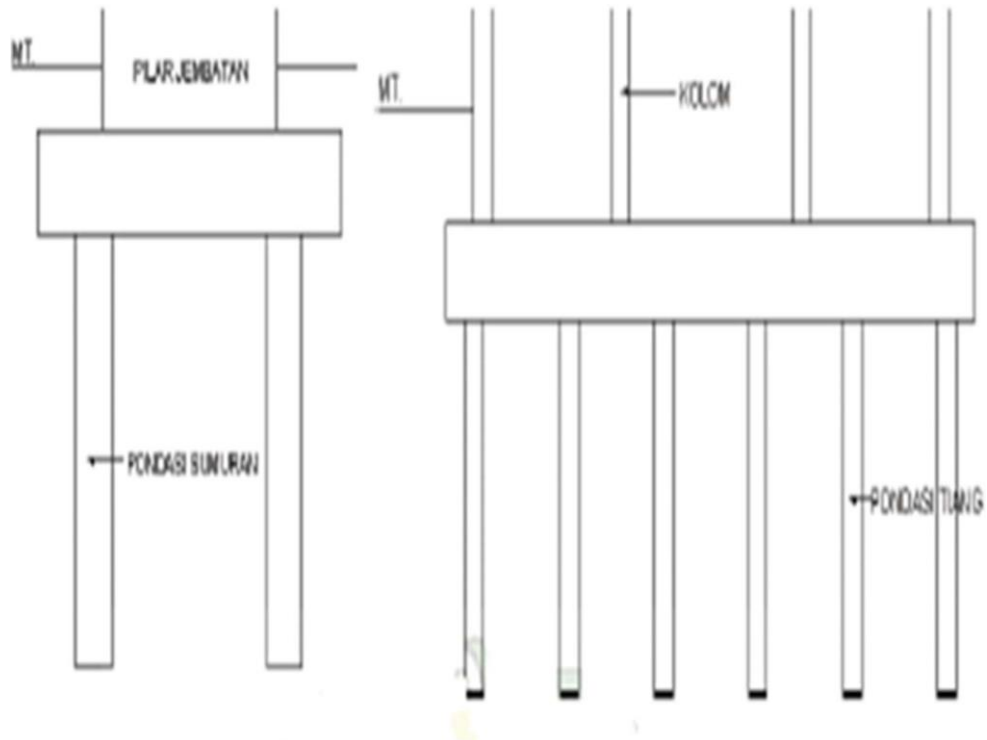
2.3.1.1 Pondasi sumuran (*pier foundation*)

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 $D_f/B \leq 1$.

2.3.1.2 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*).



Gambar 2.2 Macam-macam pondasi dalam

Sumber : Bowles, 1991

2.3 Pondasi Tiang Pancang

2.3.1 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

peningkatkan 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.

2.4.1 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.

2.4.2 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.

2.4.3 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*)

2.4.4 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.

