

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Tanah

Menurut Budi, S. (2011) dalam bukunya yang berjudul pondasi dangkal, “Karl Von Tersaghi memberikan definisi tentang tanah, yang dapat didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak terikat secara kimia satu sama lain, yang di dalamnya terdapat rongga-rongga yang diisi oleh zat cair dan udara dan berfungsi sebagai pendukung pondasi bangunan dan juga sebagai bahan bangunan itu sendiri”.

2.1.1 Tanah Kohesif dan Tidak Kohesif

Tanah disebut kohesif yaitu apabila karakteristik fisiknya yang selalu melekat antara butiran tanah sewaktu pembasahan dan pengeringan. Butiran butiran tanah bersatu selamanya, sehingga sesuatu gaya akan diperlukan untuk memisahkannya dalam keadaan kering. Sedangkan pada tanah non kohesif butiran tanah terpisah – pisah sesudah dikeringkan dan melekat hanya apabila berada dalam keadaan basah akibat gaya tarik permukaan di dalam air misalnya pasir.

Pamungkas dan Harianti (2013) menyatakan bahwa seorang *structure engineer* harus bisa menentukan jenis pondasi yang tepat untuk digunakan pada bangunan yang dirancang. Jenis pondasi ditentukan dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan tempat berdirinya bangunan dan usulan jenis pondasi secara karakteristik tanah yang dilaporkan oleh *soil engineer*.

Hasil penyelidikan tanah yang dilaporkan oleh *soil engineer* antara lain :

1. Kondisi tanah dasar yang menjelaskan jenis lapisan tanah pada beberapa lapisan kedalaman.
2. Analisis daya dukung tanah biasanya tanah itu secara sepintas dibagi dalam tanah berbutir kasar dan berbutir halus berdasarkan suatu hasil analisa mekanis.
3. Selanjutnya tahap klasifikasi tanah berbutir halus diadakan Besar nilai SPT (*Strandar Penetration Test*) dari beberapa titik bor.
4. Besar tahanan ujung konus dan jumlah hambatan pelekat dari beberapa titik sondir.

5. Hasil tes laboratorium tanah untuk mengetahui berat jenis tanah dan lain – lain.
6. Analisis daya dukung tiang pondasi berdasarkan data – data tanah (apabila menggunakan pondasi tiang).
7. Rekomendasi dari *soil engineer* mengenai jenis pondasi yang digunakan.

Tujuan utama dari penyelidikan tanah tersebut adalah:

- a. Untuk menentukan urutan, ketebalan dan lapisan tanah ke arah lateral dan bila diperlukan, elevasi batuan dasar.
- b. Untuk memperoleh contoh-contoh tanah dan batuan yang cukup mewakili untuk keperluan identifikasi dan klasifikasi dan bila perlu untuk digunakan dalam uji laboratorium guna menentukan parameter - parameter tanah yang relevan.
- c. Untuk mengidentifikasi kondisi air tanah. Hasil-hasil dari penyelidikan tanah harus yang cukup memadai, misalnya untuk mendapatkan tipe pondasi yang paling sesuai untuk suatu usulan struktur dan sebagai bila mungkin timbul masalah -masalah pada saat penggalian.

2.1.2 Penyelidikan tanah

- a. Sondir

Test sondir dilakukan dengan menggunakan alat sondir yang dapat mengukur nilai perlawanan konus dan hambatan lekat secara langsung di lapangan.

Hasil penyondiran disajikan dalam bentuk diagram sondir yang memperlihatkan hubungan antara kedalaman sondir di bawah muka tanah dan besarnya nilai perlawanan konus (q_c) serta jumlah hambatan pekat (TF).

- b. Standard Penetration Test

Standard Penetration Test dilaksanakan pada lubang bor setelah pengambilan contoh tanah pada setiap beberapa interval kedalaman. Cara uji dilakukan untuk memperoleh parameter perlawanan penetrasi lapisan tanah di lapangan. Parameter tersebut diperoleh dari jumlah pukulan terhadap penetrasi konus, yang dapat dipergunakan untuk mengidentifikasi per lapisan tanah.

2.2 Pondasi

2.2.1 Macam-macam Pondasi

Karnadi. E (2013) menguraikan tentang jenis-jenis pondasi dan membaginya dalam dua kelompok besar yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam.

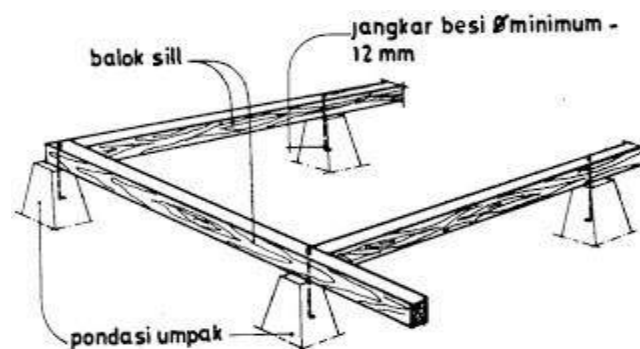
1. Pondasi dangkal

Pondasi dangkal adalah pondasi yang mendukung beban secara langsung seperti:

a. Pondasi Setempat

Pondasi ini dilaksanakan untuk mendukung beban titik seperti kolom praktis, tiang kayu pada rumah sederhana atau pada titik kolom struktural. Contoh pondasi setempat:

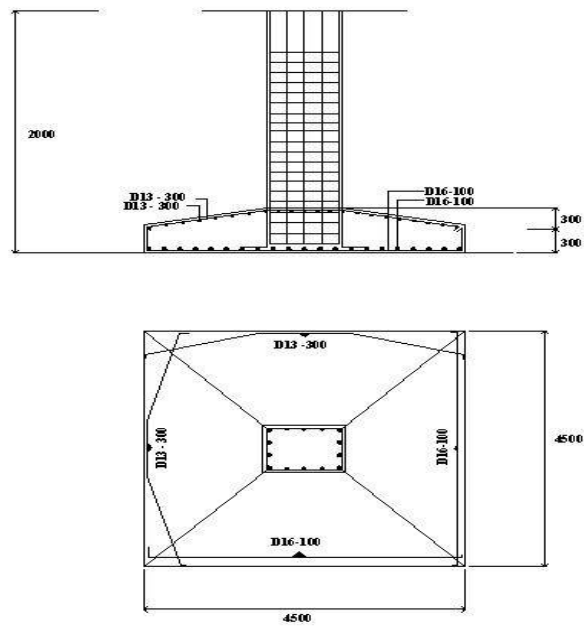
- Pondasi umpak batu kali, dilaksanakan untuk rumah sederhana.
- Pondasi umpak beton, dilaksanakan untuk rumah sederhana, rumah kayu pada rumah tradisional, dan lain-lain. Pondasi umpak ditunjukkan seperti pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Pondasi Umpak

Sumber : Karnadi. E. 2013

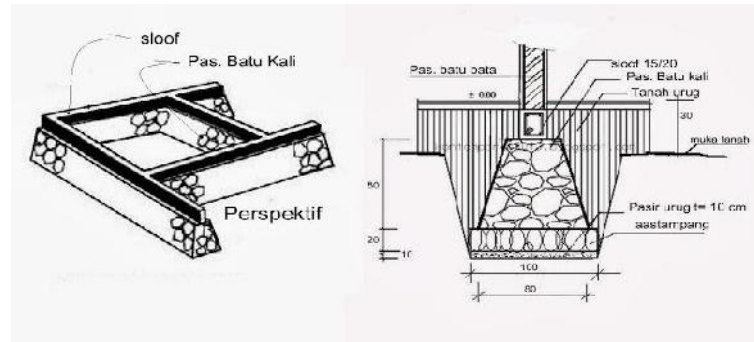
- Pondasi plat setempat, jenis pondasi ini dapat juga dibuat dalam bentuk bertingkat atau haunched jika pondasi ini dibutuhkan untuk menyebarkan beban dari kolom berat. Pondasi tapak disamping diterapkan dalam pondasi dangkal dapat juga digunakan untuk pondasi dalam. Dapat dilaksanakan pada bangunan hingga dua lantai, tentunya sesuai dengan perhitungan mekanika. Gambar 2.2 menunjukkan tampak atas dan potongan pondasi setempat.



Gambar 2.2 Pondasi Setempat
Sumber : Karnadi. E. 2013

b. Pondasi Menerus

Pondasi menerus biasanya digunakan untuk mendukung beban memanjang atau beban garis, baik untuk mendukung beban dinding atau kolom dengan jarak yang dekat dan fungsional kolom tidak terlalu mendukung beban berat. Pondasi menerus dibuat dalam bentuk memanjang dengan potongan persegi ataupun trapesium. Penggunaan bahan pondasi ini biasanya sesuai dengan kondisi lingkungan atau bahan yang tersedia di daerah setempat. Bahan yang digunakan bisa dari batu kali, batubata atau beton kosong/tanpa tulangan dengan adukan 1 pc : 3 Psr : 3 krl. Keuntungan memakai pondasi ini adalah beban bangunan dapat disalurkan secara merata, dengan catatan seluruh pondasi berdiri diatas tanah keras. Sementara kelemahan pondasi ini, biaya untuk pondasi cukup besar, memakan waktu agak lama dan memerlukan tenaga kerja yang banyak. Gambar 2.3 menunjukkan contoh pondasi menerus.



Gambar 2.3 Pondasi Menerus

Sumber : Karnadi. E. 2013

c. Pondasi sarang laba-laba

Pondasi ini merupakan pondasi dangkal konvensional, kombinasi antara sistem pondasi plat beton pipih menerus dengan sistem perbaikan tanah. Pondasi ini memanfaatkan tanah sebagai bagian dari struktur pondasi itu sendiri. Pondasi Sarang Laba-Laba dapat dilaksanakan pada bangunan 2 hingga 8 lantai yang didirikan di atas tanah dengan daya dukung rendah. Sedangkan pada tanah dengan daya dukung tinggi, bisa digunakan pada bangunan lebih dari 8 lantai.

Plat beton tipis menerus itu di bagian bawahnya dikakukan oleh rib-rib tegak tipis yang relatif tinggi, sehingga secara menyeluruh berbentuk kotak terbalik. Rib-rib tegak dan kaku tersebut diatur membentuk petak-petak segitiga dengan hubungan kaku (rigit). Rib-rib tersebut terbuat dari beton bertulang. Sementara rongga yang ada dibawah plat diantara rib-rib diisi dengan perbaikan tanah/pasir yang dipadatkan dengan baik, lapis demi lapis per 20 cm. Gambar 2.4 di bawah memperlihatkan konstruksi pondasi sarang laba-laba.



