

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan mempunyai peranan yang sangat penting dalam aktifitas bermasyarakat, berbangsa dan bernegara di berbagai bidang, sehingga perlu adanya perhatian khusus dalam pembangunan dan perawatannya. Jembatan gantung yang terletak di kawasan Dusun I Dolok Sagala ini merupakan akses utama dan satu-satunya yang menghubungkan Kelurahan lain dengan penduduk yang berada di Kelurahan Dolok Sagala, sehingga kerusakan yang terjadi pada jembatan ini sangat mengganggu aktivitas penduduk baik sosial budaya maupun akses perekonomian karena sebagian besar penduduk yang mendiami kelurahan Dolok Sagala menggantungkan ekonominya dari perdagangan dan buruh kebun / petani. Sebelum adanya pembangunan jembatan di kelurahan Dolok Sagala ini, masyarakat harus melewati jembatan yang ada di kelurahan lain. Hal tersebut membuat pertumbuhan ekonomi masyarakat menjadi stagnan atau tidak berkembang. Tata guna lahan disekitar jembatan gantung dolok sagala merupakan kawasan permukiman dan alur, dimana disisi kiri jembatan terdapat Perkebunan milik perseorangan / perusahaan, sedangkan disisi kanan hilir jembatan terdapat Perkebunan sawit / jenis lainnya milik warga. Setelah terbangunnya Jembatan Gantung ini, diharapkan potensi pertumbuhan ekonomi timbul akibat adanya akses yang menghubungkan antar masyarakat. Jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyilang

sungai/saluran air, lembah atau menyilang jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya. Dalam perencanaan dan perancangan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis dan estetika-arsitektural yang meliputi : aspek lalu lintas, aspek teknis, aspek estetika (*Supriyadi dan Muntohar, 2007*).

Perencanaan pondasi untuk jembatan didasarkan beberapa faktor misalnya jenis tanah, besarnya beban yang didukung, kondisi daerah sekitar, akses ke lapangan dan lain sebagainya. Lazimnya pondasi yang digunakan pada struktur jembatan adalah Pondasi dalam .Sebagai pendukung struktur atas, maka pemilihan jenis pondasi serta analisis daya dukungnya harus dilakukan dengan teliti dan cermat. Hal ini dikarenakan kekuatan pondasi sebagai pendukung struktur atas sangat mempengaruhi kekuatan berdirinya suatu jembatan. Salah satu bagian terpenting dalam struktur jembatan adalah pondasi. Pondasi merupakan bagian bangunan yang mempunyai fungsi untuk menerima beban dari bangunan atas jembatan dan kemudian meneruskannya ke *pile cap* , lalu *pile cap* meneruskan ke pondasi. Pondasi jembatan harus direncanakan dengan baik, oleh karena itu dibutuhkan analisa kapasitas dukung pondasi agar dapat mengetahui kapasitas dukung pondasi yang aman dan kuat terhadap beban-beban yang bekerja.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk menganalisa nilai kapasitas daya

dukung tiang pondasi bored pile pada proyek pembangunan jembatan gantung Kecamatan Dolok Masihul Kabupaten Deli Serdang.

Tujuan penulisan ini adalah:

1. Menganalisis nilai dari kapasitas daya dukung pondasi tiang *bored pile* tunggal menggunakan metode *Meyerhoff* berdasarkan data *Sondir Test* pada proyek Pembangunan Jembatan Gantung Kecamatan Dolok Masihul Kabupaten Serdang Bedagai.
2. Menganalisis nilai dari kapasitas daya dukung pondasi tiang *bored pile* kelompok menggunakan metode *Meyerhoff* berdasarkan data *Sondir Test* pada proyek Pembangunan Jembatan Gantung Kecamatan Dolok Masihul Kabupaten Serdang Bedagai.
3. Mengetahui perbandingan hasil perhitungan data lapangan metode *Schmertmen* dan hasil perhitungan penulis metode *Mayerhoff*.

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dibahas dalam penulisan tugas skripsi ini adalah:

1. Menghitung nilai kapasitas daya dukung pondasi tiang *bored pile* tunggal berdasarkan data *Sondir Test* dan SPT pada proyek Pembangunan Jembatan Gantung Kecamatan Dolok Masihul Kabupaten Serdang Bedagai.

2. Menghitung nilai kapasitas daya dukung pondasi *bored pile* kelompok berdasarkan data *Sondir Test* dan SPT pada proyek Pembangunan Jembatan Gantung Kecamatan Dolok Masihul Kabupaten Serdang Bedagai.
3. Mencari hasil nilai yang didapat dari data lapangan metode *Schmertmen* dan hasil analisis perhitungan dengan menggunakan metode *Mayerhoff*.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak terlalu luas tinjauannya, maka diperlukan adanya batasan-batasan masalah. Sebagai berikut :

1. Penelitian yang dilakukan pada proyek pembangunan jembatan gantung Dolok Masihul yaitu struktur bawah jembatan. Struktur bawah jembatan yang dianalisa adalah kapasitas dukung pondasi pada jembatan.
2. Data yang digunakan adalah hasil penyelidikan tanah berupa Sondir Test, Dan SPT dilokasi pada Proyek pembangunan jembatan gantung Dolok Sagala.
3. Metode yang dipergunakan oleh analisa ialah Metode *Schmertmen*, Metode *Mayerhoff* dan Metode *Converse-labarre* (Untuk Nilai Efisiensi Gaya Tiang).

