

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Uraian Umum

Ali Asroni (2010) menjelaskan bahwa secara garis besar, struktur bangunan dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu struktur bangunan di dalam tanah dan struktur bangunan di atas tanah. Struktur bangunan di dalam tanah sering disebut struktur bawah, sedangkan struktur bangunan di atas tanah disebut struktur atas. Struktur bawah dari bangunan disebut pondasi, yang bertugas untuk memikul bangunan di atasnya. Seluruh beban dari bangunan, termasuk beban-beban yang bekerja pada bangunan dan berat pondasi sendiri, harus dipindahkan atau diteruskan oleh pondasi ke tanah dasar dengan sebaik-baiknya.

Menurut M. Shoman (2010), pondasi adalah suatu konstruksi bagian dasar bangunan yang berfungsi sebagai penerus beban dari struktur ke lapisan tanah dibawahnya yang diharapkan bisa menghindari terjadinya:

- a. Keruntuhan geser,
- b. Penurunan yang berlebihan.

Dalam perencanaan pondasi untuk suatu konstruksi dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi. Pemilihan tipe pondasi ini didasarkan atas:

- a. Fungsi bangunan atas (*super structure*) yang akan dipikul oleh pondasi tersebut,
- b. Besarnya beban dan beratnya bangunan atas,
- c. Keadaan tanah dimana bangunan tersebut akan didirikan,
- d. Biaya pondasi dibandingkan dengan bangunan diatas.

Pondasi tiang adalah konstruksi pondasi yang mampu menahan gaya orthogonal ke sumbu tiang dengan cara menyerap lenturan. Pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang yang terdapat di bawah konstruksi, dengan tumpuan pondasi (K. Nakazawa, 1983).

2.2. Pembebanan

Edward (2015), Beban – beban pada struktur gedung dapat terdiri dari beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa, beban air dan beban khusus lainnya seperti beban getaran mesin, beban kejut listrik dan lain – lain. Beban-beban yang direncanakan akan bekerja dalam struktur gedung tergantung dari fungsi ruangan, lokasi, bentuk, kekakuan, massa dan ketinggian gedung itu sendiri. Jenis beban yang akan dipakai dalam perencanaan ini adalah beban hidup (LL), beban mati (DL) dan beban gempa (E).

2.2.1. Beban Mati (*dead load*)

Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu bangunan yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari bangunan itu. Sebagai contoh berdasarkan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPURG 1987):

- | | |
|---|-------------------------|
| 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 dinding (setengah batu) | = 250 kg/m ² |

2.2.2. Beban Hidup (*Live Load*)

Dalam PPURG (1987) disebutkan bahwa beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang 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 atap tersebut. Khusus pada atap ke dalam beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (energi kinetik) butiran air.

Beban hidup pada lantai gedung dari Tabel 2 Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPURG 1987):

- 1) Lantai sekolah = 250 kg/m^2
- 2) Lantai ruang dansa = 500 kg/m^2
- 3) Lantai ruang olah raga = 400 kg/m^2

2.2.3. Beban Angin

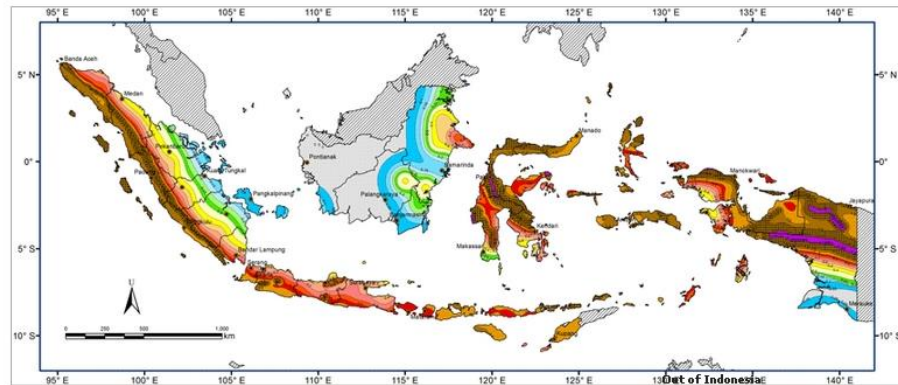
Dalam PPURG (1987) disebutkan bahwa beban angin ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih tekanan udara. Tekanan tiup harus diambil minimum 25 kg/m^2 , dan ditepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai harus diambil minimum 40 kg/m^2 .

2.2.4. Beban Gempa

Selanjutnya PPURG (1987) juga menyatakan beban gempa sebagai semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh, gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu.

Menurut Edward (2015), Indonesia ditetapkan terbagi dalam 6 wilayah gempa seperti yang ditunjukkan gambar, dimana wilayah gempa 1 adalah wilayah dengan kegempaan paling rendah dan wilayah 6 adalah wilayah dengan kegempaan paling tinggi.