Gambar 2.4 Konstruksi Pondasi Sarang Laba-laba

Sumber : Karnadi. E. 2013

d. Pondasi cakar ayam

Jenis pondasi ini ditemuokn oleh Prof. Dr. Ir. Soedijatmo pada tahun 1961 ketika beliau merancang menara listrik jaringan transmisi bertegangan tinggi di daerah ancol, Jakarta. Daerah tersebut merupakan daerah rawa. Kemudian, pondasi ini juga digunakan dalam pembangunan bandara internasional Soekarna Hatta, sejak tahap satu yang meliputi area seluas 1,7 juta meter persegi yang terdiri dari landasan pacu, jalur taksi, dan pelataran parker pesawat. Selain itu pondasi cakar ayam digunakan dalam pembangunan jalan di Malaysia, yaitu ruas kampong kayan-setiawan.

Pondasi cakar ayam, yang hak patennya dipegang oleh PT. Cakar Bumi, terdiri atas plar beton bertulang K225 atau K300 setelah 10 – 15 cm, tergantung pada konstruksi yang akan didukungnya dan keadaan tanah dibawahnya. Dibawah pelat beton tersebut dipasang pipa-pipa beton yang dihubungkan secara monolit dengan jarak antara sumbu-sumbu pipa 2,5 meter, sedangkan kedalaman pipa berkisar antara 1,5–3,5 meter. Kedalaman pipa ini tergantung pada beban dan kondisi tanah. Diameter pipa adalah 1,2 atau 1,5 meter dan tebalnya 8-10 cm. pada prinsipnya, pondasi cakar ayam ini dapat digunakan pada tanah dengan kapasitas dukung 1,5-3,5 t/m².

Dasar pemikiran pindasi cakar ayam ini adalah memanfaatkan karakteristik tanah yang tidak dimanfaatkan oleh pondasi lain yaitu : pemanfaatan adanya tekanan tanah pasif.

Plat beton bertulang yang tipis akan mengapung (*floating*) diatas tanah rawa atau tanah lembek. Kekakuannya diperoleh dari pipa-pipa beton bertulang yang berada dibawahnya. Pipa-pipa beton ini dapat berdiri tegak dikarenakan adanya tekanan tanah pasif didalam tanah. Konbinasi ini membuat plat dan pipa-pipa menjadi konstruksi yang kaku dan tidak mudah digoyahkan, jadi fungsi pipa disini hanyalah sebagai pengaku bukan sebagai penopang seperti pada pondasi sumuran, selain itu mempertahankan kekuatan plat beton.

Pelaksanaan konstruksi cakar ayam ini relatif sederhana, yaitu dengan meletakkan pipa-pipa beton bertulang kedalam lubang galian yang telah disiapkan sebelumnya. Pembuatan lubang galian ini dapat dilakukan dengan pengeboran dan galian biasa atau dengan alat khusus yang disebut “Chadu” sebagai alat penggali dan “*Chup*” sebagai alat untuk memasukan pipa-pipa

beton ke lubang tersebut. Kemudian, lubang dalam pipa beton diisi kembali dengan tanah bekas galian dan di atasnya diberikan tulangan untuk plat dan selanjutnya dilakukan pengecoran plat.

Karena sederhana pelaksanaannya, pondasi cakar ayam dapat mengganti jenis pondasi yang lebih rumit, misalnya pondasi tiang pancang yang memerlukan peralatan berat. Pondasi cakar ayam ini memang khusus untuk memecahkan permasalahan tanah lunak, karena sistem pondasi ini sangat sederhana, namun mempunyai kapasitas dukung yang baik.

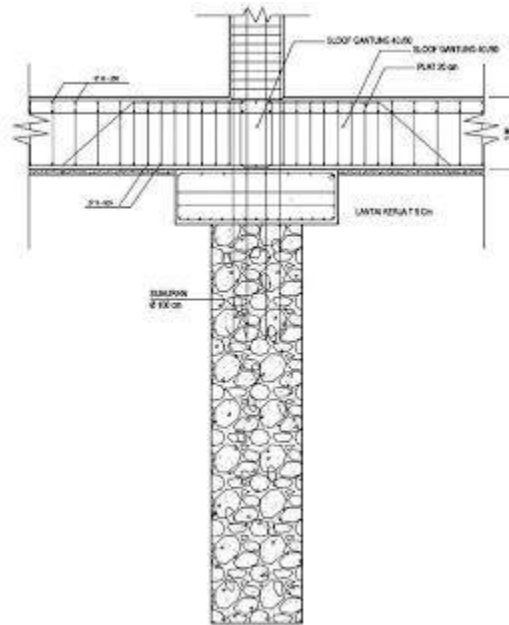
2. Pondasi Dalam

Pondasi dalam adalah pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak jauh dari permukaan dengan kedalaman D_f/B , seperti:

a. Pondasi sumuran

Pondasi sumuran adalah suatu bentuk peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi tiang. Pondasi sumuran sangat tepat digunakan pada tanah kurang baik dan lapisan tanah kerasnya berada pada kedalaman lebih dari 3m. Diameter sumuran biasanya antara 0.80 - 1.00 m dan ada kemungkinan dalam satu bangunan diameternya berbeda-beda, ini dikarenakan masing-masing kolom berbeda bebannya.

Disebut pondasi Sumuran, karena dalam pengerjaannya membuat lubang-lubang berbentuk sumur. Lubang ini digali hingga mencapai tanah keras atau stabil. Sumur-sumur ini diberi buis beton dengan ketebalan kurang lebih 10 cm dengan pembesian. Dasar dari sumur dicor dengan ketebalan 40 cm sampai 1,00 m, di atas coran tersebut disusun batu kali sampai dibawah 1,00 m buis beton teratas. Ruang kosong paling atas dicor kembali dan diberi angker besi, yang gunanya untuk mengikat plat beton di atasnya. Plat beton ini mirip dengan pondasi plat setempat, yang fungsinya untuk mengikat antar kolom yang disatukan oleh sloof beton. Gambar 2.5 menunjukkan detail potongan pondasi sumuran.



Gambar 2.5 Pondasi Sumuran
Sumber : Karnadi. E. 2013

b. Bore pile

Bore pile dipasang ke dalam tanah dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian diisi tulangan dan dicor beton. Tiang ini biasanya, dipakai pada tanah yang stabil dan kaku, sehingga memungkinkan untuk membentuk lubang yang stabil dengan alat bor. Jika tanah mengandung air, pipa besi dibutuhkan untuk menahan dinding lubang dan kemudian pipa ini ditarik keatas pada waktu pengecoran beton (Girsang, 2009).

Pada tanah yang keras atau batuan lunak, dasar tiang dapat dibesarkan untuk menahan tahanan dukung ujung tiang.

Ada berbagai jenis pondasi bore pile yaitu:

1. Bore pile lurus untuk tanah keras
2. Bore pile yang ujungnya diperbesar berbentuk bel
3. Bered pile yang ujungnya diperbesar berbentuk trapesium
4. Bore pile lurus untuk tanah berbatu

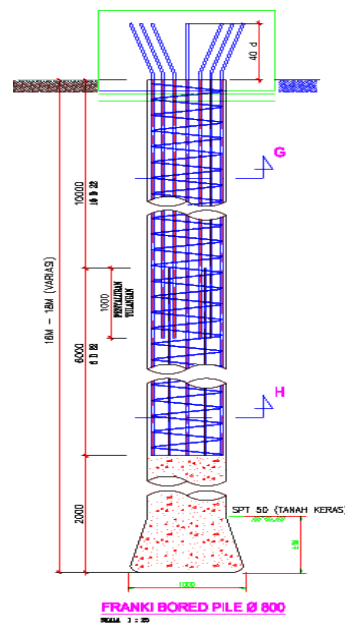
Ada beberapa alasan digunakannya pondasi bore pile dalam konstruksi :

1. Bore pile tunggal dapat digunakan pada tiang kelompok atau pile cap
2. Kedalaman tiang dapat divariasikan
3. Bore pile dapat didirikan sebelum penyelesaian tahapan selanjutnya
4. Ketika proses pemancangan dilakukan, getaran tanah akan mengakibatkan kerusakan pada bangunan yang ada didekatnya, tetapi dengan penggunaan pondasi bore pile hal ini dapat dicegah
5. Pada pondasi tiang pancang, proses pemancangan pada tanah lempung akan membuat tanah bergelombang dan menyebabkan tiang pancang sebelumnya bergerak ke samping. Hal ini tidak terjadi pada konstruksi pondasi borepile.
6. Selama pelaksanaan pondasi bore pile tidak ada suara yang ditimbulkan oleh alat pancang seperti yang terjadi pada pelaksanaan pondasi tiang pancang.
7. Karena dasar dari pondasi bore pile dapat diperbesar, hal ini memberikan ketahanan yang besar untuk gaya keatas.
8. Permukaan diatas dimana dasar bore pile didirikan dapat diperiksa secara langsung.
9. Pondasi bore pile mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap beban lateral.

Beberapa kelemahan dari pondasi bore pile :

1. Keadaan cuaca yang buruk dapat mempersulit pengeboran dan pengecoran, dapat diatasi dengan cara menunda pengeboran dan pengecoran sampai keadaan cuaca memungkinkan.
2. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah berkerikil maka menggunakan bentonite sebagai penahan longsor.
3. Pengecoran beton sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik, maka diatasi dengan cara ujung pipa tremie berjarak 25-50 cm dari dasar lubang pondasi.
4. Air yang mengalir kedalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tanah terhadap tiang, maka air yang mengalir langsung dihisap dan dibuang kembali kedalam kolam air.
5. Akan terjadi tanah runtuh jika tindakan pencegahan tidak dilakukan, maka dipasang casing untuk mencegah kelongsoran.

6. Karena diameter tiang cukup besar dan memerlukan banyak beton dan material, untuk pekerjaan kecil mengakibatkan biayanya sangat melonjak maka ukuran tiang bore pile disesuaikan dengan beban yang dibutuhkan.
7. Walaupun penetrasi sampai ke tanah pendukung pondasi dianggap telah terpenuhi, kadang-kadang terjadi bahwa tiang pendukung kurang sempurna karena adanya lumpur yang tertimbun didasar, maka dipasang pipa paralon pada tulangan bore pile untuk pekerjaan base grouting. Gambar 2.6 menunjukkan detail pondasi *bored pile*.