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat antara lain:

1. Guna memberikan manfaat dan informasi secara lebih detail tentang kapasitas dukung pondasi pada jembatan.

2. Menjadi bahan referensi dalam menentukan jenis pondasi yang akan digunakan dalam sebuah bangunan konstruksi jembatan.
3. Menjadi bahan referensi bagi siapa saja yang membacanya khususnya bagi mahasiswa dan masyarakat yang menghadapi masalah yang sama.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah pembahasan setiap masalah, maka dibuat sistem pokok pembahasan yang ditentukan sebelumnya. Adapun urutan pokok permasalahan adalah sebagai berikut :

- BAB I** Membahas tentang latar belakang, tujuan pembahasan, serta batasan masalah dari pemilihan judul tugas akhir ini.
- BAB II** Merupakan bab yang menguraikan uraian dari beberapa teori yang diambil dari berbagai literatur yang relevan dari berbagai sumber bacaan yang mendukung analisa permasalahan yang berkaitan dengan tugas akhir ini.
- BAB III** Bab ini berisi tentang pendeksripsian dan langkah-langkah kerja serta tata cara yang akan dilakukan untuk mengerjakan tugas akhir ini yaitu lokasi penelitian, pengumpulan data, metode analisa data, dan pelaksanaan penelitian.
- BAB IV** Bab ini berisi membahas tentang hasil hasil yang di peroleh dari pengumpulan data-data

BAB V Bab ini berisi tentang kesimpulan dari analisa yang didapatkan dan memberika saran-saran yang diperlukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pondasi Dalam (*Deep Foundation*)

Pondasi dalam adalah pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah dasar atau tanah keras yang terletak jauh dari permukaan. Jika kedalaman pondasi dari muka tanah adalah lebih dari lima kali lebar pondasi ($D > 5B$) maka disebut pondasi dalam. Pondasi dalam di gunakan apabila meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak jauh dari permukaan.

Menurut Dr.ir.L.D.Wesley dalam bukunya Mekanika Tanah 1, pondasi dalam seringkali diidentikkan sebagai pondasi tiang yaitu suatu struktur pondasi yang mampu menahan gaya Orthogonal ke sumbu tiang dengan menyerap lenturan. Pondasi tiang di buat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang yang terdapat dibawah konstruksi dengan tumpuan pondasi. Contoh dari pondasi dalam antara lain : Pondasi Caissons (Bore) , Tiang Pancang, dll.

a. Pondasi Caissons (*Bore Pile*)

Pondasi Caissons (*Bore pile*): merupakan jenis pondasi dalam yang metode pengerjaannya diawali dengan pengeboran tanah sesuai dengan diameter tiang beton yang direncanakan. Selanjutnya, besi tulangan yang sudah disusun kemudian dimasukkan kedalam lubang tersebut dan dilakukan pengecoran ditempat (*cast in situ*). Salah satu yang perlu diperhatikan di sini adalah menjaga kualitas mutu beton yang langsung dicor didalam tanah.

Apabila tanah mengandung air, maka dibutuhkan pipa besi atau yang biasa disebut dengan temporary casing untuk menahan dinding lubang agar tidak terjadi kelongsoran, dan pipa ini akan dikeluarkan pada waktu pengecoran beton. Ada beberapa keuntungan dalam pemakaian pondasi bored pile jika dibandingkan dengan tiang pancang, yaitu:

1. Pemasangan tidak menimbulkan gangguan suara dan getaran yang membahayakan bangunan sekitarnya.
2. Mengurangi kebutuhan beton dan tulangan dowel pada pelat penutup tiang (*Pile Cap*). Kolom dapat secara langsung diletakkan di puncak bored pile.
3. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
4. Tanah dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium.
5. *Bored Pile* dapat dipasang menembus batuan, sedang tiang pancang akan kesulitan bila pemancangan menembus lapisan batuan.
6. Diameter tiang memungkinkan dibuat besar, bila perlu ujung bawah tiang dapat dibuat lebih besar guna mempertinggi kapasitas dukungnya.

Kerugian menggunakan pondasi *Bored Pile*, yaitu:

1. Pengecoran *Bored Pile* dipengaruhi kondisi cuaca.
2. Pengecoran beton agak sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik.
3. Mutu beton hasil pengecoran bila tidak terjamin keseragamannya di sepanjang

badan *Bored Pile* mengurangi kapasitas dukung *Bored Pile*, terutama bila *Bored Pile* cukup dalam.

4. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah yang berkerikil.
5. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tiang.
6. Akan terjadi tanah runtuh jika tindakan pencegahan tidak dilakukan, maka dipasang temporary casing untuk mencegah terjadinya kelongsoran.

2.2 Pondasi Tiang Pancang (*Pile Foundation*)

Tiang Pancang (*Pile Foundation*) adalah bagian dari suatu konstruksi pondasi yang terbuat dari kayu, beton dan baja yang berbentuk langsing yang dipancang hingga tertanam dalam tanah pada kedalaman tertentu berfungsi untuk menyalurkan atau mentransmisikan beban dari struktur atas melewati tanah lunak ke lapisan tanah yang keras.

Pondasi tiang digunakan untuk beberapa maksud, 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 bangunan mampu memberikan dukungan yang cukup untuk mendukung beban tersebut oleh gesekan dinding tiang dengan tanah disekitarnya.

3. Untuk mengangker bangunan yang dipengaruhi oleh gaya angkat ke atas akibat tekanan hidrostatis atau momen penggulingan; (Hardiyatmo, 2002).

Pada kasus ini pondasi tiang pancang yang digunakan adalah Tiang pancang beton (*Precast Reinforced Concrete Pile*) adalah tiang pancang dari beton bertulang yang dicetak dan dicor dalam acuan beton kemudian setelah cukup kuat lalu diangkat dan di pancangkan.

2.3 Jenis-Jenis Tiang Pancang

Pondasi tiang dapat dibagi menjadi 3 kategori, sebagai berikut:

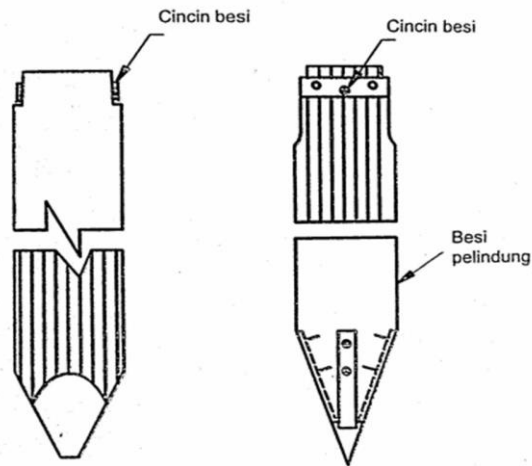
1. Tiang perpindahan besar (*large Displacement Pile*), yaitu tiang pejal atau berlubang dengan ujung tertutup yang dipancang ke dalam tanah sehingga volume tanah yang relatif besar. Termasuk dalam tiang perpindahan besar adalah tiang kayu, tiang beton pejal, tiang beton prategang (pejal atau berlubang), 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, tiang ulir.
3. Tiang tanpa perpindahan (*Non Displacement Pile*) terdiri dari tiang yang dipasang 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 pengeboran tanah (pipa baja diletakkan dalam lubang dan dicor beton).