Dalam hal pembebanan gempa, penentuan lokasi akan berpengaruh terhadap perhitungan beban gempa. Perencanaan struktur gedung di wilayah gempa 1 dan 6 akan sangat berbeda.



KETERANGAN (S_{SI} , MCE_R):



Dikembangkan oleh :
Tim Revisi Peta Gempa Indonesia-2010 bersama dengan Tim Pengembangan Peta Gerak Tanah Seismik dan Koefisien Risiko.

Didukung Oleh :
Kementerian Pekerjaan Umum (PU), Institut Teknologi Bandung (ITB), Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Kementerian Riset dan Teknologi, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) + Australia-Indonesia Facility for Disaster Reduction (AIFDR), dan software dari United States Geological Survey (USGS).

PETA ZONASI GEMPA INDON



Gambar 2.1. Pembagian wilayah gempa di Indonesia menurut percepatan
Sumber: <https://purbolaras.wordpress.com/2012/07/23/program-grafik-gempa-sni/>

Pada perencanaan sistem struktur penahan beban horizontal dari suatu gedung, beban hidup pada gedung itu ikut menentukan besarnya beban gempa yang harus dipikul oleh system struktur tersebut dan untuk menentukan beban gempa koefisien reduksi beban hidup dapat dilihat pada tabel 2.1. berikut:

Tabel 2.1. Koefisien beban hidup

Penggunaan gedung	Koefisien reduksi beban hidup	
	Untuk perencanaan balok induk dan portal	Untuk peninjauan gempa
PERUMAHAN/PENGHUNIAN		
Rumah tinggal, asrama, hotel, rumah sakit	0,75	0,30
PENDIDIKAN		
Sekolah, ruang kuliah	0,90	0,50
PERTEMUAN UMUM		
Mesjid, gereja, bioskop, restoran, ruang dansa, ruang pagelaran	0,60	0,50
KANTOR		
Kantor, bank	0,80	0,30
PERDAGANGAN		
Toko, toserba, pasar	0,80	0,80
PENYIMPANAN		
Gudang, perpustakaan, ruang arsip	1,00	0,80
INDUSTRI		
Pabrik, bengkel	0,90	0,90
TEMPAT KENDARAAN		
Garasi, gedung parkir	0,90	0,50
GANG DAN TANGGA		
Perumahan/penghunan,	0,75	0,30
pendidikan, kantor,	0,75	0,50
pertemuan umum, perdagangan, penyimpanan,		
industry, tempat kendaraan.	0,90	0,50

Sumber: Edward, 2015

2.2.5. Beban Khusus

Menurut PPURG (1987), beban khusus ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang terjadi akibat selisih suhu, pengangkatan dan pemasangan, penurunan pondasi, susut, gaya-gaya tambahan yang berasal dari beban hidup seperti gaya rem yang berasal dari keran, gaya sentrifugal dan gaya dinamis yang berasal dari mesin-mesin, serta pengaruh-pengaruh khusus lainnya.

2.2.6. Kombinasi Pembebanan

Menurut Anonim (2017), Kombinasi beban untuk desain pondasi terbagi menjadi 3 bagian yaitu kombinasi beban dengan meninjau pengaruh beban gravitasi, kombinasi beban dengan meninjau pengaruh gempa, serta kombinasi beban dengan meninjau pengaruh gempa dengan faktor kuat lebih.

a. Kombinasi beban dengan meninjau pengaruh beban gravitasi

Berdasarkan TPKB dan SNI 1726:2012 pasal 4.2.3 dan 7.4 kombinasi beban dengan meninjau pengaruh beban gravitasi diantaranya:

- 1) $D + (L+L_r)$
- 2) $D + F$
- 3) $D + 0.75 F_a$

b. Kombinasi beban dengan meninjau pengaruh gempa

Berdasarkan TPKB dan SNI 1726:2012 pasal 4.2.3 dan 7.4 kombinasi beban dengan meninjau pengaruh gempa diantaranya:

- 1) $(1+0.14S_{DS}) D \pm 0.63\rho EQ_x \pm 0.189\rho EQ_y$
- 2) $(1+0.14S_{DS}) D \pm 0.189\rho EQ_x \pm 0.63\rho EQ_y$
- 3) $(1+0.105S_{DS}) D + 0.75 (L+L_r) \pm 0.4725\rho EQ_x \pm 0.1418\rho EQ_y$
- 4) $(1+0.105S_{DS}) D + 0.75 (L+L_r) \pm 0.1418\rho EQ_x \pm 0.4275\rho EQ_y$
- 5) $0.6 D \pm 0.63\rho EQ_x \pm 0.189\rho EQ_y + 0.6 F$
- 6) $0.6 D \pm 0.189\rho EQ_x \pm 0.63\rho EQ_y + 0.6 F$

c. Kombinasi beban dengan meninjau pengaruh gempa dengan faktor kuat lebih

Berdasarkan TPKB dan SNI 1726:2012 pasal 4.2.3 dan 7.4 kombinasi beban dengan meninjau pengaruh gempa dan faktor kuat lebih diantaranya:

- 1) $(1+0.14S_{DS}) D \pm 0.63\Omega_0 EQ_x \pm 0.189 \Omega_0 EQ_y$
- 2) $(1+0.14S_{DS}) D \pm 0.189 \Omega_0 EQ_x \pm 0.63 \Omega_0 EQ_y$
- 3) $(1+0.105S_{DS}) D + 0.75 (L+L_r) \pm 0.4725 \Omega_0 EQ_x \pm 0.1418 \Omega_0 EQ_y$
- 4) $(1+0.105S_{DS}) D + 0.75 (L+L_r) \pm 0.1418 \Omega_0 EQ_x \pm 0.4275 \Omega_0 EQ_y$
- 5) $0.6 D \pm 0.63 \Omega_0 EQ_x \pm 0.189 \Omega_0 EQ_y + 0.6 F$
- 6) $0.6 D \pm 0.189 \Omega_0 EQ_x \pm 0.63 \Omega_0 EQ_y + 0.6 F$

2.3. Pemodelan Struktur

2.3.1. Prinsip Dasar

Pemodelan struktur adalah pembuatan data numerik (matematis) mewakili struktur real yang digunakan sebagai input data komputer. Macleod (1990) mengusulkan sebaiknya dalam pembuatan model struktur adalah :

- 1) Jangan terlalu rumit dari yang diperlukan. Jika dapat dibuat model yang simpel tetapi representatif, maka itu umumnya yang berguna.
- 2) Berkaitan hal di atas, dalam pemodelan kadang-kadang perlu beberapa tahapan model. Ada yang secara keseluruhan (makro model) dan lainnya pada bagian-bagian tertentu saja tetapi lebih detail (mikro model). Jangan berkeinginan membuat model secara keseluruhan dengan ketelitian yang sama untuk setiap detail.
- 3) Apakah modelnya simpel tapi masih representatif, maka perlu mengetahui perilaku struktur real. Faktor-faktor apa yang utama, atau sekunder yang dapat diabaikan. Tak ada jaminan bahwa banyak faktor maka hasilnya semakin baik (*lower bound theorem*).
- 4) Jangan langsung percaya pada hasil keluaran komputer, kecuali telah dilakukan validasi-validasi yang teliti dan ketat.
- 5) Meskipun sudah ada validasi-validasi yang ketat, jangan terlalu percaya dulu. Lihat asumsi-asumsi yang dipakai dalam pembuatan model analisis, apakah sudah logis dan mewakili kondisi struktur yang real.

2.3.2. Aplikasi ETABS

Program ETABS merupakan program analisis struktur yang dikembangkan oleh perusahaan software Computers and Structures, Incorporated (CSI) yang berlokasi di Barkeley, California, Amerika Serikat. Berawal dari penelitian dan pengembangan riset oleh Dr. Edward L. Wilson pada tahun 1970 di University of California, Barkeley, Amerika Serikat, maka pada tahun 1975 didirikan perusahaan CSI oleh Ashraf Habibullah (Budi Suryanto, 2014).

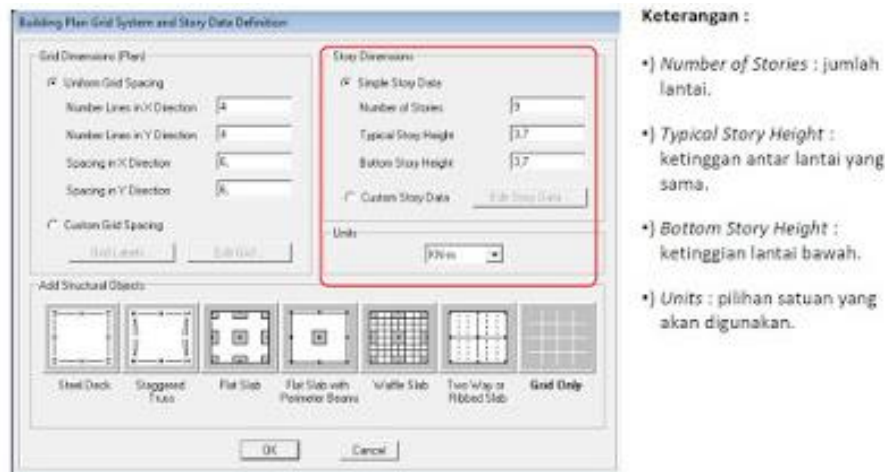
Program ETABS secara khusus difungsikan untuk menganalisis lima perencanaan struktur, yaitu analisis frame baja, analisis frame beton, analisis balok komposit, analisis baja rangka batang, analisis dinding geser. Penggunaan program ini untuk menganalisis struktur, terutama untuk bangunan tinggi sangat tepat bagi perencana struktur karena ketepatan dari output yang dihasilkan dan efektif waktu dalam menganalisisnya.