Gambar 2.6 Pondasi *Bored Pile*

Sumber : Karnadi. E. 2013

2.3 Pondasi Tiang Pancang

2.3.1 Pengertian Tiang Pancang

Tiang pancang 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 kelapisan tanah yang keras. Hal ini merupakan distribusi vertikal dari beban sepanjang poros tiang pancang atau pemakaian beban secara langsung terhadap lapisan yang lebih rendah melalui ujung tiang pancang. Distribusi muatan vertical dibuat dengan menggunakan gesekan, atau tiang pancang apung. Kebanyakan tiang pancang dipancangkan

kedalam tanah, akan tetapi ada beberapa tipe yang dicor setempat dengan cara dibuatkan lubang terlebih dahulu dengan mengebor tanah.

Pada umumnya tiang pancang dipancangkan tegak lurus kedalam tanah, tetapi apabila diperlukan untuk dapat menahan gaya-gaya horizontal maka tiang pancang akan dipancang miring. Sudut kemiringannya yang dicapai oleh tiang pancang tergantung dari pada alat pancang yang digunakan serta disesuaikan dengan perencanaannya.

Tiang pancang pada konstruksi pondasi mempunyai beberapa jenis, baik dari segi jenis tiangnya maupun dalam pelaksanaan (pembuatan) pondasi tiang tersebut.

Pada perencanaan pondasi tiang pancang, kekuatan pondasi antara lain ditentukan oleh kapasitas daya dukung sebuah tiang, dan kapasitas daya dukung tiang pancang tersebut umumnya ditentukan oleh kekuatan reaksi tanah dalam mendukung tiang yang dibebani dan pada kekuatan tiang itu sendiri dalam menahan serta menyalurkan beban di atasnya. (I. E. Sulastri Sihotang. 2009)

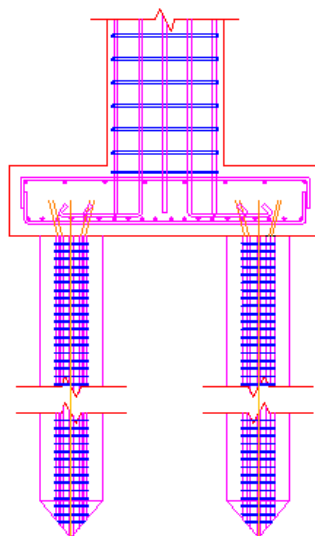
Menurut Karnadi. E 2013. Penggunaan pondasi tiang pancang sebagai pondasi bangunan apabila tanah yang berada dibawah dasar bangunan tidak mempunyai daya dukung (bearing capacity) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan beban yang bekerja padanya Atau apabila tanah yang mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan seluruh beban yang bekerja berada pada lapisan yang sangat dalam dari permukaan tanah kedalaman lebih dari 8 meter.

Fungsi dan kegunaan dari pondasi tiang pancang adalah untuk memindahkan atau mentransfer beban-beban dari konstruksi di atasnya (super struktur) ke lapisan tanah keras yang letaknya sangat dalam.

Dalam pelaksanaan pemancangan pada umumnya dipancangkan tegak lurus dalam tanah, tetapi ada juga dipancangkan miring (battle pile) untuk dapat menahan gaya-gaya horizontal yang bekerja, Hal seperti ini sering terjadi pada dermaga dimana terdapat tekanan kesamping dari kapal dan perahu. Sudut kemiringan yang dapat dicapai oleh tiang tergantung dari alat yang dipergunakan serta disesuaikan pula dengan perencanaannya.

Tiang Pancang umumnya digunakan :

- Untuk mengangkat beban-beban konstruksi diatas tanah kedalam atau melalui sebuah stratum/lapisan tanah. Didalam hal ini beban vertikal dan beban lateral boleh jadi terlibat.
 - Untuk menentang gaya desakan keatas, gaya guling, seperti untuk telapak ruangan bawah tanah dibawah bidang batas air jenuh atau untuk menopang kaki-kaki menara terhadap guling.
 - Memampatkan endapan-endapan tak berkohesi yang bebas lepas melalui kombinasi perpindahan isi tiang pancang dan getaran dorongan. Tiang pancang ini dapat ditarik keluar kemudian.
 - Mengontrol lendutan/penurunan bila kaki-kaki yang tersebar atau telapak berada pada tanah tepi atau didasari oleh sebuah lapisan yang kemampatannya tinggi.
 - Membuat tanah dibawah pondasi mesin menjadi kaku untuk mengontrol amplitudo getaran dan frekuensi alamiah dari sistem tersebut.
 - Sebagai faktor keamanan tambahan dibawah tumpuan jembatan dan atau pir, khususnya jika erosi merupakan persoalan yang potensial.
 - Dalam konstruksi lepas pantai untuk meneruskan beban-beban diatas permukaan air melalui air dan kedalam tanah yang mendasari air tersebut. Hal seperti ini adalah mengenai tiang pancang yang ditanamkan sebagian dan yang terpengaruh oleh baik beban vertikal (dan tekuk) maupun beban lateral.
- Gambar 2.7 menunjukan pondasi tiang pancang.

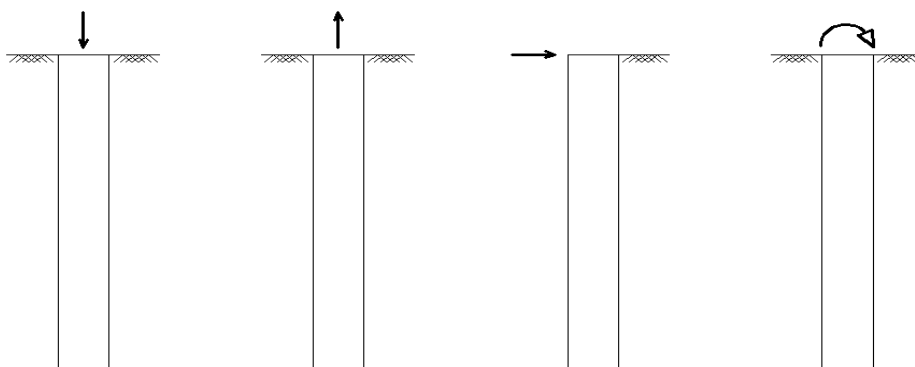


Gambar 2.7 Pondasi Tiang Pancang

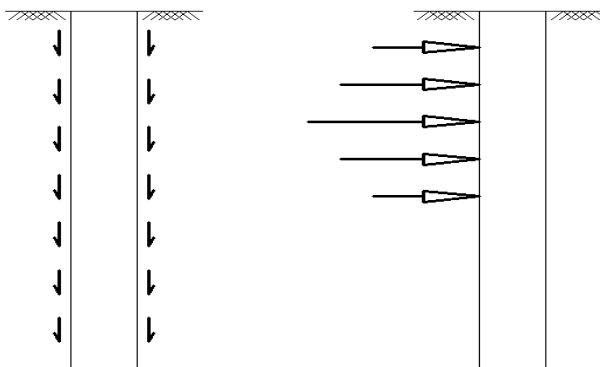
2.3.2 Dasar-Dasar Perencanaan

Menurut Zainal N., Respati Sri., 1995. Pada umumnya gaya-gaya luar yang bekerja pada tiang adalah :

1. Pada kepala tiang yang meliputi berat sendiri bangunan di atasnya. Beban hidup dan tekanan tanah dan tekanan air. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.8
2. Pada tubuh tiang yang meliputi berat sendiri tiang, gaya geser negatif pada selimut tiang dan gaya mendatar akibat getaran ketika tiang tersebut melentur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9



Gambar 2.8 Beban yang bekerja pada kepala tiang



Gambar 2.9 Beban yang bekerja pada tubuh tiang

Pondasi tiang pada umumnya, diletakkan sampai pada lapisan tanah pendukung yang mampu memikul beban yang diterimanya. Lapisan tanah ini bisa berupa tanah lempung yang keras sampai pada batuan-batuan tetap yang sangat keras. Pondasi tiang yang diletakkan sampai pada lapisan tanah keras dinamakan “end bearing pile”. Daya dukung tiang ini berdasarkan pada tahanan ujung tiang.

Bila lapisan tanah keras letaknya sangat dalam, sehingga pembuatan dan pemancangan tiang sampai lapisan tanah keras tersebut sangat sukar dilaksanakan,

maka dalam ini digunakan pondasi tiang yang daya dukungnya dihitung berdasarkan pelekatan antara tiang dengan tanah. Pondasi semacam ini dinamakan “friction pile”. Hala ini sering terjadi pada lapisan lempung lunak, yang tahanan ujung tiang jauh lebih kecil dari pada tahanan geseran selimut tiang.

Untuk menaksir daya dukung pondasi tiang, cara yang banyak dilakukan di Indonesia adalah dengan menggunakan alat sondir (cone penetration test) atau standard penetration test (SPT). Dengan alat tersebut kita dapat menentukan kedalaman tiang yang harus ditanam dan daya dukung tiang, baik tahanan ujung maupun tahanan gesernya.

Dalam perencanaan pondasi tiang pada umumnya, diperkirakan pengaturan tiang-tiangnya terlebih dahulu, seperti letak/susunan, diameter, dan panjang tiang. Dalam pengaturan tiang-tiang tersebut perlu diperhatikan beberapa hal berikut :

1. Tiang yang berbeda kualitas bahannya atau tiang yang memiliki diameter berbeda tidak boleh dipakai untuk pondasi yang sama.
2. Tiang miring dipakai apabila besarnya gaya horizontal yang bekerja pada kelompok tiang terlalu besar untuk ditampung oleh tiang vertikal.
3. Jarak antar tiang antar kelompok jangan terlalu berdekatan dan jangan terlalu berjauhan. Jarak yang dianjurkan adalah antara 0,60 sampai 2,0 meter.