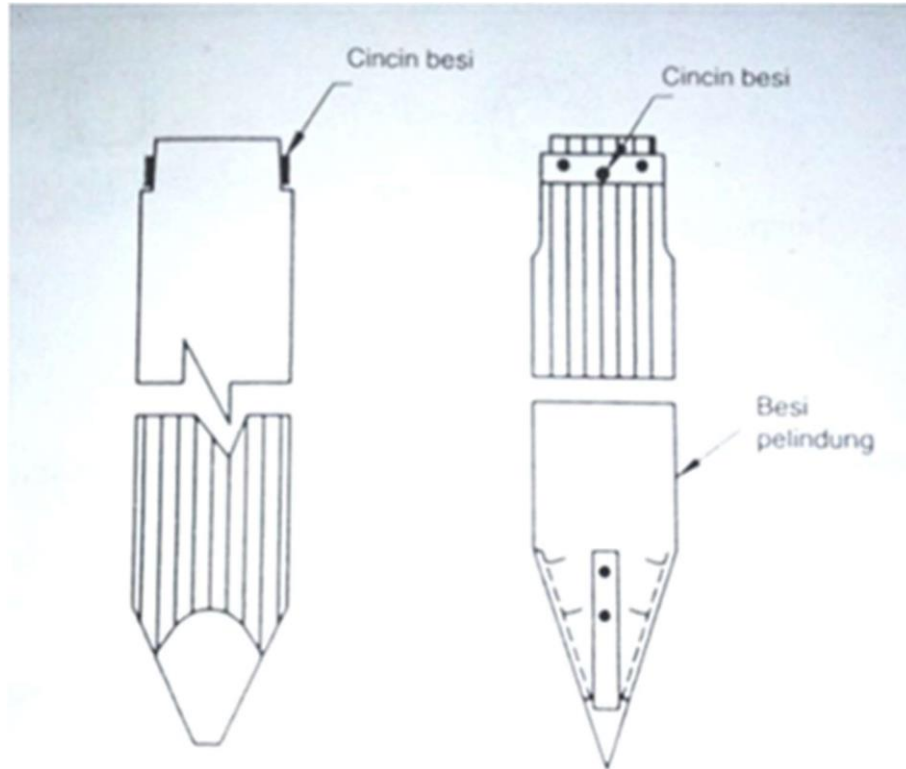
Keuntungan pemakaian tiang pancang kayu :

- 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



;

Gambar 2.3 Pondasi kayu

Sumber : Hardiyatmo, 2010

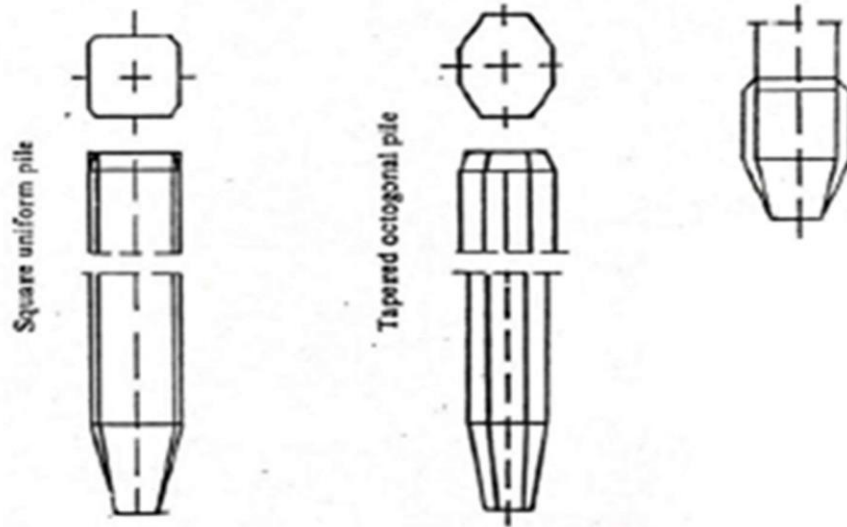
2. Tiang Pancang Beton

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.



Gambar 2.4 Tiang pancang beton *precast reinforced concrete pile*

Sumber : Sardjono, 1988

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.