2.3.1 Tiang Pancang Kayu

Tiang kayu adalah tiang yang dibuat dari kayu, umumnya berdiameter antara 10-25 cm. Tiang kayu cerucuk, yang banyak dipakai di Indonesia untuk perbaikan kapasitas dukung tanah lunak berdiameter antara 8–10 cm dan panjang 4m.

Tiang kayu lebih murah dan mudah penanganannya, permukaan tiang dapat dilindungi ataupun tidak dilindungi tergantung dari kondisi tanah. Tiang kayu ini dapat mengalami pembusukan atau rusak akibat dimakan serangga. Tiang kayu yang selalu terendam air biasanya lebih awet. Untuk menghindari kerusakan pada waktu pemancangan ujung tiang dilindungi dengan sepatu dari besi. Beban maksimum yang dapat dipikul oleh tiang kayu tunggal dapat mencapai 270 – 300 kN (Hardiyatmo, Analisis dan Perancangan Fondasi II, 2015).



Gambar 2.1 Tiang kayu
(Sumber: Hardiyatmo, 2015)

Keuntungan pemakaian tiang pancang kayu antara lain:

Tiang pancang relatif ringan sehingga mudah dalam transport.

1. Kekuatan tarik besar sehingga pada waktu pengangkatan untuk perancangan tidak menimbulkan kesulitan seperti misalnya pada tiang pancang beton precast.
2. Mudah untuk pemotongannya apabila tiang kayu ini sudah tidak dapat masuk lagi ke dalam tanah.
3. Tiang pancang kayu lebih sesuai dan baik untuk friction pile daripada untuk end bearing pile sebab tegangan tekanannya relatif kecil.
4. Relatif flexible dan lenting terhadap arah terhadap horinzontal dibanding dengan tiang-tiang pancang selain dari kayu, maka apabila tiang ini menerima beban horizontal yang tidak tetap, tiang pancang kayu ini akan

melentur dan segera kembali ke posisi setelah beban horizontal tersebut hilang.

5. Kekuatan tarik besar sehingga pada waktu pengangkatan untuk perancangan tidak menimbulkan kesulitan seperti misalnya pada tiang pancang beton precast.
6. Mudah untuk pemotongannya apabila tiang kayu ini sudah tidak dapat masuk lagi ke dalam tanah.
7. Tiang pancang kayu lebih sesuai dan baik untuk friction pile daripada untuk end bearing pile sebab tegangan tekanannya relatif kecil.
8. Relatif flexible dan lenting terhadap arah terhadap horinzontal dibanding dengan tiang-tiang pancang selain dari kayu, maka apabila tiang ini menerima beban horizontal yang tidak tetap, tiang pancang kayu ini akan melentur dan segera kembali ke posisi setelah beban horizontal tersebut hilang.

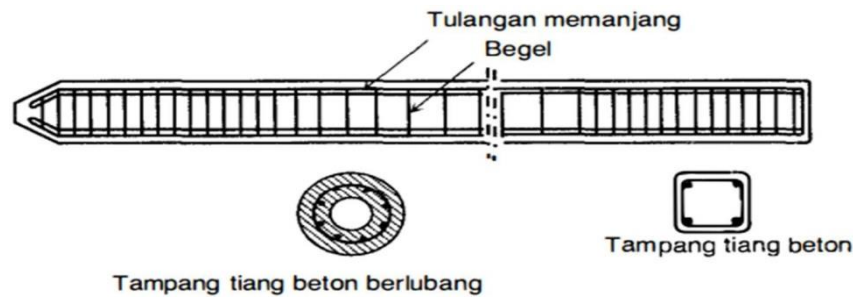
Kerugian pemakaian tiang pancang kayu antara lain:

1. Harus selalu terletak di bawah muka air tanah yang terendah agar dapat tahan lama, maka kalau air tanah yang terendah tersebut letaknya sangat dalam.
2. Mempunyai umur yang relatif kecil dibandingkan dengan tiang pancang yang dibuat dari baja atau beton, terutama pada daerah yang tinggi air tanahnya sering naik dan turun.
3. Pada waktu pemancangan pada tanah yang berbatu untuk tiang pancang kayu ini dapat berbentuk sapu atau dapat pula ujung tiang tersebut merenyuk

(Bowles, 1984).

2.3.2 Tiang Beton Pracetak

Tiang pancang beton precast adalah tiang dari beton yang dicetak di suatu tempat dan kemudian diangkut ke lokasi rencana bangunan. Ukuran diameter yang biasanya dipakai untuk tiang yang tidak berlubang di antara 20 sampai 60 cm. Untuk tiang yang berlubang, diameternya dapat mencapai 140 cm. Panjang tiang beton pracetak biasanya bersekitar diantara 20 sampai 40 m. Untuk tiang beton berlubang bisa sampai 60 m. Beban maksimum untuk tiang ukuran kecil berkisar di antara 300 sampai 800 kN (Hardiyatmo, Analisis dan Perancangan Fondasi II, 2015).



Gambar 2.2 Tiang beton pracetak

(Sumber: Hardiyatmo, 2015)

Keuntungan pemakaian tiang pancang pracetak, antara lain:

1. Bahan tiang dapat diperiksa sebelum pemancangan.
2. Prosedur pelaksanaan tidak dipengaruhi oleh air tanah.
3. Tiang dapat dipancang sampai kedalaman yang dalam.
4. Pemancangan tiang dapat menambah kepadatan tanah granuler.