2.3.3 Prosedur perencanaan

Menurut Zainal N., Respati Sri., 1995. Perencanaan suatu pondasi bangunan perlu dilakukan prosedur sebagai berikut:

1. Menentukan kriteria perencanaan, seperti beban-beban yang bekerja pada dasar tumpuan (poer), parameter tanah, situasi dan kondisi bangunan di sekitar lokasi, besar pergeseran yang di ijin, tegangan ijin dari bahan-bahan pondasi.
2. Memperkirakan diameter, jenis, panjang, jumlah dan susunan. Perkiraan tersebut sebaiknya disesuaikan dengan yang ada dipasaran
3. Menghitung daya dukung vertikal tiang tunggal (single pile), baik untuk kondisi pembebanan normal maupun pada waktu gempa
4. Menghitung faktor efisiensi dalam kelompok tiang dan daya dukung vertikal yang diijinkan untuk sebuah tiang dalam kelompok tiang

5. Menghitung beban vertikal yang bekerja pada setiap tiang dalam kelompok tiang.
6. Memeriksa beban yang bekerja pada setiap tiang masih termasuk dalam batas daya dukung yang diijinkan yang dihitung pada angka nomor 4 diatas. Bila hasilnya melampaui daya dukung yang diijinkan untuk setiap tiang, maka perkiraan diameter, jumlah atau susunan tiang harus diganti. Selanjutnya perhitungan diulang kembali mulai dari langkah nomor 2
7. Menghitung daya dukung mendatar sebuah tiang dalam kelompok.
8. Menghitung baban horizontal yang bekerja pada setiap tiang dalam kelompok.
9. Menghitung penurunan (bila diperlukan).
10. Merencanakan struktur tiang

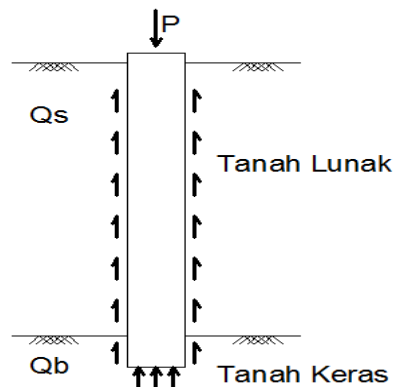
2.4 Daya Dukung Tanah

2.4.1 Perhitungan Daya Dukung vertikal yang diijinkan

Menurut Zainal N., Respati Sri., 1995. Untuk menentukan daya dukung batas suatu tiang dapat dihitung berdasarkan data – data penyelidikan tanah, secara praktis digunakan perkiraan berdasarkan sondir, SPT atau rumus – rumus yang diajukan oleh Terzaghi dan Meyerhof, yang daya dukung pondasi tiang pada umumnya, diperoleh dari jumlah daya dukung ujung tiang dan tahanan geser pada dinding tiang. Gambar 2.10 menunjukkan kapasitas dukung selimut tiang

Rumus daya dukung : $Q_u = Q_b + Q_s$

Rumus daya dukung ijin : $Q_a = \frac{Q_u}{FK} = \frac{(Q_b + Q_s)}{FK}$



Gambar 2.10 Kapasitas dukung selimut tiang

Keterangan :

Q_a = Daya dukung vertikal yang vertikal yang diijinkan

Q_u = Daya dukung vertikal yang vertikal batas (maximum)

FK = Faktor Keamanan

Q_b = Daya dukung ujung tiang (kN)

Q_s = Tahanan geser dinding tiang (kN)

a. Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang berdasarkan Data Lapangan

Test sondir atau Cone Penetration Test (CPT) pada dasarnya untuk memperoleh tahanan ujung q_c dan tahanan selimut c sepanjang tiang. Tes sondir ini biasanya dilakukan pada tanah-tanah kohesif dan tidak dianjurkan pada tanah berkerikil dan lempung. Rumus untuk menghitung daya dukung tanah menurut Pamungkas A. (2013). Daya dukung ultimate pondasi tiang dinyatakan dengan persamaan mayerhofs:

$$Q_{ult} = (q_c \cdot A_p) + (T_f \cdot A_{st})$$

Daya dukung ijin pondasi dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_{ijin} = \frac{(q_c \cdot A_p)}{FK1} + \frac{(T_f \cdot A_{st})}{FK2}$$

dimana.

Q_{ult} = Kapasitas daya dukung tiang pancang

q_c = Tahanan ujung sondir/ hambatan konus

A_p = Luas penampang tiang

T_f = total friksi/Jumlah hambatan pelekat

A_{st} = Keliling Penampang tiang

FK1, FK2 = Faktor keamanan, 3 dan 5

b. Perhitungan daya dukung dari hasil SPT

$$P_a = \frac{(q_c \cdot A_p)}{FK1} + \frac{(\epsilon_{lfi} \cdot A_{st})}{FK2}$$

dimana :

P_a = daya dukung ijin tekan

q_c = 20 N, untuk silt/clay

- $\quad = 40 \text{ N}$, untuk sand
 N = Nilai N SPT
 Ap = luas penampang tiang
 Ast = keliling penampang tiang
 li = panjang segmen tiang yang ditinjau
 fi = gaya geser pada selimut segmen tiang
 $\quad = N$ maksimum 12 ton/m², untuk silt/clay
 $\quad = N/5$ maksimum 10 ton/m², untuk sand
 FK1, FK2 = faktor keamanan, 3 dan 5

2.4.2 Jumlah Tiang Yang Diperlukan

Perhitungan jumlah tiang yang diperlukan pada suatu titik kolom menggunakan beban aksial dengan kombinasi beban DL + LL (beban tak terfaktor).

Jumlah tiang yang diperlukan dihitung dengan membagi gaya aksial yang terjadi dengan daya dukung tiang.

$$np = \frac{p}{p_{all}}$$

dimana :

- np = jumlah tiang
 P = gaya aksial yang terjadi
 Pall = daya dukung tiang

2.4.3 Efisiensi Kelompok Tiang

Perhitungan jumlah tiang yang diperlukan masih belum sempurna karena daya dukung kelompok tiang bukan berarti daya dukung suatu tiang dikalikan dengan jumlah tiang. Hal ini karena *interverensi* (tumpang tindihnya) garis-garis tegangan yang berdekatan (*group action*). Pengurangan daya dukung kelompok tiang yang disebabkan oleh *groupaction* ini dinyatakan dalam suatu angka efisiensi.

Perhitungan efisiensi kelompok tiang berdasarkan rumus *Converse-Labbare* dari *Uniform Building Code AASHTO* adalah:

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn}$$

Dimana,

E_g = Efisiensi kelompok tiang

θ = (Dalam derajat) $\theta = \arcsin(D/S)$

D = Ukuran penampang tiang

S = Jarak tiang (as ke as)

m = Jumlah tiang dalam 1 kolom

n = Jumlah tiang dalam 1 baris

Daya dukung vertikal kelompok tiang dapat dinyatakan pada rumus sebagai berikut:

$E_g \times \text{Jumlah tiang} \times \text{Daya dukung tiang}$

Daya dukung kelompok tiang harus > Gaya aksial yang terjadi

2.4.4 Perhitungan Tulangan Pondasi Tiang Pancang

Untuk menghitung tulangan pondasi dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menentukan momen nominal (M_n)

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

Dimana,

ϕ = Faktor reduksi kekuatan tekan dengan tulangan spiral 0.70 diambil dari SNI

M_n = Momen nominal yang bekerja

M_u = Momen maksimum yang bekerja pada tiang

Menghitung ρ_{min} , ρ_b dan ρ_{max}

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \cdot f_y}$$

$$\rho_b = \left(\frac{0,85 \cdot \beta \cdot f_c}{f_y} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot (\rho_b)$$

ρ_{min} = Rasio tulangan minimum

ρ_b = Rasio tulangan seimbang (*Balance*)

ρ_{max} = Rasio tulangan maksimum

β = Beta (0,85) diambil dari Ali Asroni

2. Menghitung ρ

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{(2(m) \cdot Rn)}{f_y}} \right)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2}$$

Dimana,

ρ = Rasio tulangan yang diperlukan

\emptyset = diameter tulangan

jika ρ lebih besar dari ρ_{max} maka dipakai ρ_{max} dalam perhitungan tulangan

3. Menghitung luas tulangan

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$A_s \text{ tul.} = \frac{1}{4} \cdot \pi (\text{diameter tulangan})^2$$

Dimana,

A_s = Luas tulangan yang dipakai

b = Diameter pondasi

d = Lebar efektif pondasi ($b \times$ selimut pondasi $\times (1/2 \emptyset)$)

$A_s \text{ tul.}$ = Luas tulangan

4. Menghitung jumlah tulangan

$$n = \frac{A_s}{A_s \text{ tul.}}$$

n = Jumlah tulangan yang digunakan

5. Menghitung tulangan geser

$$V_c = \left(1 + \frac{V_u}{A_p} \right) \cdot \frac{\sqrt{f_r c}}{6} \cdot b_w \cdot d$$

V_u = Gaya geser yang bekerja (diambil dari program SAP2000)

$$V_u < \emptyset V_c$$

$$V_u < 0,7 \cdot V_c$$

Dimana,

V_c = tegangan geser ijin beton

A_p = luas penampang pondasi

f'_c = mutu beton

b_w = diameter pondasi

d = lebar efektif pondasi

2.5 *Pile Cap*

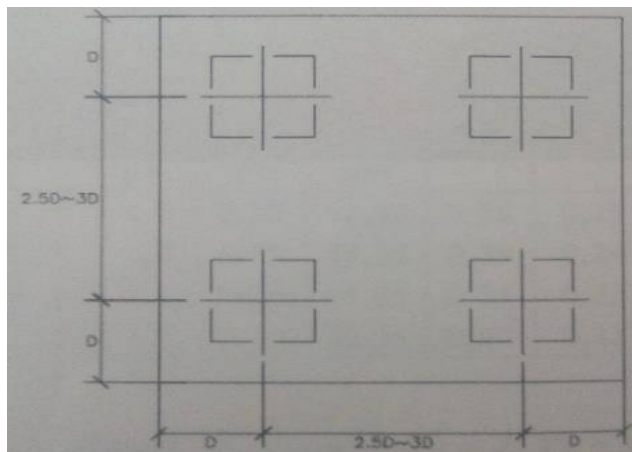
Pile cap merupakan salah satu elemen penting dari suatu struktur. Hal ini dikarenakan *pile cap* memiliki peranan penting dalam pendistribusian beban struktur ke tiang pancang untuk kemudian diteruskan ke dalam tanah. *Pile cap* digunakan sebagai pondasi untuk mengikat tiang pancang yang sudah terpasang dengan struktur yang berada di atasnya. Pada umumnya para *geotechnical* dan *structure engineer* jika mendesain pondasi dalam (*deep foundation*) sama sekali tidak memperhitungkan kontribusi *pile cap*. Padahal sering sekali dimensi *pile cap* cukup besar dan tebal. RL Mowka meneliti bahwa untuk gaya lateral bahkan sering sekali lebih besar gaya yang dipikul *pile cap* dibanding dengan tiang. Begitu juga dengan gaya aksial tekan. Dengan memperhitungkan distribusi *pile cap* maka kita akan mendapatkan desain group tiang yang lebih ekonomis. Oleh karena itu, penting sekali para engineer memahami perilaku *pile cap* agar mampu memperhitungkan kontribusi *pile cap* dalam memperhitungkan daya dukung group tiang baik terhadap gaya lateral maupun gaya aksial.