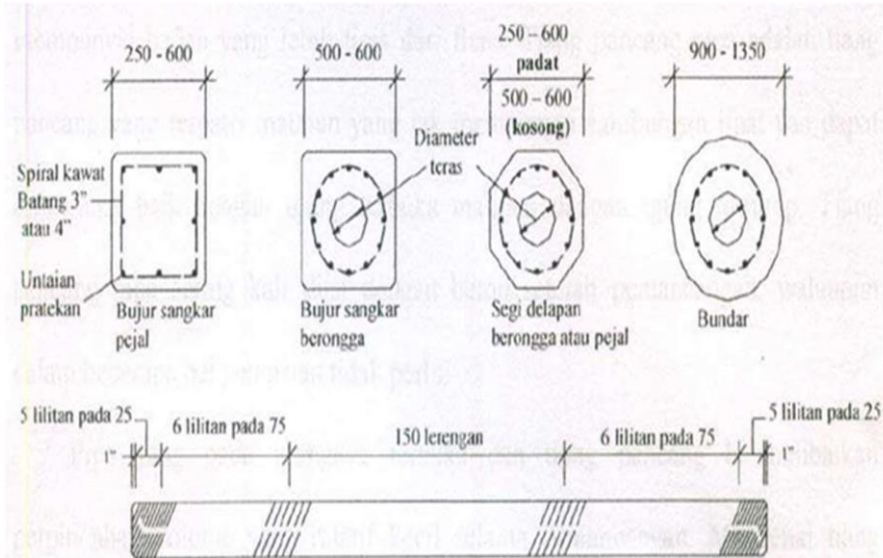
Kerugian pemakaian *precast reinforced concrete pile*, yaitu :

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*.

2. *Precast prestressed concrete pile*

Prestressed pile adalah pile beton yang bertulang struktur baja. Prestressed pile terdiri dari 3 bagian yaitu *upper* (atas), *middle* (tengah) dan *bottom* (bawah). Salah satu kegunaan prestressed pile untuk menambah kestabilan kekuatan permukaan tanah saat dibebani beban berat seperti *double U-box*, *double w-box*, *big u-ditch*, dan lain-lain.

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



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

Sumber : 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.
4. Produk pondasi tiang pancang sangat awet.

Kerugian pemakaian *precast prestressed concrete pile*, yaitu :

1. Sukar ditangani;
2. Biaya pembuatannya mahal;
3. Pergeseran cukup banyak sehingga prategangnya sukar disambung.
4. Proses pembuatannya dan pemasangannya lebih sulit..

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 :

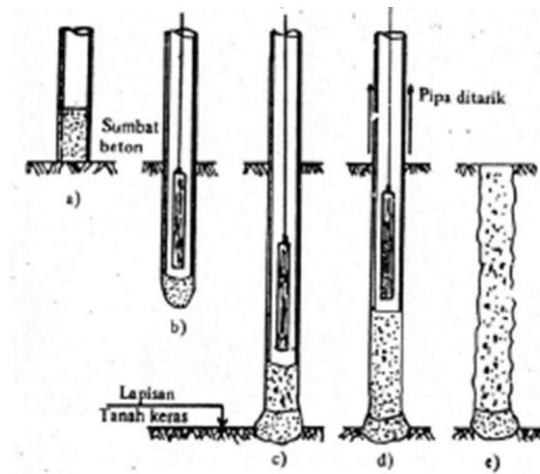
1. Dengan pipa baja yang dipancangkan ke dalam tanah, kemudian diisi dengan beton dan ditumpukkan sambil pipa baja ditarik ke atas;
2. Dengan pipa baja yang dipancangkan ke dalam tanah kemudian diisi dengan beton, sedangkan pipa baja tersebut tetap tinggal dalam tanah.

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.
- 4) Tingkat kekuatannya tinggi.

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.
- 4). Pada saat penggalian lubang membuat sekelilingnya menjadi kotor akibat tanah yang diangkat.



Gambar 2.6 Tiang pancang cast in place

Sumber : Sardjono, 1988

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

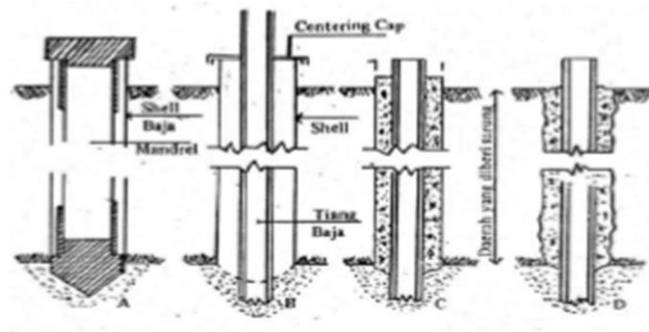
Jenis tiang pancang baja ini biasanya berbentuk profil H. Karena terbuat dari baja maka kekuatan dari tiang ini adalah sangat besar sehingga dalam transport dan pemancangan tidak menimbulkan bahaya patah seperti pada tiang pancang beton precast. Jadi pemakaian tiang pancang ini sangat bermanfaat jika 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.