Menurut Riza (2015), kelebihan *software ETABS* antara lain:

- 1) Fitur ETABS lebih simple, ringan, dan cepat dioperasikan (*fast loading*), karena fitur dan menu yang hanya dikhususkan untuk desain Gedung saja.
 - a. Fitur/ fasilitas yang lebih lengkap (untuk kasus perencanaan struktur gedung),
 - b. Lebih ringan dan cepat saat diinstal di Computer (jika dibandingkan dengan software sejenis seperti SAP 2000),
 - c. Lebih cepat dalam melakukan *running analysis* (jika dibandingkan dengan software sejenis seperti SAP 2000),
 - d. Lebih cepat saat melakukan pemodelan struktur,
 - e. Tampilan 2D dan 3D yang bisa mencakup seluruh elemen,
 - f. Tampilan yang hampir sama dengan SAP 2000, karena dibuat oleh perusahaan yang sama pula (CSI), sehingga Anda yang sudah biasa menjalankan SAP 2000 tidak akan bingung saat mengoperasikan ETABS.

2) Data karakteristik Gedung dapat diinput dengan lebih mudah, cepat, dan praktis yang meliputi :

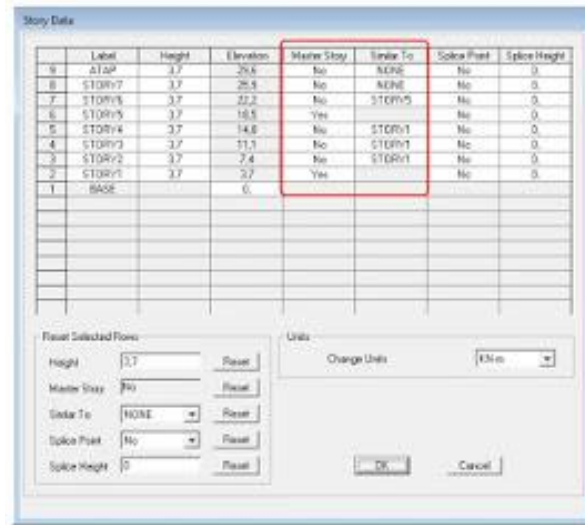
- a. Jumlah lantai (Number of Stories),
- b. Ketinggian antar lantai yang sama (Typical Story Height),
- c. Ketinggian lantai bawah (Bottom Story Height), dan
- d. Penentuan satuan (Units) yang akan digunakan.



Gambar 2.2. Kelebihan *software ETABS* dalam input data

Sumber: <http://www.perencanaanstruktur.com/2015/07/kelebihan-software-etabs-daripada-sap.html>

Karena denah struktur gedung cenderung mempunyai kesamaan (typical) dengan lantai-lantai di bawah atau di atasnya, sehingga dapat dibuat hubungan kesamaan antar lantai dengan menganggap satu/ beberapa lantai sebagai acuan lantai yang lain (Master Story) seperti ditunjukkan pada Gambar berikut:



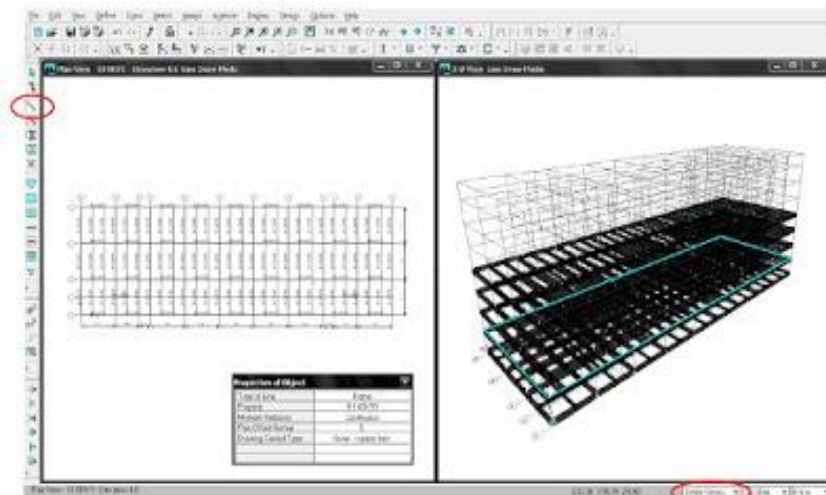
Keterangan :

-) Master Story : bagian lantai yang digunakan untuk acuan lantai yang lain.
-) Similar to : lantai yang mempunyai karakteristik yang sama (dengan Master Story).