Kerugian pemakaian tiang pancang pracetak, antara lain:

1. Pengembungan permukaan tanah dan gangguan tana akibat pemancangan dapat menimbulkan masalah.
2. Kepala tiang kadang-kadang pecah akibat pemancangan.
3. Pemancangan sulit, bila diameter tiang terlalu besar.
4. Pemancangan menimbulkan gangguan suara, getaran dan dformasi tana yang dapat menimbulkan kerusakan bangunan di sekitarnya.
5. Banyaknya tulangan dipengaruhi oleh tegangan yang terjadi pada waktu pengangkutan dan pemancangan tiang.
6. Kekuatan tarik besar sehingga pada waktu pengangkatan untuk perancangan tidak menimbulkan kesulitan seperti misalnya pada tiang pancang beton precast.
7. Mudah untuk pemotongannya apabila tiang kayu ini sudah tidak dapat masuk lagi ke dalam tanah.
8. Tiang pancang kayu lebih sesuai dan baik untuk friction pile daripada untuk end bearing pile sebab tegangan tekanannya relatif kecil.
9. Relatif flexible dan lenting terhadap arah terhadap horinzontal dibanding dengan tiang-tiang pancang selain dari kayu, maka apabila tiang ini menerima beban horizontal yang tidak tetap, tiang pancang kayu ini akan melentur dan segera kembali ke posisi setelah beban horizontal tersebut hilang.

Kerugian pemakaian tiang pancang kayu antara lain:

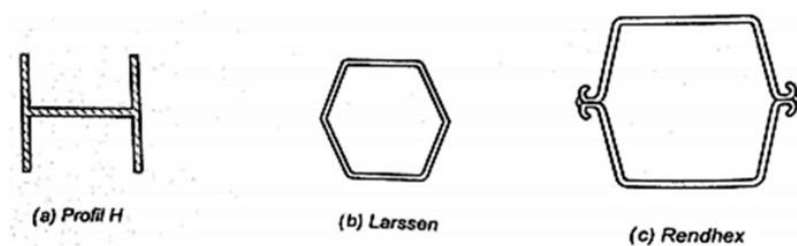
1. Harus selalu terletak di bawah muka air tanah yang terendah agar dapat tahan

lama, maka kalau air tanah yang terendah tersebut letaknya sangat dalam.

2. Mempunyai umur yang relatif kecil dibandingkan dengan tiang pancang yang dibuat dari baja atau beton, terutama pada daerah yang tinggi air tanahnya sering naik dan turun.
3. Pada waktu pemancangan pada tanah yang berbatu untuk tiang pancang kayu ini dapat berbentuk sapu atau dapat pula ujung tiang tersebut merenyuk (Bowles, 1984).

2.3.3 Tiang Pancang Baja (*Steel Pile*)

Tiang pancang baja digunakan untuk bangunan permanen maupun semi permanen. Type ini dicor ditempat dengan dibuatkan lubang terlebih dahulu dalam tanah dengan cara mengebor tanah seperti pada waktu penyeidikan tanah. Tiang baja profil termasuk tiang pancang, dengan bahan yang dibuat dari baja profil. Tiang ini mudah penanganannya dan dapat mendukung beban pukulan yang besar waktu dipancang pada lapisan yang keras. Tiang baja profil H, empat persegi panjang, segi enam dan lain-lainnya (Hardiyatmo, Analisis dan Perancangan Fondasi II, 2015).



Gambar 2.3 Tampang melintang tiang baja profil
(Sumber: Hardiyatmo, 2015)

Tiang pancang baja mempunyai potensi kerawanan terhadap korosi. Berkaitan hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian sebelumnya pada bagian mana yang mungkin terjadi korosi. Untuk menghindarinya ruas-ruas yang mungkin terkena korosi harus dilindungi dengan pengecatan menggunakan lapisan pelindung yang telah disetujui dan atau digunakan loam yang lebih tebal. Apabila tiang dipancang pada tanah asli yang kadar oksigennya rendah, maka umur tiang bisa tahan lama.

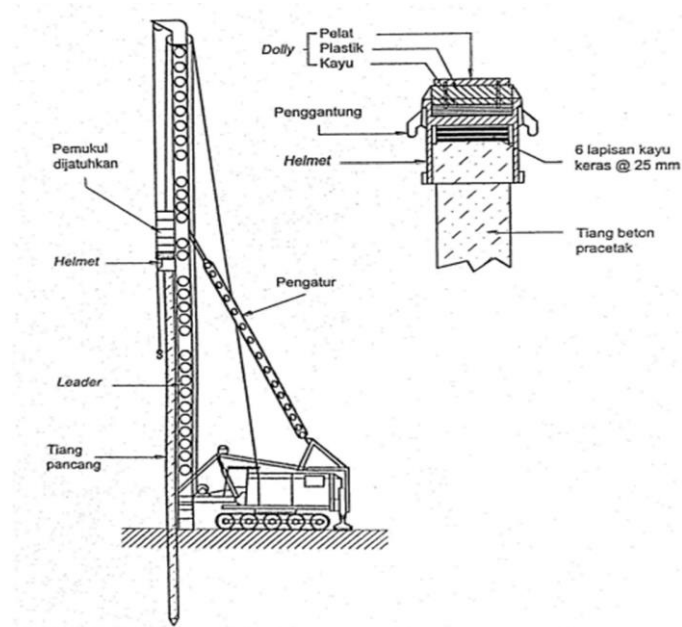
2.4 Alat Pancang Tiang

Pemasangan tiang ke dalam tanah, tiang dipancang dengan alat pemukul yang dapat berupa pemukul (*Hammer*) mesin uap, pemukul getar atau pemukul yang hanya dijatuhkan. Tiang dan pemukul dipasang pada peralatan *Crane* yang dilengkapi dengan rangka batang baja sebagai pengatur jatuhnya pemukul ke kepala tiang yang disebut *Lead*.

Elemen – elemen penting dalam sistem pemancangan adalah: *Lead*, *Anvil*, topi (*Helmet*), *Ram* dan untuk tiang beton, bantalan tiang (*Pile Cushion*). Berikut ini penjelasan masing – masing elemen (Gambar 2.4).

1. *Lead* adalah rangka baja dengan dua bagian paralel sebagai pengatur tiang agar pada saat tiang dipancang arahnya benar. Jadi *Leader* berfungsi agar jatuhnya pemukul tetap terpusat pada sistem tiang.
2. *Anvil* adalah bagian yang teletak pada dasar pemukul yang menerima benturan dari *Ram* dan terletak pada dasar pemukul yang menerima benturan dari *Ram* dan mentransfernya ke kepala tiang.