Layaknya kaki yang kokoh, bagian dasar pondasi berfungsi untuk menopang beban struktur bangunan diatas. Sehingga bangunan menjadi lebih kuat berdiri dalam jangka waktu yang lama.

Pondasi tiang pancang sangat membantu dalam membangun pondasi yang baik mampu mengurangi resiko kerusakan pada bangunan seperti bagian atap, tembok dan lainnya.



Gambar 2.7 Tiang Pancang Baja

Sumber : sardjono, 1988

Keuntungan pemakaian tiang pancang baja :

- a) Tiang pancang ini mudah dalam hal penyambungan;

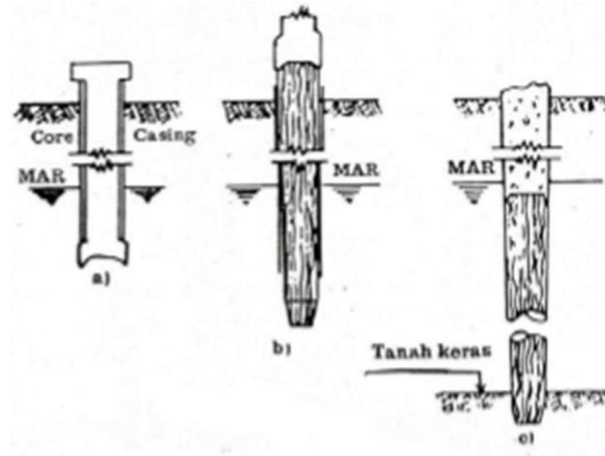
- b) Tiang pancang baja mempunyai kapasitas daya dukung yang tinggi;
- c) Dalam pengangkutan dan pemancangan tidak menimbulkan bahaya patah.

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.
- c) Memakan waktu yang lama saat produksinya dikarenakan pada saat pembuatannya kualitas beton harus maksimal.

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



Gambar 2.8 Tiang pancang komposit
 Sumber : Sardjono, 1988

2.4 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 (m²)

A_s = Luas selimut tiang (m²)

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

2.4.1 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 diatas dasar tiang sampai 4d dibawah dasar tiang.

L_b/d = Rasio kedalaman yang nilainya dapat kurang 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 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 tekanan gesek satuan (f_s). Metode Mayerhof 1976 dalam menyarankan persamaan (Hardiyatmo, 2010) :

- i. Untuk tiang perpindahan besar (*tiang pancang*) pada tanah tidak kohesif (pasir) digunakan persamaan ;

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

- ii. 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)

2.4.2 Metode Briaud et al (1985)

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

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

Dan Tahanan gesek satuan digunakan persamaan sebagai berikut ini :

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

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 :

$$Q_u = A_b \cdot f_b + A_s \cdot f_s \dots\dots\dots (2.11)$$

Dengan,

Q_u = Daya dukung ultimit

A_b = Luas ujung tiang

A_s = Luas selimut tiang

f_s = Tahanan gesek satuan tiang (kN/m²)

2.4.3 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, metode ini digunakan untuk menentukan daya dukung pondasi tiang berdasarkan hasil standard penetration test.

Nilai k tersebut dapat dilihat pada tabel 2.1 (dalam jurnal Wardani, 2016).