Gambar 2.3. Kelebihan software ETABS dalam pendefinisian story

Sumber: <http://www.perencanaanstruktur.com/2015/07/kelebihan-software-etabs-daripada-sap.html>

- 3) Pemodelan elemen balok, kolom, dan plat lantai yang bisa dilakukan lebih mudah dengan Settingan Similar Story, sedangkan untuk kasus dimana lantai yang didesain berbeda dengan lantai yang lain, maka dapat digunakan pilihan One Story seperti ditunjukkan pada Gambar berikut :



Gambar 2.4. Kelebihan software ETABS dalam pendefinisian story

Sumber: <http://www.perencanaanstruktur.com/2015/07/kelebihan-software-etabs-daripada-sap.html>

2.4. Tanah

Tanah merupakan komponen dasar yang memiliki peranan penting pada suatu lokasi pekerjaan konstruksi. Menurut Nakazawa (1983), tanah adalah pondasi pendukung suatu bangunan, atau bahan konstruksi dari bangunan itu sendiri seperti tanggul atau bendungan atau kadang-kadang sebagai sumber penyebab gaya luar pada bangunan, seperti tembok atau dinding penahan tanah. Jadi tanah itu selalu berperan pada setiap pekerjaan teknik sipil. Tenaga-tenaga Teknik Sipil yang berkecimpung dalam perencanaan atau pelaksanaan bangunan perlu mempunyai pengertian yang mendalam mengenai fungsi-fungsi serta sifat tanah itu bila dilakukan pembebanan terhadapnya.

Menurut Das (1995) Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut.

2.4.1. SPT dan Hubungan Korelasi N_{SPT} dengan parameter tanah

Data tanah yang digunakan dalam desain adalah SPT (*Standart Penetration Test*). Pengujian ini 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 didapat, selanjutnya dipergunakan untuk mengidentifikasi pelapisan tanah. Hasil SPT ini disajikan dalam bentuk diagram boring log.

Menurut Skempton (1986), apabila pengujian SPT dilakukan di bawah muka air tanah di dalam pasir yang mengandung lanau, maka nilai N dipergunakan oleh tekanan air pori yang disebabkan oleh pemasukan tabung. Adanya lanau berarti tekanan air pori tidak dapat mengalir dengan cepat seperti pada pasir

murni. Dalam hal ini, pada nilai N yang lebih besar dari 15, diusulkan melakukan koreksi sesuai dengan persamaan berikut:

$$N' = 15 + \frac{1}{2}(N - 15)$$

Dimana dengan keterangan:

N' : Nilai terkoreksi

N : Nilai tak terkoreksi

Keuntungan dan kekurangan pengujian SPT adalah sebagai berikut:

Keuntungan

- 1) Digunakan dimana-mana
- 2) Dapat dilakukan pada segala macam tanah, termasuk tanah yang sangat kasar dan padar
- 3) Ada banyak korelasi dengan sifat tanah lain, khususnya kepadatan relative, kemungkinan terjadi liquefaction, dan kekuatan geser tak terdrainasi.

Kekurangan

- 1) Perlu adanya lubang bor sehingga harus ada mesin bor, yang berarti tanah pada dasar lubang bor sudah tidak asli akibat cara melaksanakan pengeboran.
- 2) Pengujian ini adalah caea dinamis, dan peralatan untuk melakukannya agak kasar.
- 3) Pengujian empiris, sehingga diperlukan korelasi dengan parameter parameter lain.
- 4) Belum ada standar yang lengkap tentang cara melakukan pengujian SPT, khususnya cara menjatuhkan beban penumpuk, boleh dengan cara “jatuh bebas” atau dengan kabel tetap disambung pada tabel.

2.4.1. Kekuatan Tanah sebagai Dasar Pondasi

Menurut Frick (dalam Edward, 2015) keadaan kekuatan tanah sebagai dasar pondasi tergantung pada susunan dan struktur tanah sebagai kulit bumi yang termakan cuaca dan air hujan. Semakin heterogen struktur tanah tersebut, semakin sulitlah perencanaan pondasi.

Kekuatan tanah dapat diselidiki dengan berbagai cara, antara lain :

- 1) Kedalaman dan ketebalan lapisan bumi, terutama lapisan yang akan menerima beban pondasi;
- 2) Tegangan tanah (σ) yang diizinkan;
- 3) Keadaan hidrologis (sifat – sifat dari lapisan tanah).