3. Topi (*Helmet*) atau *Drive Cap* (penutup pancang) adalah bahan yang dibuat dari baja cor yang diletakkan di atas tiang untuk mencegah tiang dari kerusakan saat pemancangan dan untuk menjaga agar as tiang sama dengan as pemukul.
4. Bantalan (*Cushion*) dibuat dari kayu keras atau bahan lain yang ditempatkan di antara penutup tiang (*Pile Cap*) dan puncak tiang untuk melindungi kepala tiang dari kerusakan. Bantalan juga menjaga agar energi per pukulan seragam.
5. *Ram* adalah bagian pemukul yang bergerak ke atas dan ke bawah yang terdiri dari piston dan kepala penggerak (*Driving Head*) (Hardiyatmo, Analisis dan Perancangan Fondasi II, 2015).



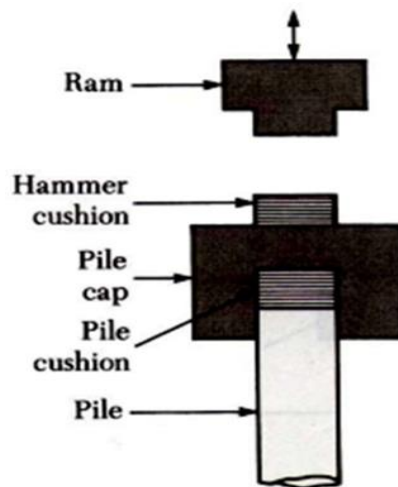
Gambar 2.4. Alat pancang

(Sumber: Hardiyatmo, 2015)

2.4.1 Pemukul Jatuh (*drop hammer*)

Menurut Sardjono (1988), menyatakan bahwa prinsip kerjanya *Drop Hammer* ditarik ke atas dengan kabel dan kerekan sampai mencapai tinggi jatuh tertentu, kemudian pemukul tersebut jatuh bebas menimpa kepala tiang pancang. Alat pancang ini bekerjanya sangat lambat jika dibandingkan dengan alat-alat pancang lainnya dan jarang dipergunakan dalam pembangunan konstruksi berat dan modern.

Pemukul jatuh terdiri dari blok pemberat yang dijatuhkan dari atas. Pemberat ditarik dengan tinggi jatuh tertentu kemudian dilepas dan meenumbuk tiang. Pemakaian alat tipe ini membuat pelaksanaan pemancangan berjalan lambat, sehingga alat ini hanya dipakai pada volume pekerjaan pemancangan yang kecil (Hardiyatmo, Analisis dan Perancangan Fondasi II, 2015).



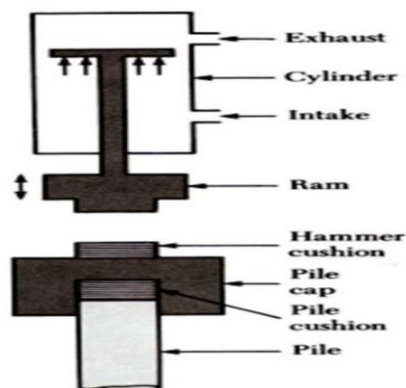
Gambar 2.5. Pemukul jatuh (*Drop Hammer*)

(Sumber: Rauf, 2012)

2.4.2 Pemukul Aksi Tunggal (*Single Acting Hammer*)

Pemukul aksi tunggal berbentuk memanjang dengan ram yang bergerak naik oleh udara atau uap yang terkompresi, sedangkan gerakan turun *Ram* disebabkan oleh beratnya sendiri.

Uap atau tekanan udara digunakan untuk mengangkat balok besi panjang sampai ketinggian yang diperlukan. Balok besi panjang tersebut kemudian jatuh karena gravitasi ke dalam landasan, yang mentransmisikan energi tumbukan ke blok sungkup, dan kemudian ke tiang pancang. Panjang palu haruslah sesuai dengan kecepatan tumbukan, yang tidak sesuai akan memberikan energi pendorong yang kecil (Bowles, Analisis dan Desain Pondasi Jilid I, 1984). Berat dari hammer berkisar dari 22 samapi 2669 kN (5 sampai 600 kips) dan menghasilkan tenaga dari 20 sampai 2500 kN (15 sampai 1670 kip/ft). Namun, pukulan itu relatif lambat dengan sebagian besar energi yang berasal dari massa ram, dengan kecepatan 50 sampai 80 pukulan per menit (Rauf, 2012).

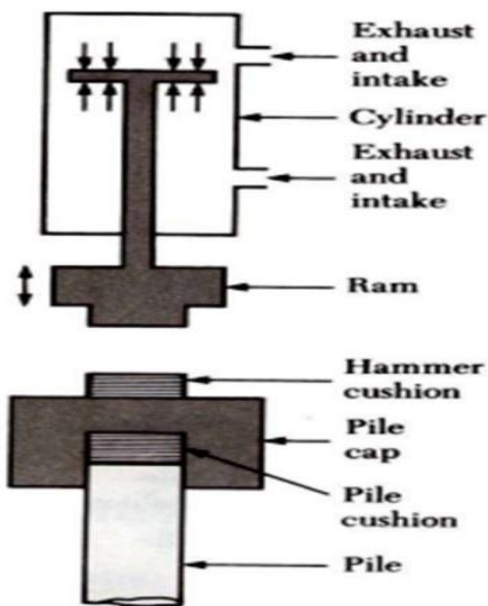


Gambar 2.6. Pemukul aksi tunggal (*single acting hammer*)
(Sumber: Rauf, 2012)

2.4.3 Pemukul Aksi Double (*Double Acting Hammer*)

Pemukul aksi dobel menggunakan uap atau udara untuk mengangkat *Ram* dan untuk mempercepat gerakan ke bawahnya (Gambar 2.14). Kecepatan pukulan dan energi *Output* biasanya lebih tinggi daripada pemukul aksi tunggal (Hardiyatmo, Analisis dan Perancangan Fondasi II, 2015).