Harga N dilapangan yang berada dibawah muka air harus dikoreksi dahulu untuk menjadi N design (N_1) dengan persamaan Terzaghi dan Peck :

$$N_1 = 15 + 0,5 (N - 15) \dots\dots\dots (2.12)$$

Metode untuk menentukan daya dukung pondasi tiang berdasarkan hasil standard penetration test. Daya dukung ujung pondasi tiang pancang dipengaruhi oleh nilai

koefisien berdasarkan jenis lapisan tanah.

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

2.4.4 Metode Mayerhof (1956)

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

$$Q_u = 40.N_b.A_p + 0,2. \bar{N}.A_s \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan,

Q_u = Kapasitas daya dukung ultimit tiang (ton)

N_b = Harga N-SPT pada elevasi dasar tiang (ton)

A_p = Luas penampang dasar tiang (m²)

A_s = Luas selimut tiang (m²)

\bar{N} = Harga N-SPT rata-rata

Korelasi daya dukung tiang dengan hasil uji SPT yang diusulkan oleh mayerhof berdasarkan penyelidikan yang dilakukan pada pondasi tiang pancang yang tertanam pada tanah lempung berpasir halus.

2.4.5 Metode Shio & Fukui (1982)

Untuk menghitung tahanan ujung tiang pancang, semua jenis tanah dapat

digunakan persamaan sebagai berikut ini (*dalam jurnal Adriani, 2013*) :

$$f_b = 0,3.p_a.N_{60} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dengan,

f_b = Unit tahanan ujung (kN/m²)

p_a = Tekanan atmosfer (1000 kN/m² atau 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 :

$$f_s = 2. N_{55} \text{ (kPa)} \dots\dots\dots (3.15)$$

Dengan,

f_s = Untuk tahanan selimut (kN/m²)

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

kPa = Satuan tekanan

2.5 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 diperlukan 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 :

$$Q_u = Q_b + Q_s = q_b \cdot A_b + f \cdot A_s \dots\dots\dots (2.16)$$

Dengan,

Q_u = Kapasitas daya dukung aksial ultimit tiang pancang

Q_b = Kapasitas tahanan diujung tiang

Q_s = Kapasitas tahanan kulit

q_b = Kapasitas daya dukung diujung tiang persatuan luas

A_b = Luas diujung 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 :

2.5.1 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*) :

$$Q_{ult} = (Q_c \times A_b) + (JHL \times A_s) \dots\dots\dots (3.17)$$

Kapasitas daya dukung ijin pondasi dinyatakan dengan rumus :

$$Q_{all} = \frac{q_c \times A_b}{3} + \frac{JHL \times A_s}{5} \dots\dots\dots (3.18)$$

$$A_b = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \dots\dots\dots (3.19)$$

$$A_s = \pi \times D \times L \dots\dots\dots (2.20)$$

Dengan,

q_c = Tahanan ujung sondir (kg/cm^2)

A_b = Luas penampang tiang (cm^3)

JHL = Jumlah hambatan lekat/total fuction (kg/cm)

A_s = Keliling tiang (cm)

L = Kedalaman tiang (m)

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 :

$$Q_p = Q_c \text{ Untuk keperluan praktis } Q_p = (2/3-3/2)Q_c$$

Dengan,

q_p = Tahanan ujung ultimate

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

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

Cara ini digunakan untuk menghitung kapasitas daya dukung pondasi pada tanah pasir. Mayerhorf (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) :

$$f_b = w_1 \times w_2 \times Q_{ca} \dots \dots \dots (2.21)$$

Dengan,

Q_{ca} = qc rata-rata (kN/m²) pada zona 1D dibawah ujung tiang dan 4D diatasnya

$$w_1 = \{(d + 0.5)/2d\}^n, \text{ jika } d < 0.5 \text{ m, } w_1 = 1$$

$$w_2 = L/10d, \text{ jika } L > 10d, w_2 = 2$$

f_b = Unit tahan ujung (kN/m²)