Pile cap berfungsi untuk mengikat tiang-tiang menjadi satu kesatuan dan memindahkan beban kolom kepada tiang. *Pile cap* biasanya terbuat dari beton bertulang. Perencanaan *pile cap* dilakukan dengan anggapan sebagai berikut :

1. *Pile cap* sangat kaku
2. Ujung atas tiang menggantung pada *pile cap*. Karena itu, tidak ada momen lentur yang diakibatkan oleh *pile cap* ke tiang
3. Tiang merupakan kolom pendek dan elastis. Karena itu distribusi tegangan dan deformasi membentuk bidang rata

Berikut adalah langkah-langkah perhitungan *pile cap* :

Jarak antar tiang mempengaruhi ukuran *pile cap*. Pada *pile cap* jarak antar tiang biasanya diambil $2,5D - 3D$, dimana D adalah diameter tiang. Gambar 2.11 menunjukkan jarak tiang



Gambar 2.11 Jarak tiang

Sumber : Pamungkas dan Harianti 2013

Kemudian jarak dari as tiang ke tepi *pile cap* adalah sama dengan ukuran D . Jadi total panjang *pile cap* adalah jarak antar tiang ditambah dengan jarak tiang ke tepi *pile cap*

Menurut SNI 03-2847-2002 ketebalan *pile cap* di atas lapisan tulangan bawah tidak boleh kurang dari 300mm dan selimut beton minimum untuk beton yang di cor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah adalah 75mm.

Untuk kontrol geser pada *pile cap* disyaratkan $V_u < \phi V_c$.

- Kontrol geser satu arah.

$$V_u = \sigma \cdot L \cdot G$$

Dengan $\sigma = P/A$

L : Lebar pondasi (m)

d : tebal efektif *pile cap*

$$(d = b - \text{selimut beton})$$

G' : daerah pembebanan yang diperhitungkan untuk penulangan satu arah

$$G' = L - \left(\frac{L}{2} + \frac{b}{2} + d \right)$$

b : lebar pondasi

- Kuat geser beton

$$\phi V_c = \phi \cdot 1/6 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d$$

Dimana :

ϕV_c : Tegangan geser ijin beton (kg)

f_c' : kuat tekan beton (MPa)

- Kontrol geser dua arah

$$V_u = \sigma (L^2 - B'^2)$$

- Kuat geser beton

Kemudian berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 13.12.2.1 disyaratkan nilai V_c adalah nilai terkecil dari $V_c 1$, $V_c 2$, $V_c 3$ dengan

Nilai α_s :

40 untuk kolom dalam

30 untuk kolom tepi

$$V_c 1 = \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \frac{\sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d}{6}$$

$$V_c 2 = \left(2 + \frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} \right) \frac{\sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d}{12}$$

$$V_c 3 = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d$$

Dimana :

b_o : keliling penampang kritis *pile cap*

β_c : rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek pada kolom, daerah terpusat atau daerah reaksi

α_s : konstanta untuk perhitungan pondasi telapak.

- Perhitungan tulangan *pile cap*

Lebar Penampang Kritis : B'

$$B' = (\text{lebar pile cap}/2) - \text{lebar kolom}/2$$

Berat pile cap pada penampang kritis : q'

$$q' = 2400 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{lebar pile cap} \cdot \text{tebal pile cap}$$

Besar momen ultimate

$$M_u = 2(P_u/4)(\text{lebar kolom}) - 1/2 q' B'^2$$

Momen nominal

$$\phi M_n = \phi A_s \cdot f_y (d - 1/2 a)$$

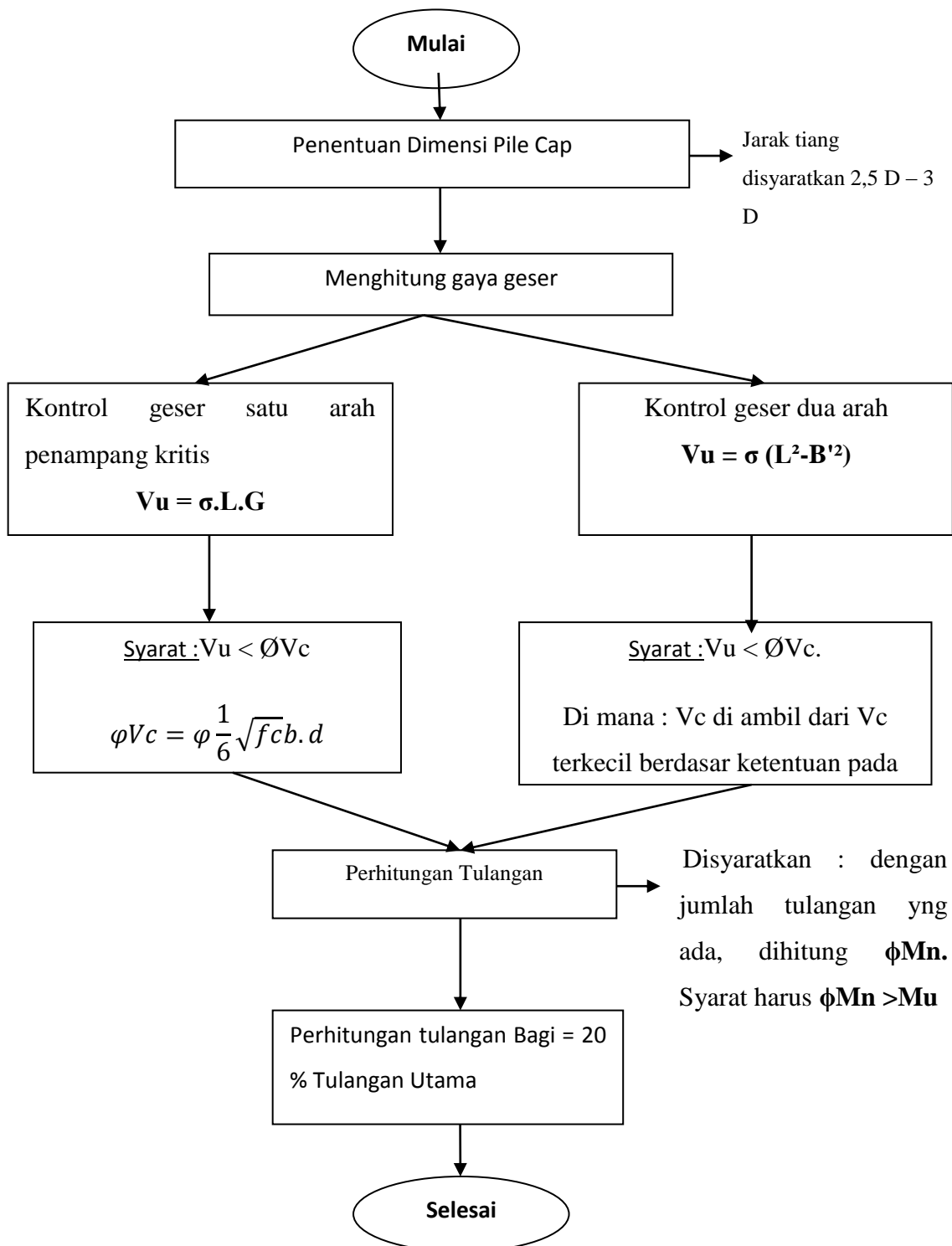
$$a = A_s \cdot f_y / 0,85 \cdot f_c \cdot b$$

Dimana :

P_u : Beban aksial yang bekerja (kg)

A_s : Luas tulangan terpasang

Untuk tulangan tekan bagian atas bisa diberikan sebesar 20% dari tulangan utama. Selanjutnya untuk mempermudah perhitungan dimensi dan penulangan dari *pilecap* dapat dilihat diagram alir perhitungan pada Gambar 2.12



Gambar 2.12 Diagram alir perhitungan *pile cap*

2.6 Pembebanan

Berdasarkan peraturan pembebanan Indonesia untuk gedung, 1983, struktur gedung harus direncanakan kekuatannya terhadap pembebanan-pembebanan sebagai berikut :

2.6.1 Beban Mati

Beban mati adalah semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu (*PPIUG 1983 – pasal 1.0. ayat 1*).

Beban mati yang direncanakan pada Tugas Akhir ini diambil dari table 2.1. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983.

- | | |
|---|-------------------------|
| 1. Beban finishing (keramik) | = 24 kg/m ² |
| 2. Plester 2.5 cm (2.5 x 21 kg/m ²) | = 53 kg/m ² |
| 3. Beban ME | = 25 kg/m ² |
| 4. Beban plafond dan penggantung | = 18 kg/m ² |
| 5. Beban dinding bata | = 250 kg/m ² |

Beban material bangunan tergantung dari jenis bahan bangunan yang dipakai. Contoh berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung berdasarkan PPIUG table 2.1 adalah :

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| 1. Baja | = 7850 kg/m ³ |
| 2. Batu alam | = 2600 kg/m ³ |
| 3. Beton bertulang | = 2400 kg/m ³ |
| 4. Pasangan batu merah | = 1700 kg/m ³ |

2.6.2 Beban Hidup

Adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari beban-beban yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan lantai tersebut. Khusus pada atap kedalam beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (energi kinetic)

butiran air (*PPIUG 1983 – pasal 1.0. ayat 2*).Beban hidup yang direncanakan pada Tugas Akhir ini diambil dari Tabel 3.1.Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983.

- Parkir = 400 kg/m²
- Parkir lantai bawah = 800 kg/m²
- Lantai kantor = 250 kg/m²
- Lantai sekolah = 250 kg/m²
- Ruang pertemuan = 400 kg/m²
- Ruang dansa = 500 kg/m²
- Lantai olahraga = 400 kg/m²
- Tangga dan bordes = 300 kg/m²

2.6.3 Beban Angin

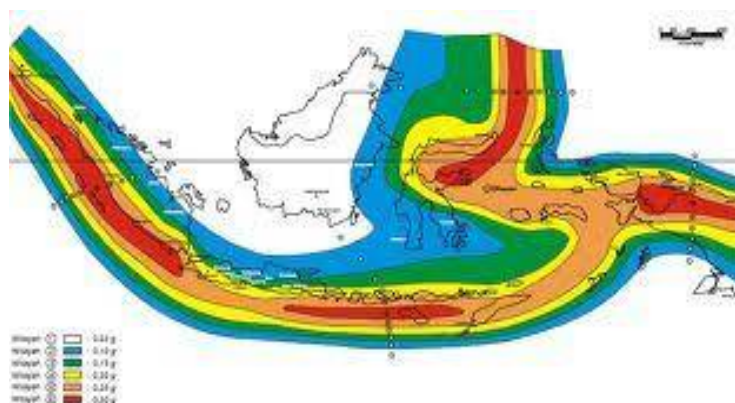
Adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.

Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan positif dan tekanan negatif ini dinyatakan dalam kg/m², ditentukan dengan mengalikan tekanan tiup yang ditentukan dalam pasal 4.2. dengan koefisien-koefisien angin yang ditentukan dalam pasal 4.3.

2.6.4 Beban Gempa

Struktur bangunan bertingkat tinggi harus dapat memikul beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut, diantaranya beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi adalah beban mati struktur dan beban hidup sedangkan yang termasuk beban lateral adalah beban angin dan beban gempa.

Berdasarkan (SNI 1726-2002) Indonesia dibagi menjadi 6 wilayah gempa seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.1. Pembagian wilayah gempa ini, didasarkan atas percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh gempa rencana dengan periode ulang 500 tahun, yang nilai rata-ratanya untuk stiap wilayah gempa ditetapkan dalam Table 2.1



Gambar 2.13 Pembagian Wilayah Gempa untuk Indonesia

Sumber: SNI 1726-2002

Table 2.1 Percepatan Puncak Batuan untuk Masing-masing Wilayah Gempa

Wilayah Gempa	Percepatan puncak batuan dasar (g')	Percepatan puncak muka tanah A_0 (g')			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,04	0,05	0,08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0,10	0,12	0,15	0,20	
3	0,15	0,18	0,23	0,30	
4	0,20	0,24	0,28	0,34	
5	0,25	0,28	0,32	0,36	
6	0,30	0,33	0,36	0,38	

Sumber: SNI 1726-2002

Gaya gempa vertikal harus diperhitungkan untuk unsur-unsur struktur gedung yang memiliki kepekaan yang tinggi terhadap beban gravitasi dari dua atau lebih tingkat di atasnya serta balok beton pratekan berbentang panjang. Sedangkan gaya gempa lateral bekerja pada setiap pusat massa lantai.

Beban gempa nilainya ditentukan oleh 3 hal, yaitu oleh besarnya probabilitas beban itu dilampaui dalam kurun waktu tertentu, oleh tingkat daktilitas struktur yang mengalaminya, dan oleh kekuatan lebih yang terkandung didalam struktur tersebut. Peluang terlampauinya beban nominal tersebut dalam kurun waktu umur gedung 50 tahun adalah 10% dan gempa yang menyebabkannya adalah gempa rencana dengan periode ulang 500 tahun.

2.6.5 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SK SNI-03-2847-2002 dikatakan pada ketentuan umum pasal 11.1.1 bahwa struktur dan komponen struktur harus direncanakan hingga semua penampang mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu yang

dihitung berdasarkan kombinasi beban dan gaya terfaktor yang sesuai dengan ketentuan tata cara ini. Pasal 11.1.2 mengatakan bahwa komponen struktur juga harus memenuhi ketentuan lain yang tercantum dalam tata cara ini untuk menjamin tercapainya perilaku struktur yang cukup baik pada tingkat beban kerja. Beban yang bekerja pada struktur harus dikalikan dengan beberapa faktor beban sebagai berikut:

1. Kuat perlu (SK SNI-03-2847-2002, *hal.* 59 pasal 11.2.1).

Kuat perlu U untuk menahan beban mati D paling tidak harus sama dengan:

$$U = 1,4 D$$

Kuat perlu U untuk menahan beban mati D , beban hidup L dan juga beban atap A atau beban hujan R , paling tidak harus sama dengan:

$$U = 1,2D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R)$$

2. (SK SNI-03-2847-2002, *hal.* 59 pasal 11.2.2) bila ketahanan struktur terhadap beban angin W harus diperhitungkan dalam perencanaan, maka pengaruh kombinasi beban D , L dan W berikut harus ditinjau untuk menentukan nilai U yang terbesar, yaitu:

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,6 W + 0,5 (A \text{ atau } R)$$

Kombinasi beban juga harus memperhitungkan kemungkinan beban hidup L yang penuh dan kosong untuk mendapatkan kondisi yang paling berbahaya, yaitu:

$$U = 0,9D \pm 1,6 W$$

3. Kombinasi pembebanan sementara akibat gempa.

$$U = 1,2 D + 0,5 L \pm 1,0 (I/R) E$$

dimana :

D = Beban Mati

L = Beban Hidup

E = Beban Gempa

I = Faktor Keutamaan Struktur

2.6.6 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)

Ketidakpastian kekuatan bahan terhadap pembebanan pada komponen struktur dianggap sebagai faktor reduksi kekuatan ϕ yang nilainya ditentukan menurut pasal 11.3 (SK SNI-03-2847-2002). Nilai ketentuan tersebut adalah sebagai berikut:

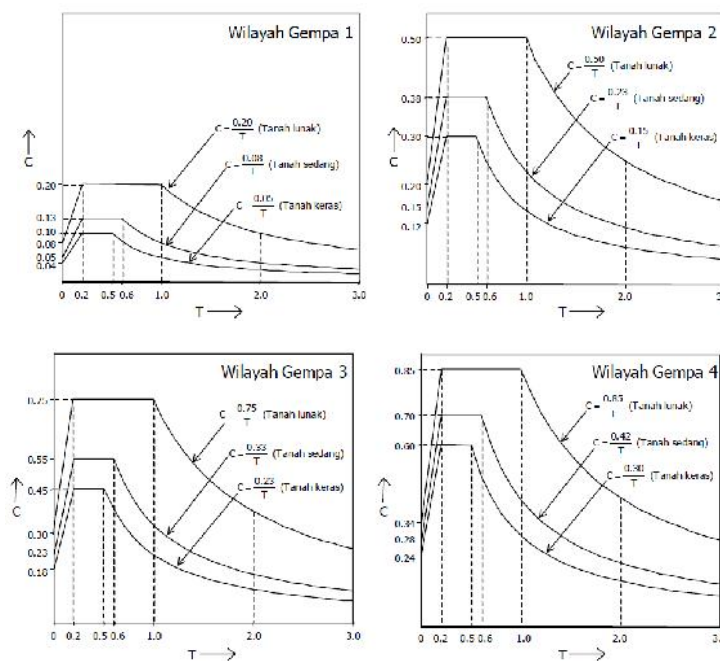
1. Struktur lentur tanpa beban aksial (misalnya: balok), $\phi = 0,80$.

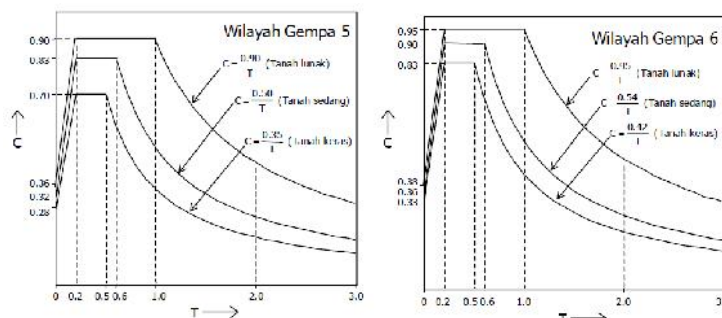
2. Beban aksial dan beban aksial dengan lentur:
 - a. Aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur, $\phi = 0,80$.
 - b. Aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur:
 - Komponen struktur dengan tulangan spiral atau sengkang ikat, $\phi = 0,70$.
 - Komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa, $\phi = 0,60$.
 - c. Geser dan torsi, $\phi = 0,75$.
 - d. Tumpuan pada beton, $\phi = 0,65$.

A. Faktor respons gempa (C)

Faktor respons gempa C dinyatakan dalam percepatan gravitasi yang nilainya tergantung pada waktu getar alami struktur gedung dan kurvanya dicantumkan dalam spectrum respons gempa rencana.

Faktor respons gempa ditunjukkan pada gambar 2 SNI-03-1726-2002. dalam gambar tersebut C adalah faktor respons gempa dinyatakan dalam percepatan gravitasi dan T adalah waktu getar alami struktur gedung yang dinyatakan dalam detik.





Gambar 2.14 Diagram respons spectrum gempa rencana

Sumber: SNI 1726-2002

B. Taksiran waktu getar alami struktur

Perhitungan taksiran waktu secara empiris sesuai dengan Method A dari UBC Section 1630.2.2, adalah :

$$T_{1/e} = C \times (hn)^{3/4}$$

Dimana:

C = Koefisien untuk bangunan beton bertulang (0,0731)

hn = Tinggi gedung dalam m, diukur dari taraf penjepitan

C. Pembatasan waktu getar alami fundamental T_1

Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental T_1 dari struktur gedung harus dibatasi, bergantung pada koefisien ζ untuk wilayah gempa tempat struktur gedung berada dan jumlah tingkatnya n .

$$T_1 = \zeta \times n$$

Dimana :

ζ = Koefisien yang tergantung wilayah gempa

n = Jumlah tingkat gedung yang tinjau

Tabel 2.2 Koefisien yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung

Wilayah Gempa	ζ
1	0,20
2	0,19
3	0,18
4	0,17
5	0,16
6	0,15

Sumber: SNI 1726-2002

D. Beban gempa nominal static ekuivalen/beban geser dasar

Berdasarkan SNI 03 – 1726 – 2002.Pasal 6.1.2., Struktur gedung dapat direncanakan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam arah masing-masing sumbu utama denah tersebut.