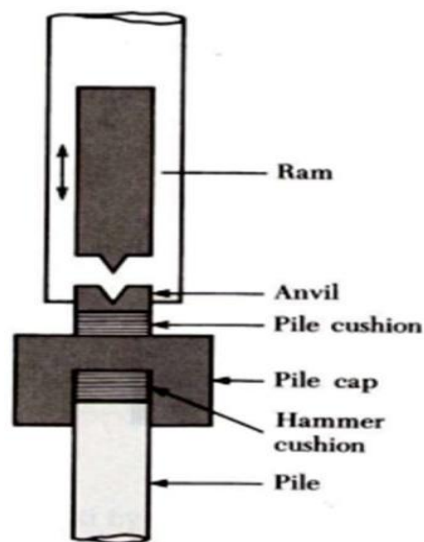
Menurut Sardjono (1988), menyatakan bahwa prinsip kerjanya hammer diangkat ke atas dengan tenaga uap sampai mencapai tinggi jatuh tertentu, kemudian penumbuk (*Hammer*) tersebut ditekan ke bawah dengan tenaga uap pula. Jadi di sini hammer jatuh dengan kecepatan yang lebih besar daripada Single Acting Hammer dan Drop Hammer.



Gambar 2.7. Pemukul aksi dobel (*Double Acting Hammer*)
(Sumber: Rauf, 2012)

2.4.4 Pemukul Diesel (*Diesel Hammer*)

Pemukul diesel terdiri dari silinder, *Ram*, blok *Anvil* dan sistem injeksi bahan bakar. Pemukul tipe ini umumnya kecil, ringan dan digerakkan dengan bahan bakar minyak (Gambar 2.15). Energi pemancangan total yang dihasilkan adalah jumlah benturan dari *ram* ditambah energi hasil dari ledakan (Hardiyatmo, Analisis dan Perancangan Fondasi II, 2015).

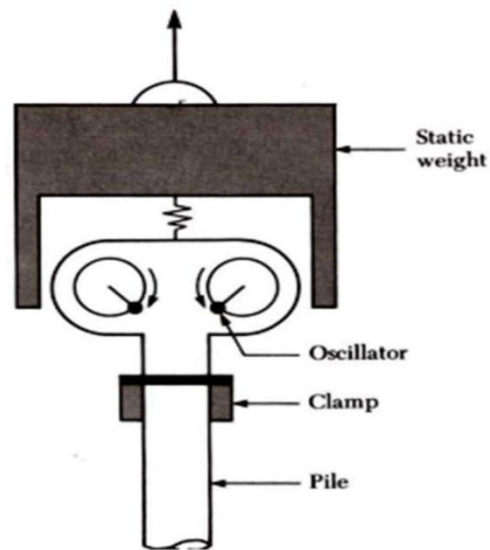


Gambar 2.8. Pemukul diesel (*diesel hammer*)
(Sumber: Rauf, 2012)

2.4.5 Pemukul Getar (*Vibratory Hammer*)

Pemukul getar merupakan unit alat pancang yang bergetar pada frekuensi tinggi (Gambar 2.16). Estimasi kapasitas dukung tiang umumnya didasarkan pada jumlah pukulan yang dibutuhkan yang memancang tiang pada penetrasi yang ditentukan.

Kehilangan energi akan terjadi, bila sistem pemukul tidak lurus, tebal bantalan terlalu berlebih, dan lain-lain. Semakin tinggi hilangnya energi pemukulan, semakin besar jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk penetrasi tiang. Tingginya jumlah pukulan ini dapat menyesatkan dalam penentuan kedalaman tiang pancang yang memenuhi syarat kapasitas dukung (Hardiyatmo, Analisis dan Perancangan Fondasi II, 2015).



Gambar 2.9. Pemukul getar (*Vibratory Hammer*)
(Sumber: Rauf, 2012)

2.5 Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang (*Pile Foundation*)

Banyak metode yang dapat digunakan untuk menghitung daya dukung pondasi, diantaranya dengan menggunakan data lapangan dari data sondir dan data SPT .

2.5.1 Berdasarkan Data Sondir

Kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang dengan data Sondir metode *Meyerhoff*. Metode Langsung ini dikemukakan oleh beberapa ahli diantaranya : Meyerhoff, Tomlinson, Begemann. Daya dukung pondasi tiang dinyatakan dalam rumus sebagai berikut:

- Hambatan lekat (HL) dihitung dengan rumus :

$$HL = (JP - PK) / AB \dots\dots\dots (2.1)$$

- Jumlah hambatan lekat (JHL) :

$$JHL_i = \sum_{i=0} HL \dots\dots\dots (2.2)$$

- Daya dukung pondasi tiang dinyatakan dalam rumus sebagai berikut :

$$Qu = qc \times Ap + JHL \times Kt \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

PK = Perlawanan penetrasi konus (qc)

JP = Jlh perlawanan (perlawanan ujung konus + selimut)

A = Interval pembacaan = 20 cm

B = Faktor alat = luas konus = 10 cm

I = Kedalaman lapisan yang ditinjau

Qu = Kapasitas daya dukung tiang (kg)

QIjin = Kapasitas daya dukung ijin (kg)

qc = Tahanan ujung Sondir (kg/cm²)

JHL = Jumlah hambatan lekat (kg/cm)

K_t = Keliling tiang (cm),

A_p = Luas penampang tiang (cm²),

2.6 Metode Pelaksanaan Tiang Pancang

Pemancangan tiang pancang adalah usaha yang dilakukan untuk menempatkan tiang pancang di dalam tanah sehingga berfungsi sesuai perencanaan pada umumnya pelaksanaan pemancangan dapat dibagi dalam tiga tahap yaitu :

1. Pekerjaan Persiapan.

Berikut langkah-langkah untuk memulai persiapan pengerjaan pada lokasi proyek:

- a. Membuat tanda, tiap tiang pancang harus diberi tanda serta tanggal saat tiang tersebut dicor. Titik-titik angkat yang tercantum pada gambar harus dibubuhi tanda dengan jelas pada tiang pancang. Untuk mempermudah pekerjaan, maka tiang pancang diberi tanda setiap 1 meter.
- b. Pengangkatan/pemindahan, tiang pancang harus dipindahkan/diangkat dengan hati-hati sekali guna menghindari retak maupun kerusakan lain yang tidak diinginkan.
- c. Rencanakan final set tiang, untuk menentukan pada kedalaman mana pemancangan tiang dapat dihentikan, berdasarkan data tanah dan data jumlah pukulan terakhir (final set).
- d. Rencanakan urutan pemancangan, dengan pertimbangan kemudahan manuver alat.
- e. Tentukan titik pancang dengan theodolith dan tandai dengan patok.