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

$$f_s = k_f \times q_f, \text{ (dengan } k_f = 1) \dots \dots \dots (4.22)$$

Atau bila tidak dilakukan pengukuran tahanan gesek sisi konus :

$$f_s = k_c \times q_c, \text{ (dengan } k_c = 0.005) \dots \dots \dots (2.23)$$

Dengan,

k_f = Koefisien modifikasi tahanan gesek sisi konus

k_c = Koefisien modifikasi tahanan konus

Untuk menghitung kapasitas daya dukung pondasi dengan rumus :

$$Q_u = Q_b + Q_s \dots \dots \dots (4.24)$$

$$Q_b = A_b \times f_b \dots \dots \dots (4.25)$$

$$Q_a = \frac{Q_u}{3} \dots \dots \dots (2.26)$$

Dengan,

Q_u = Kapasitas daya dukung aksial ultimit tiang pancang

Q_b = Kapasitas tahanan diujung tiang

Q_s = Kapasitas tahanan kulit

f_s = Tahanan gesek satuan

f_b = Tahanan ujung satuan

A_b = Luas diujung tiang

A_s = Luas kulit tiang pancang

2.5.3 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) :

$$f_b = k_s \cdot f_s \dots\dots\dots (2.27)$$

$$q_b = k_b \cdot q_c \dots\dots\dots (2.28)$$

Dengan,

f_b = Tahanan selimut tiang (ton/m²)

f_s = Bacaan gesek selimut konus (ton/m²)

q_b = Tahanan ujung tiang (ton/m²)

$q_{c(\text{tip})}$ = Nilai q_c pada ujung tiang (ton/m²)

k_s dan k_b = Konstanta bergantung pada jenis tiang

Metode ini dikembangkan oleh Price & Wardle dengan acuan loading test. Besar simpangan pada metode ini amat besar yaitu 22,23% hingga 79,25% untuk daya dukung leimut tiang dan 31,34% hingga 78,22% untuk daya dukung tiang. Perhitungan pada gesekan selimut dan tahanan ujung tiap dipengaruhi 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 :

$$Q_u = Q_b + Q_s = q_b \cdot A_b + f_b \cdot A_s \dots \dots \dots (2.29)$$

Dengan,

Q_u = Kapasitas daya dukung aksial ultimit tiang pancang

Q_b = Kapasitas tahanan diujung tiang

Q_s = Kapasitas tahanan kulit

q_b = Kapasitas daya dukung diujung tiang persatuan luas

A_b = Luas diujung tiang

f_b = Satuan tahanan kulit persatuan luas

A_s = Luas kulit tiang pancang

2.5.4 Metode Aoki de Alencer

Aoki dan De Alencer mengusulkan untuk memperkirakan kapasitas daya dukung ‘ultimit’ dari data sondir. Kapasitas daya dukung persatuan luas (q_b)

diperoleh sebagai berikut (dalam jurnal Gunawan, 2014)

$$q_{ca}(\text{base}) F_b \dots \dots \dots (2.20)$$

Dengan,

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

Tahanan kulit persatuan luas (f) diprediksi sebagai berikut :

$$F = q_c(\text{side}) F_s \dots \dots \dots (2.21)$$

Dengan,

$Q_{ca}(\text{base})$ = 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.