Apabila kategori gedung memiliki faktor keutamaan I menurut Tabel 1 dan strukturnya untuk suatu arah sumbu utama denah struktur dan sekaligus arah pembebanan gempa rencana memiliki faktor reduksi R dan waktu getar alami fundamental T_1 , maka beban geser dasar nominal statik ekuivalen V yang terjadi di tingkat dasar dihitung dengan rumus :

$$V = \frac{C.I.Wt}{R}$$

Dimana :

V = Gaya geser dasar nominal

C = Faktor respons gempa

I = Faktor keutamaan gedung

W = Berat total gedung termasuk beban hidup yang bekerja

R = Faktor reduksi gempa

E. Distribusi gaya geser horisontal gempa

Menurut Beban geser dasar nominal V menurut pasal 6.1.2 harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen F_i yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke-i dengan rumus :
(SNI 03 – 1726 – 2002,Pasal 6.1.3)

$$F_i = \frac{W_i.z_i}{\sum_{i=1}^n W_i.z_i} = V$$

Dimana :

F_i = Gempa nominal statik ekuivalen

W_i = Berat lantai tingkat ke-i termasuk beban hidup

Z_i = Ketinggian lantai tingkat ke-i diukur dari taraf penjepitan lateral

2.7 SAP2000

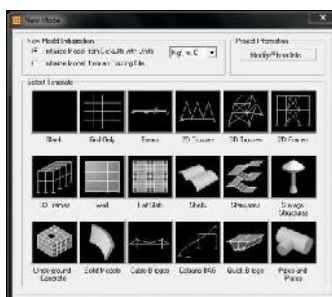
SAP 2000 adalah program yang menyediakan pilihan, antara lain membuat model struktur baru, memodifikasi dan merancang element struktur. Semua hal tersebut dapat dilakukan melalui *User Interface* yang sama. Program ini dirancang

sangat interaktif, sehingga beberapa hal dapat di lakukan, misalnya mengontrol kondisi tegangan pada element struktur, mengubah dimensi batang dan mengganti peraturan perancangan tanpa harus mengulang analisis struktur. Program ini telah di lengkapi dengan beberapa template seperti 2D dan 3D frame, wall, shell, staircase, Brigde Wizard dan lain-lain untuk mempermudah dalam memodel struktur. SAP 2000 merupakan program versi terakhir yang paling lengkap dari sesi-sesi program analisis struktur SAP, baik SAP 80 maupun SAP 90. Keunggulan program SAP 2000 antara lain di tunjukan dengan adanya fasilitas untuk desain elemen, baik untuk material baja maupun beton. Di samping itu adanya fasilitas baja dengan mengoptimalkan penampang, sehingga pengguna tidak perlu menentukan profil untuk masing-masing elemen, tetapi cukup memberikan data profil secukupnya, dan program akan memilih sendiri profil yang paling optimal atau ekonomis.

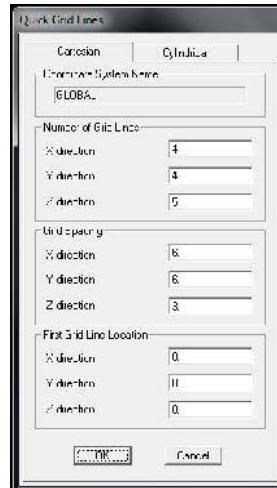
2.7.1 Langkah-langkah Menjalankan Sap2000

1. Buat file pekerjaan baru

- File
- Grid Only
- Atur satuan dalam ukuran panjang (m), dapat dilihat pada gambar 2.15 jenis permodelan
- Atur grid sesuai dengan gambar struktur (x, y, z). Grid berfungsi sebagai garis bantu untuk menginput elemen struktur, dapat dilihat pada gambar 2.16 pengaturan grid



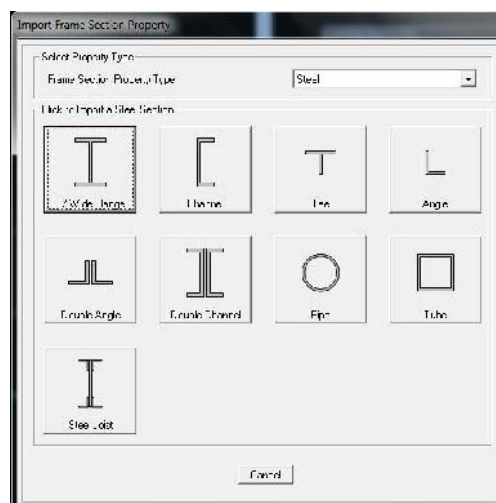
Gambar 2.15 Jenis permodelan



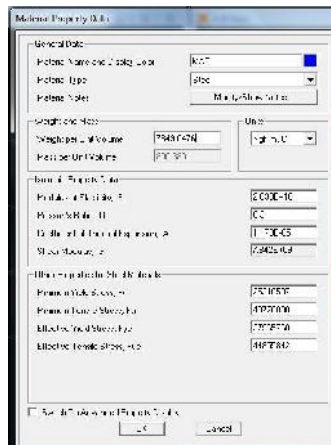
Gambar 2.16 Pengaturan grid

2. Mendefinisikan material yang akan dipakai

- Define
- Material (*add new material*), dapat dilihat pada gambar 2.17 material property data
- Ganti *Weight per unit volume* dari tiap-tiap material (untuk baja 7850 kg/m³ dan untuk beton 540 kg/m³)
- Ganti *modulus of elasticity* tiap-tiap material (untuk baja $2,1 \times 10^6$ kg.cm² dan untuk beton $4700\sqrt{f_c'}$)
- Ganti mutu baja sesuai yang digunakan
- Pilih jenis material yang akan digunakan, dapat dilihat pada gambar 2.18 pemilihan jenis material



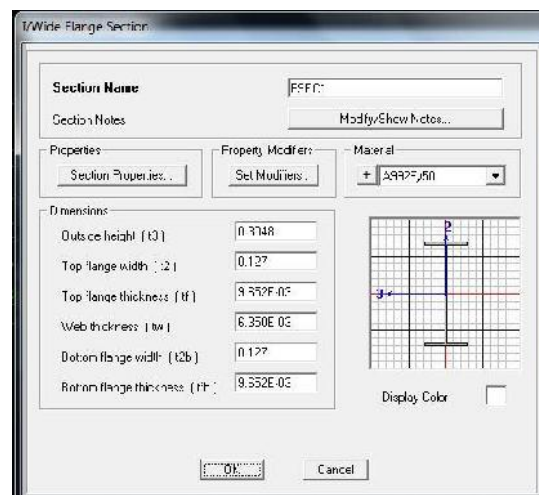
Gambar 2.17 Material property data



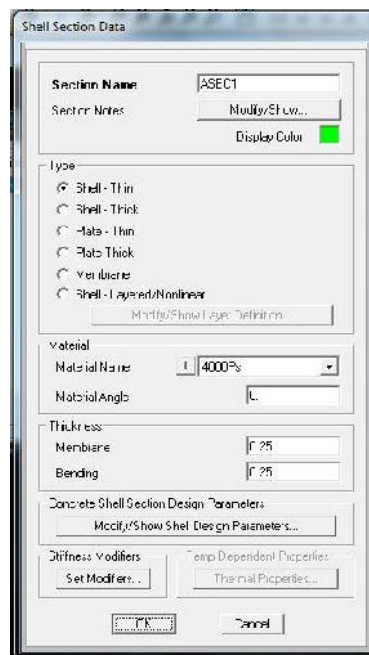
Gambar 2.18 Pemilihan jenis material

3. Mendefinisikan penampang struktur yang akan digunakan.

- Define
- Frame section
- Add new property, dapat dilihat pada gambar 2.19 pembuatan dimensi penampang
- Pilih jenis tipe penampang yang akan digunakan
- Masukkan ukuran serta material yang digunakan, dapat dilihat pada gambar 2.20 pembuatan dimensi plat



Gambar 2.19 Pembuatan dimensi penampang



Gambar 2.20 Pembuatan dimensi plat

4. Mendefinisikan tipe beban

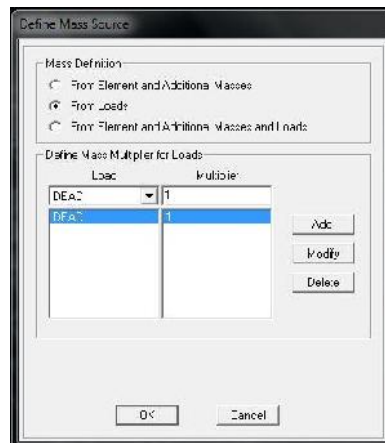
- Define
- Load case
- Beban mati / Dead, self weight multiplier = 1(satu dimaksudkan berat sendiri elemen struktur dihitung secara otomatis oleh program
- Beban hidup /Live, self weight multiplier = 0,
- Bila ada beban gempa bisa langsung dimasukkan, dapat dilihat pada gambar 2.21 pendefinisian tipe beban



Gambar 2.21 Pendefinisian tipe beban

5. Mendefinisikan sumber beban

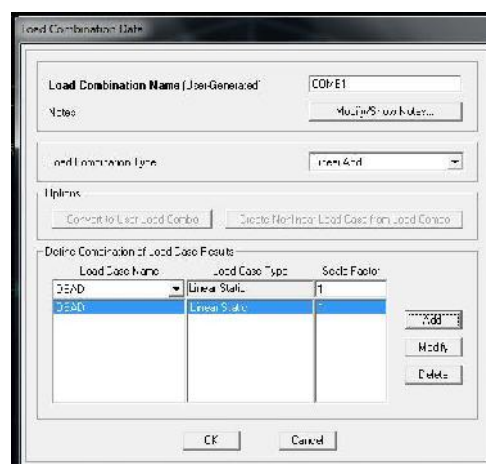
- Define
- Mass source
- Mass definition
- From load (Dead = 1 / live = 0,3), dapat dilihat pada gambar 2.22 define mass source



Gambar 2.22 Define mass source

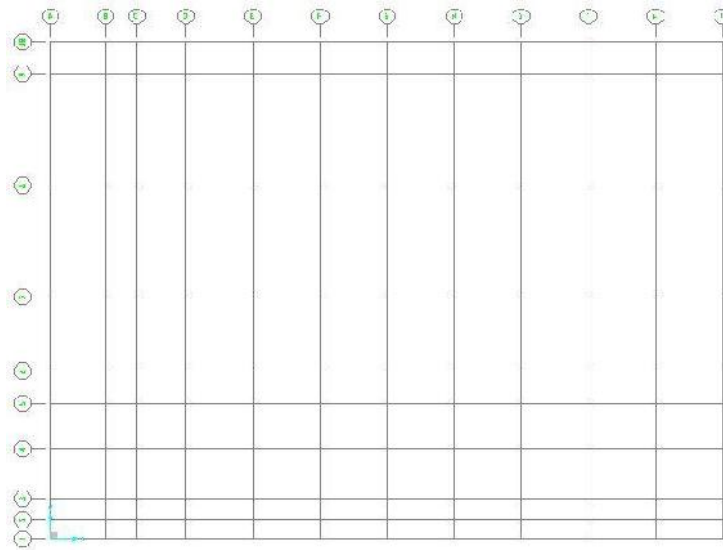
6. Mendefinisikan kombinasi beban

- Define
- Combination
- Combo 1 (1.4 DL)
- Combo 2 (1.2 DL + 1.6 LL), dapat dilihat pada gambar 2.23 kombinasi beban



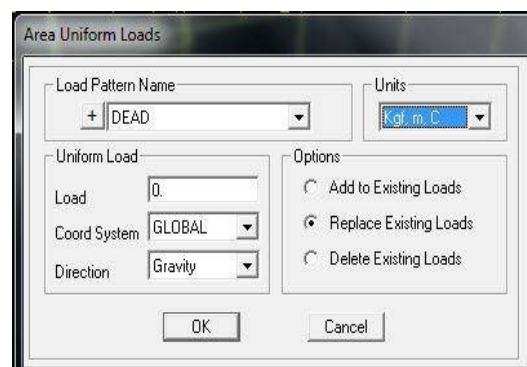
Gambar 2.23 Kombinasi beban

7. Gambar elemen struktur pada grid yang dibuat sebelumnya sesuai dengan tata letak elemen struktur rencana. Dilihat pada gambar 2.24