Perlu diperhatikan bahwa disamping kekuatan atau kelemahan, kekokohan landasan tanah juga dipengaruhi oleh :

- 1) Pemadatan dan penurunan tanah akibat vibrasi lalu lintas, peralatan berat perindustrian dan sebagainya;
- 2) Penurunan tanah akibat perubahan hidrologis (misalnya penurunan muka air tanah atau kadar air di dalam tanah) atau karena pengikisan pada tepi sungai dan sebagainya;
- 3) Pergeseran tanah atau longsor akibat tekanan berat, terendam air akibat banjir atau air pasang.

Menurut Edward (2015), hal tersebut mengakibatkan penurunan gedung yang tak terhindarkan. Perencanaan pondasi yang baik akan menghambat terjadinya penurunan. Namun, apabila terjadi penurunan masih dalam batas toleransi. Pondasi bangunan yang menjamin kestabilan / keseimbangan bangunan terhadap pembebanan (berat sendiri, beban hidup, retakan dan gerakan geologis kecil serta gaya tekan angin, gempa bumi dan sebagainya) harus diperhitungkan sedemikian rupa. Dengan pengetahuan tentang konsep

struktur, maka pondasi merupakan bagian struktur gedung yang mempunyai daya tahan paling lama sebagai landasan dari struktur bangunan.

2.5. Struktur Bawah (Pondasi)

Menurut Edward (2015), struktur bawah adalah struktur yang seluruh bagiannya berada dalam tanah atau berada di bawah permukaan tanah. Struktur bawah dari suatu bangunan terdiri atas pile cap dan pondasi namun komponen yang lebih dikenal adalah pondasi karena tugasnya lebih berat yaitu memikul beban bangunan di atasnya. Seluruh muatan (beban) dari bangunan, termasuk beban-beban yang bekerja pada bangunan dan berat pondasi sendiri, harus dipindahkan atau diteruskan oleh pondasi ke tanah dasar dengan sebaik-baiknya.

2.5.1. Pengertian Pondasi

Menurut Gunawan (1983), pondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang berfungsi meletakkan bangunan dan meneruskan beban bangunan atas (*upper structure/super structure*) ke dasar tanah yang cukup kuat mendukungnya. Untuk tujuan itu pondasi bangunan harus diperhitungkan dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban-beban berguna dan gaya-gaya luar, seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain-lain, dan tidak boleh terjadi penurunan pondasi setempat ataupun pondasi yang merata lebih dari batas tertentu.

Menurut Anugrah dkk (2013) pondasi adalah struktur bagian paling bawah dari suatu konstruksi (gedung, jembatan, jalan raya, terowongan, dinding penaha, menara, tanggul, dll) yang berfungsi untuk menyalurkan beban vertikal di atasnya (kolom) maupun beban horizontal ke tanah.

Menurut Bowles (1997) Pondasi merupakan bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh pondasi dan beratnya sendiri kepada dan kedalam tanah atau bebatuan yang terletak dibawahnya

Fungsi pondasi yaitu :

- 1) Sebagai kaki bangunan atau alas bangunan;
- 2) Sebagai penahan bangunan dan meneruskan beban dari atas ke dasar tanah yang cukup kuat;
- 3) Sebagai penjaga agar kedudukan bangunan tetap stabil (tetap).

2.5.2. Macam-Macam Pondasi

Pondasi bangunan biasanya dibedakan atas dua bagian yaitu pondasi dangkal (*shallow foundation*) dan pondasi dalam (*deep foundation*), tergantung dari letak tanah kerasnya dan perbandingan kedalaman dengan lebar pondasi. Pondasi dangkal kedalamannya kurang atau sama dengan lebar pondasi ($D \leq B$) dan dapat digunakan jika lapisan tanah kerasnya terletak dekat dengan permukaan tanah. Sedangkan pondasi dalam digunakan jika lapisan tanah keras berada jauh dari permukaan tanah.

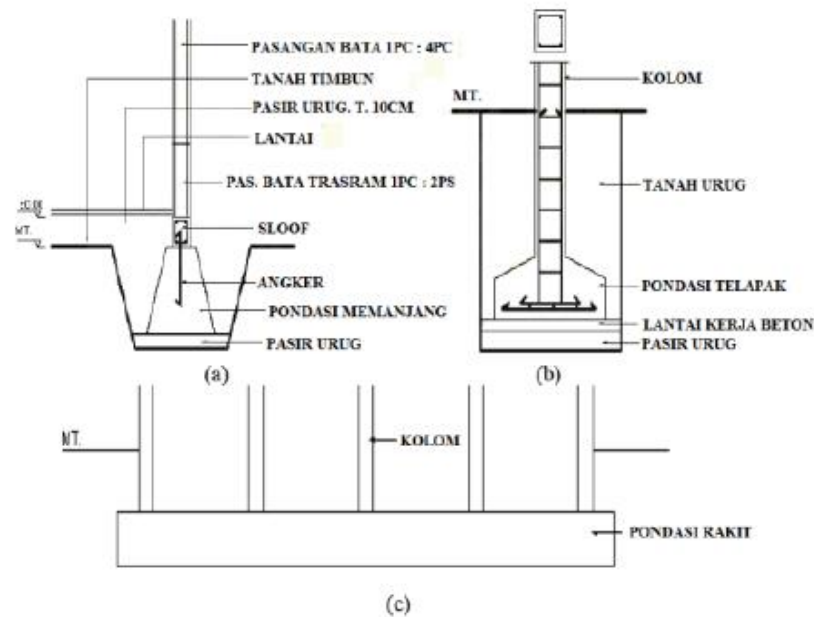
Pondasi dapat digolongkan berdasarkan kemungkinan besar beban yang harus dipikul oleh pondasi :