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
Beton Pratekan	1,75	3,5

Sumber : Titi & Farsakh, 1999

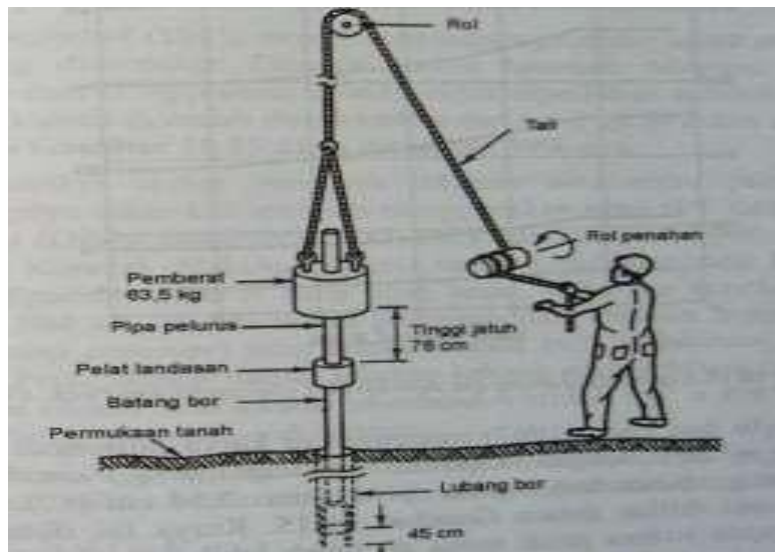
2.6 Penyelidikan Lapangan Dengan Standar Penetration Test (SPT)

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.



Gambar 2.12. Proses pengujian N-SP

Sumber : Hardiyanto, 2010

2.7 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga banyak dipergunakan untuk mendapatkan penyelesaian pendekatan dari masalah-masalah fisik, khususnya yang berhubungan dengan suatu kontinum. Sebagai contoh adalah masalah perambatan panas (*heat transfer*), mekanika fluida (*fluid mechanics*) dan mekanika benda padat (*solid mechanics*).

Metode elemen hingga ini mengkombinasikan beberapa konsep matematika untuk mendapatkan suatu sistem persamaan linear atau non linear.

Ada dua karakteristik dari metode ini yang membedakan dengan metode-metode numerik lainnya :

1. Metode ini menggunakan formulasi integral untuk mendapatkan sistem persamaan aljabar.
2. Metode ini menggunakan “*contonuous piecewise smooth function*” untuk mendekati parameter-parameter yang tidak diketahui.

Metode elemen hingga pada dasarnya dibagi menjadi lima langkah penyelesaian yaitu :

1. Diskritisasi daerah/kontinum yang ditinjau. Hal ini meliputi penentuan lokasi dan koordinat-koordinat serta penomoran dari titik-titik nodal (*node points*)
2. Tentukan persamaan interpolasi dan nyatakan persamaan ini didalam harga-harga dari titik-titik nodal yang tidak diketahui untuk tiap-tiap elemen.
3. Susun sistem persamaan untuk seluruh elemen dengan menggunakan metode galerkin atau metode energi potensial.

4. Selesaikan sistem persamaan ini untuk mendapatkan harga-harga parameter dari tiap titik nodal.
5. Hitung besaran-besaran yang akan di tentukan.

Besaran-besaran ini pada umumnya merupakan turunan dari parameter yaitu komponen-komponen tegangan, rambatan panans dan kecepatan aliran.

Karena jumlah persamaan pada umumnya adalah cukup besar, maka perhitungan dengan metode ini perlu dilakukan dengan menggunakan komputer. Metode elemen hingga menjadi tidak praktis jika tidak tersedia komputer dengan kemampuan yang cukup.

Metode elemen hingga mudah dipergunakan pada masalah-masalah kontinum dengan bentuk yang tidak teratur dan terdiri dari material yang berbeda. Metode ini dapat juga dipergunakan pada masalah “*study state*” dan “*time dependent*” serta untuk masalah-masalah dengan sifat material yang non linear.

Pada saat ini banyak paket-paket program metode elemen hingga tersedia untuk menyelesaikan masalah-masalah dua dimensi atau tiga dimensi. Untuk masalah dua dimensi, pada umumnya program-program tersebut menggunakan elemen hingga atau elemen segi empat atau generalisasi dari kedua elemen tersebut.

Pada bagian selanjutnya akan dibahas formulasi dari elemen segitiga dan segi empat yang bersifat linear serta penggunaan dari elemen-elemen untuk suatu masalah fisik.