Gambar 2.24 Gambar elemen struktur

8. Memasukan beban-beban yang terjadi pada elemen struktur balok, kolom, pelat dan beban yang bekerja pada elemen struktur berupa berat sendiri struktur, beban atap, beban pelat lantai, beban gempa, beban plafon, beban dinding, beban hidup, beban penutup lantai.
- Pilih elemen struktur yang akan di berikan beban seperti balok, pelat
 - Assign
 - Frame load atau area load
 - Pilih jenis beban
 - Pilih satuan untuk beban yang bekerja
 - Masukan besar beban, dapat dilihat pada gambar 2.25 dan 2.26 beban yang bekerja di plat dan balok



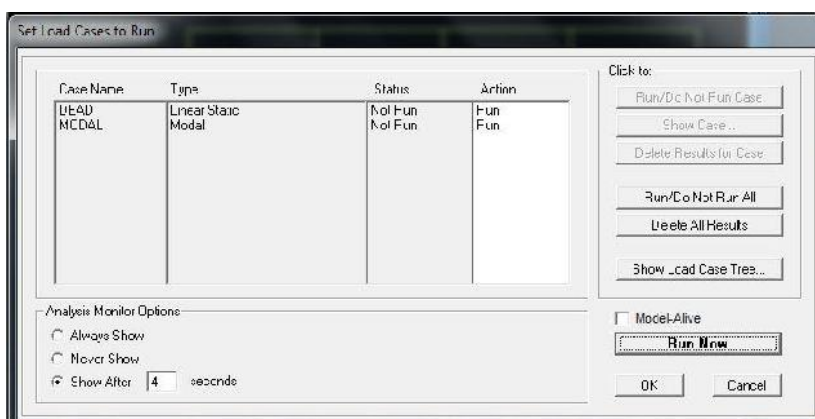
Gambar 2.25 Gambar beban yang bekerja diplat



Gambar 2.26 Gambar beban yang bekerja pada balok

9. Analisa bangunan

- F5
- Run now, dapat dilihat pada gambar 2.27 analisa bangunan



Gambar 2.27 Analisa bangunan

2.8 Metode Pelaksanaan Tiang Pancang

Aspek teknologi sangat berperan dalam suatu proyek konstruksi. Umumnya, aplikasi teknologi ini banyak diterapkan dalam metode pelaksanaan pekerjaan konstruksi. Penggunaan metode yang tepat, praktis, cepat dan aman, sangat membantu dalam penyelesaian pekerjaan pada suatu proyek konstruksi. Sehingga target waktu, biaya dan mutu sebagaimana ditetapkan dapat tercapai.

Langkah - langkah dari pekerjaan untuk dimensi kubus/ ukuran dan tiang pancang:

1. Menghitung daya dukung yang didasarkan pada karakteristik tanah dasar yang diperoleh dari penyelidikan tanah. Dari sini, kemudian dihitung kemungkinan nilai

daya dukung yang diizinkan pada berbagai kedalaman, dengan memperhatikan faktor aman terhadap keruntuhan daya dukung yang sesuai, dan penurunan yang terjadi harus tidak berlebihan.

2. Menentukan kedalaman, tipe, dan dimensi pondasinya. Hal ini dilakukan dengan jalan memilih kedalaman minimum yang memenuhi syarat keamanan terhadap daya dukung tanah yang telah dihitung. Kedalaman minimum harus diperhatikan terhadap erosi permukaan tanah, pengaruh perubahan iklim, dan perubahan kadar air. Bila tanah yang lebih besar daya dukungnya berada dekat dengan kedalaman minimum yang dibutuhkan tersebut, dipertimbangkan untuk meletakkan dasar pondasi yang sedikit lebih dalam yang daya dukung tanahnya lebih besar. Karena dengan peletakan dasar pondasi yang sedikit lebih dalam akan mengurangi dimensi pondasi, dengan demikian dapat menghemat biaya pembuatan pelat betonnya.

3. Ukuran dan kedalaman pondasi yang ditentukan dari daya dukung diizinkan dipertimbangkan terhadap penurunan toleransi. Bila ternyata hasil hitungan daya dukung ultimit yang dibagi faktor aman mengakibatkan penurunan yang berlebihan, dimensi pondasi diubah sampai besar penurunan memenuhi syarat.

Tahapan pekerjaan pondasi tiang pancang adalah sebagai berikut :

A. Pekerjaan Persiapan

1. Membubuhi tanda, tiap tiang pancang harus dibubuhi tanda serta tanggal saat tiang tersebut dicor. Titik-titik angkat yang tercantum pada gambar harus dibubuhi tanda dengan jelas pada tiang pancang. Untuk mempermudah perekaan, maka tiang pancang diberi tanda setiap 1 meter.
2. Pengangkatan/pemindahan, tiang pancang harus dipindahkan/diangkat dengan hati-hati sekali guna menghindari retak maupun kerusakan lain yang tidak diinginkan.
3. Rencanakan final set tiang, untuk menentukan pada kedalaman mana pemancangan tiang dapat dihentikan, berdasarkan data tanah dan data jumlah pukulan terakhir (final set).
4. Rencanakan urutan pemancangan, dengan pertimbangan kemudahan manuver alat. Lokasi stock material agar diletakkan dekat dengan lokasi pemancangan.
5. Tentukan titik pancang dengan theodolith dan tandai dengan patok.

6. 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.

Proses penyambungan tiang :

- a. Tiang diangkat dan kepala tiang dipasang pada helmet seperti yang dilakukan pada batang pertama.
- b. Ujung bawah tiang didudukkan diatas 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.
7. Selesai penyambungan, pemancangan dapat dilanjutkan seperti yang dilakukan pada batang pertama. Penyambungan dapat diulangi sampai mencapai kedalaman tanah keras yang ditentukan.
8. Pemancangan tiang dapat dihentikan bila ujung bawah tiang telah mencapai lapisan tanah keras/final set yang ditentukan.
9. Pemotongan tiang pancang pada cut off level yang telah ditentukan.

B. Proses Pengangkatan

1. 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 $\frac{1}{5} L$. Untuk mendapatkan jarak harus diperhatikan momen maksimum pada bentangan, haruslah sama dengan momen minimum pada titik angkat tiang sehingga dihasilkan momen yang sama.

Pada prinsipnya pengangkatan dengan dua tumpuan untuk tiang beton adalah dalam tanda pengangkatan dimana tiang beton pada titik angkat berupa kawat yang terdapat pada tiang beton yang telah ditentukan dan untuk lebih jelas dapat dilihat oleh gambar.

2. 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 pengangkatan satu tumpuan ini adalah jarak antara kepala tiang dengan titik anker berjarak $L/3$. Untuk mendapatkan jarak ini, haruslah diperhatikan bahwa momen maksimum pada tempat pengikatan tiang sehingga dihasilkan nilai momen yang sama.

C. Proses Pemancangan

1. Alat pancang ditempatkan sedemikian rupa sehingga as hammer jatuh pada patok titik pancang yang telah ditentukan.
2. Tiang diangkat pada titik angkat yang telah disediakan pada setiap lubang.
3. Tiang didirikan disamping *driving lead* dan kepala tiang dipasang pada helmet yang telah dilapisi kayu sebagai pelindung dan pegangan kepala tiang.
4. Ujung bawah tiang didudukkan secara cermat diatas patok pancang yang telah ditentukan.
5. 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.
6. Pemancangan dimulai dengan mengangkat dan menjatuhkan hammer secara kontiniu ke atas helmet yang terpasang diatas kepala tiang.

D. Quality Control

1. Kondisi fisik tiang
 - a. Seluruh permukaan tiang tidak rusak atau retak
 - b. Umur beton telah memenuhi syarat
 - c. Kepala tiang tidak boleh mengalami keretakan selama pemancangan

2. Toleransi

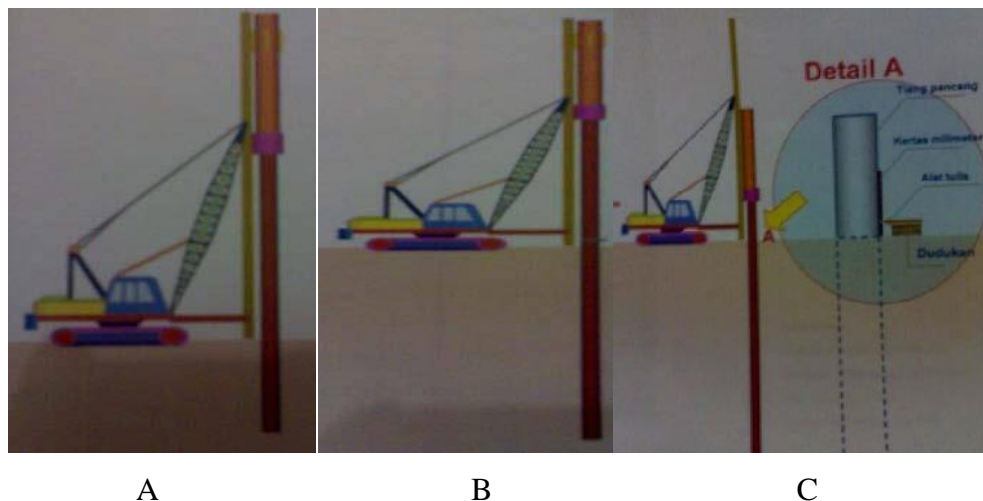
Vertikalisasi tiang diperiksa secara periodik selama proses pemancangan berlangsung. Penyimpangan arah vertikal dibatasi tidak lebih dari 1:75 dan penyimpangan arah horizontal dibatasi tidak lebih dari 75 mm.

3. Penetrasi

Tiang sebelum dipancang harus diberi tanda pada setiap setengah meter di sepanjang tiang untuk mendeteksi penetrasi per setengah meter. Dicatat jumlah pukulan untuk penetrasi setiap setengah meter.

4. Final set

Pamancangan baru dapat dihentikan apabila telah dicapai final set sesuai perhitungan. Pada gambar 2.28 dapat dilihat urutan pemancangan.



A

B

C

Gambar 2.28 Urutan pemancangan : (a) Pemancangan tiang, (b) Penyambungan tiang, (c) Kalendering/final set.

Sumber : (Universitas Sumatra Utara)