1) Pondasi dangkal

Pondasi dangkal adalah pondasi yang mendukung beban secara langsung seperti :

- a. Pondasi yang berdiri sendiri dalam mendukung kolom atau pondasi yang mendukung bangunan secara langsung pada tanah bilamana terdapat lapisan tanah yang cukup tebal dengan kualitas baik yang mampu mendukung bangunan itu pada permukaan tanah atau sedikit dibawah permukaan tanah. (Gambar 2.5b),
- b. Pondasi memanjang yaitu pondasi yang digunakan untuk mendukung sederetan kolom yang berjarak dekat sehingga bila dipakai pondasi telapak sisinya akan terhimpit satu sama lainnya (Gambar 2.5a),

- c. Pondasi rakit (*raft foundation*) yaitu pondasi yang digunakan untuk mendukung bangunan yang terletak pada tanah lunak atau digunakan bila susunan kolom-kolom jaraknya sedemikian dekat disemua arahnya, sehingga bila dipakai pondasi telapak, sisi-sisinya berhimpit satu sama lainnya (Gambar 2.5c).

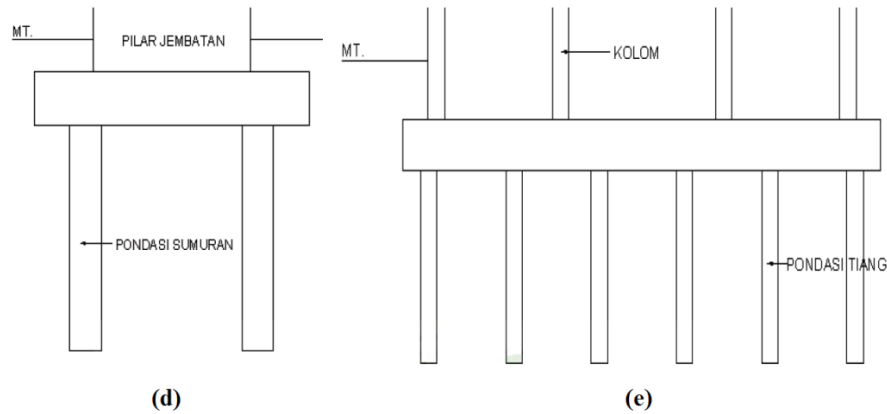


Gambar 2.5. Pondasi Dangkal
Sumber: Bowles, 1991

2) Pondasi dalam

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

- Pondasi sumuran (*pier foundation*) yaitu pondasi yang merupakan peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi tiang (Gambar 2.6d), digunakan bila tanah dasar yang kuat terletak pada kedalaman yang relatif dalam, dimana pondasi sumuran nilai kedalaman (D_f) dibagi lebarnya (B) lebih besar 4 sedangkan pondasi dangkal $D_f/B \leq 1$.
- Menurut Bowles (1991), pondasi tiang (*pile foundation*), digunakan bila tanah pondasi pada kedalaman yang normal tidak mampu mendukung bebannya dan tanah kerasnya terletak pada kedalaman yang sangat dalam (Gambar 2.6e). Pondasi tiang umumnya berdiameter lebih kecil dan lebih panjang dibanding dengan pondasi sumuran.



Gambar 2.6. Pondasi Dalam
Sumber: Bowles, 1991

2.5.3. Pemilihan Jenis Pondasi

Dalam menentukan alternatif pondasi yang sesuai, hal-hal yang perlu dipertimbangkan diantaranya keadaan tanah dimana bangunan didirikan, serta beban yang harus dipikul oleh pondasi.