- f. Pemancangan dapat dihentikan sementara untuk penyambungan batang berikutnya bila level kepala tiang telah mencapai level muka tanah sedangkan level tanah keras yang diharapkan belum tercapai.

2. Proses Penyambungan Tiang :

- a. Tiang diangkat dan kepala tiang dipasang pada helmet seperti yang dilakukan pada batang pertama.
- b. Ujung bawah tiang didudukkan di atas kepala tiang yang pertama sedemikian sehingga sisi-sisi pelat sambung kedua tiang telah berhimpit dan menempel menjadi satu.
- c. Penyambungan sambungan las dilapisi dengan anti karat.
- d. Tempat sambungan las dilapisi dengan anti karat.
- e. Selesai penyambungan, pemancangan dapat dilanjutkan seperti yang dilakukan pada batang pertama. Penyambungan dapat diulangi sampai mencapai kedalaman tanah keras yang ditentukan.
- f. Pemancangan tiang dapat dihentikan bila ujung bawah tiang telah mencapai lapisan tanah keras/final set yang ditentukan.
- g. Pemotongan tiang pancang pada cut off level yang telah ditentukan.

3. Pekerjaan Pengangkatan.

- a. Pengangkatan tiang untuk disusun (dengan dua tumpuan) Metode pengangkatan dengan dua tumpuan ini biasanya pada saat penyusunan tiang beton, baik itu dari pabrik ke trailer ataupun dari trailer ke

penyusunan lapangan. Persyaratan umum dari metode ini adalah jarak titik angkat dari kepala tiang adalah $1/5 L$.

- b. Pengangkatan dengan Satu Tumpuan Metode pengangkatan ini biasanya digunakan pada saat tiang sudah siap akan dipancang oleh mesin pemancangan sesuai dengan titik pemancangan yang telah ditentukan di lapangan. Adapun persyaratan utama dari metode 22 pengangkatan satu tumpuan ini adalah jarak antara kepala tiang dengan titik anker berjarak $L/3$.

4. Proses Pemancangan

- a. Alat pancang ditempatkan sedemikian rupa sehingga as hammer jatuh pada patok titik pancang yang telah ditentukan.
- b. Tiang diangkat pada titik angkat yang telah disediakan pada setiap lubang. Tiang didirikan disamping driving lead dan kepala tiang dipasang pada helmet yang telah dilapisi kayu sebagai pelindung dan pegangan kepala tiang.
- c. Ujung bawah tiang didudukkan secara cermat di atas patok pancang yang telah ditentukan.
- d. Penyetelan vertikal tiang dilakukan dengan mengatur panjang backstay sambil diperiksa dengan waterpass sehingga diperoleh posisi yang betul-betul vertikal. Sebelum pemancangan dimulai, bagian bawah tiang diklem dengan center gate pada dasar driving lead agar posisi tiang tidak bergeser

selama pemancangan, terutama untuk tiang batang pertama.

- e. Pemancangan dimulai dengan mengangkat dan menjatuhkan hammer secara kontiniu ke atas helmet yang terpasang di atas kepala tiang.

2.6.1 Berdasarkan Data SPT

Untuk menghitung daya dukung tiang pancang dari nilai “N” hasil pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) tiang pancang dipakai persamaan “*Mayerhoff*” sebagai berikut :

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots\dots\dots (2.4)$$

Daya dukung ijin pondasi tiang dinyatakan dalam rumus sebagai berikut :

$$Q_p = 40.N_r .A_p \dots\dots\dots (2.5)$$

$$Q_s = (A_s . N_k) / 5 \dots\dots\dots (2.6)$$

$$A_s = A_k . L_i \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

Q_u = Daya Dukung Ultimate Tiang Pancang (ton)

Q_i = Daya Dukung Ijin tiang pancang (ton)

N_r = Nilai “N” rata-rata 4 D keatas dan D kebawah

D = Diameter Tiang

A_p = Luas Penampang Tiang Pancang (cm^2)

A_s = Luas Permukaan / sisi tiang yang tertanam

N_k = Nilai N rata-rata sepanjang tiang yang tertanam

Ak = Keliling tiang pancang (cm)

Li = Panjang Tiang yang tertanam didalam tanah

FK₁ = Faktor keamanan daya dukung ujung Tiang (dipakai 3)

FK₂ = Faktor keamanan daya dukung ujung Tiang (dipakai 5)

2.7 Tiang Pancang Kelompok (*Pile Foundation Group*)

Pada keadaan sebenarnya jarang sekali didapatkan tiang bor yang berdiri sendiri (*Single Pile*), akan tetapi kita sering mendapatkan pondasi tiang dalam bentuk kelompok (*Pile Group*). Kapasitas kelompok tiang tidak selalu sama dengan jumlah kapasitas tiang tunggal yang berada dalam kelompoknya. Hal ini terjadi jika tiang dipancang dalam lapisan pendukung yang mudah mampat atau dipancang pada lapisan tanah yang tidak mudah mampat, namun dibawahnya terdapat lapisan lunak.

Dalam kondisi tersebut, stabilitas kelompok tiang tergantung dari dua hal, yaitu:

1. Kapasitas dukung tanah di sekitar dan di bawah kelompok tiang dalam mendukung beban total struktur.
2. Pengaruh penurunan konsolidasi tanah yang terletak di bawah kelompok tiang.
3. Kapasitas dukung tanah di sekitar dan di bawah kelompok tiang dalam mendukung beban total struktur.
4. Pengaruh penurunan konsolidasi tanah yang terletak di bawah kelompok tiang.

Pondasi ini adalah sekumpulan tiang yang dipasang secara relatif berdekatan dan biasanya diikat menjadi satu dibagian atasnya dengan menggunakan *Pile Cap*. Untuk menghitung nilai kapasitas dukung kelompok tiang, ada beberapa hal yang

harus diperhatikan terlebih dahulu, yaitu jumlah tiang dalam satu kelompok, jarak tiang, susunan tiang dan efisiensi kelompok tiang.

A. Jumlah Tiang (n)

Untuk menentukan jumlah tiang yang akan dipasang didasarkan beban yang bekerja pada fondasi dan kapasitas dukung ijin tiang, maka rumus yang dipakai adalah sebagai berikut ini.

$$N = P/Q_a \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan :

P = Beban yang berkerja

Q_a = Kapasitas dukung ijin tiang tunggal

B. Jarak Tiang (S)

Untuk bekerja sebagai kelompok tiang, jarak antar tiang yang dipakai adalah menurut peraturan – peraturan bangunan pada daerah masing–masing. Menurut *K. Basah Suryolelono (1994)*, pada prinsipnya jarak tiang (S) makin rapat, ukuran *Pile Cap* makin kecil dan secara tidak langsung biaya lebih murah. Tetapi bila pondasi memikul beban momen maka jarak tiang perlu diperbesar yang berarti menambah atau memperbesar tahanan momen.

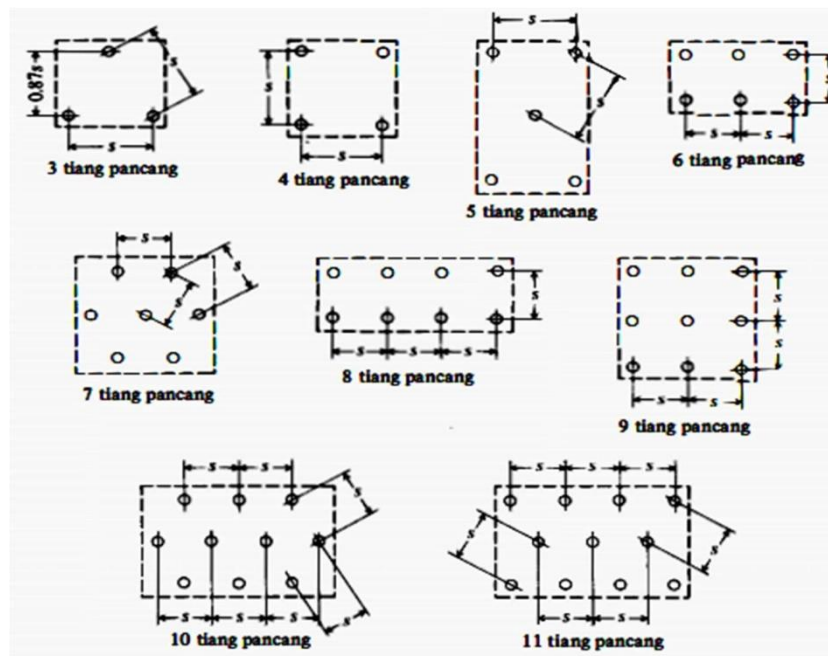
Jarak tiang biasanya dipakai bila:

- a. ujung tiang tidak mencapai tanah keras maka jarak tiang minimum ≥ 2 kali diameter tiang atau 2 kali diagonal tampang tiang.
- b. ujung tiang mencapai tanah keras, maka jarak tiang minimum \geq diameter tiang

ditambah 30 cm atau panjang diagonal tiang ditambah 30 cm.

C. Susunan Tiang

Susunan tiang sangat berpengaruh terhadap luas denah *pile cap*, yang secara tidak langsung tergantung dari jarak tiang. Bila jarak tiang kurang teratur atau terlalu lebar, maka luas denah *pile cap* akan bertambah besar dan berakibat volume beton menjadi bertambah besar sehingga biaya konstruksi membengkak (*K. Basah Suryolelono, 1994.*)



Gambar 2.10 Tiang Pancang Kelompok (*group pile*)

(Sumber : *K.basah Suryolelono,1994*)

2.8 Efisiensi Tiang

Besarnya kapasitas dukung total menjadi tereduksi dengan nilai reduksi yang tergantung dari ukuran, bentuk kelompok, jarak, dan panjang tiangnya. Nilai pengali

terhadap kapasitas dukung ultimit tiang tunggal dengan memperhatikan pengaruh kelompok tiang, disebut *efisiensi tiang* (E_g).

Menurut Coduro (1994), *efisiensi tiang* (E_g) bergantung pada beberapa faktor, antara lain:

1. Jumlah, panjang, diameter, susunan dan jarak tiang.
2. Model transfer beban (tahanan gesek terhadap tahanan dukung ujung).
3. Prosedur pelaksanaan pemasangan tiang.
4. Urutan pemasangan tiang.
5. Macam tanah.
6. Waktu setelah pemancangan tiang.
7. Interaksi antara pelat penutup tiang (*pile cap*) dengan tanah.
8. Arah dari beban yang bekerja.

2.9 Kapasitas Daya Dukung Ijin Tiang Pancang Kelompok

Kapasitas daya dukung tiang pancang kelompok dapat ditentukan dengan persamaan *Converse-Labarre* berikut :

$$Q_{ijin \text{ Kelompok}} = Eff \times Q_{ijin \text{ Tunggal}} \times n \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan :

n = Jumlah tiang kelompok

Q_{ijin} = Kapasitas dukung ijin tiang tunggal (dipakai nilai terkecil)

Eff = Efisiensi kelompok tiang

2.10 Faktor Keamanan

Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka kapasitas ultimit tiang dibagi dengan faktor aman tertentu. Tabel 2.3 menunjukkan faktor keamanan yang disarankan oleh *Reese dan O'Neill*.

Tabel 2.1 Faktor Aman Yang Disarankan oleh *Reese dan O'Neill*

Klarifikasi Struktur	Faktor Aman			
	Kontrol Baik	Kontrol Normal	Kontrol Jelek	Kontrol Sangat Jelek
Monumental	2,3	3	3,5	3,8
Permanen	3	2,3	2,8	4-5
Sementara	1,4	2,0	2,3	2,8

(Sumber : *Reese and O'Neill*)

2.11 Faktor Keamanan

Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka kapasitas ultimit tiang dibagi dengan faktor aman tertentu. Tabel 2.1 menunjukkan faktor keamanan yang disarankan oleh *Reese dan O'Neill*.