Menurut Bowles J.E. (1993) pemilihan jenis pondasi yang tepat, perlu diperhatikan apakah pondasi tersebut sesuai dengan berbagai keadaan tanah :

- 1) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada permukaan tanah atau 2-3 meter dibawah permukaan tanah, dalam kondisi ini menggunakan pondasi telapak,
- 2) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 10 meter dibawah permukaan tanah, dalam kondisi ini menggunakan pondasi tiang apung,
- 3) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman 20 meter dibawah permukaan tanah, maka pada kondisi ini apabila penurunannya diizinkan dapat menggunakan tiang geser dan apabila tidak boleh terjadi penurunannya, biasanya menggunakan tiang pancang. Tetapi bila terdapat batu besar pada lapisan antara pemakaian kaison lebih menguntungkan,
- 4) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 30 meter dibawah permukaan tanah dapat menggunakan kaison terbuka, tiang baja

atau tiang yang dicor di tempat. Tetapi apabila tekanan atmosfer yang bekerja ternyata kurang dari 3 kg/cm² maka digunakan kaisan tekanan,

- 5) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 40 meter dibawah permukaan tanah, dalam kondisi ini maka menggunakan tiang baja dan tiang beton yang dicor ditempat.

Menurut Vesic (dalam Anonim, 2017), kondisi yang membutuhkan pondasi tiang diantaranya:

- 1) Ketika satu atau dua lapisan tanah bagian atas sangat *compressible* dan terlalu lemah untuk mendukung beban dari struktur atas;
- 2) Ketika dikenai gaya horizontal seperti bangunan tinggi yang terkena beban angin atau beban gempa;
- 3) Ketika tanah dimana bangunan didirikan terdiri dari tanah yang ekspansif dan mudah hancur;
- 4) Ketika dibutuhkan tahanan terhadap gaya *uplift* yang cukup besar;
- 5) Ketika terdapat potensi akan terjadinya erosi di permukaan tanah, pada umumnya pondasi untuk jembatan dan dermaga.

2.5.4. Pondasi *Bored Pile* (Tiang bor)

Menurut Ulfa (2015), pondasi *bored pile* adalah suatu pondasi yang dibangun dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian diisi dengan tulangan dan dicor. *Bored pile* dipakai apabila tanah dasar yang kokoh yang mempunyai daya dukung besar terletak sangat dalam, yaitu kurang lebih 15 m serta keadaan sekitar tanah bangunan sudah banyak berdiri bangunan–bangunan besar seperti gedung–gedung bertingkat sehingga dikhawatirkan dapat menimbulkan retak–retak pada bangunan yang sudah ada akibat getaran–getaran yang ditimbulkan oleh kegiatan pemancangan apabila dipakai pondasi tiang pancang. Kuat dukung *bored pile* diperoleh dari kuat dukung ujung (*end bearing capacity*), yang diperoleh dari tekanan ujung tiang dan kuat dukung geser atau selimut (*friction bearing capacity*) yang diperoleh dari kuat dukung gesek atau gaya adhesi antara *bored pile* dan tanah disekelilingnya. *Bored pile* berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan

kuat dukung yang mampu memikul dan memberikan keamanan pada struktur atas.

Menurut Edward (2015), kelebihan pondasi *bored pile* adalah:

- 1) Rlatif lebih murah;
- 2) Kedalaman dapat dibuat sesuai kebutuhan tanpa perlu melakukan penyambungan;
- 3) Tulangan dapat didesain sesuai kebutuhan;
- 4) Proses konstruksi tidak terlalu menyebabkan bising dan getaran;
- 5) Tanah yang dipindahkan dapat diinvestigasi dan jika dibutuhkan dapat dilakukan tes secara in-situ;
- 6) Dapat dibuat dengan diameter yang sangat besar;
- 7) Perbesaran di ujung tiang dapat dibuat hingga dua sampai tiga kali diameter tiang;
- 8) Material dari tiang tidak tergantung pada cara penanganan atau pemancangan;
- 9) Memungkinkan untuk menggunakan tiang bor tunggal, tidak memerlukan tiang grup dan pile cap;
- 10) Apabila jenis tanah adalah pasir padat dan gravel maka tiang bor lebih mudah dikonstruksi;
- 11) Engineer dapat mengamati tanah yang ter gali ketika pengeboran dan dapat dengan mudah mengubah diameter atau panjang tiang sebagai kompensasi untuk kondisi tanah yang tidak terantisipasi;
- 12) Dapat dikonstruksi meskipun ruang bebas rendah;
- 13) Tidak beresiko terhadap gound heave;

Sedangkan kekurangan *bored pile* adalah sebagai berikut:

- 1) Perlu waktu untuk setting beton;
- 2) Metoda pengeboran beresiko merenggangkan tanah pasir atau gravel;
- 3) *Bored pile* dikonstruksi dengan memindahkan massa tanah sehingga tekanan lateral akan konstan atau berkurang;

- 4) Tahanan ujung lebih kecil daripada tiang pancang karena pada tiang pancang, tanah terpadatkan ketika dipancang sedangkan *bored pile* tidak.

Pondasi tiang secara umum dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu pondasi tiang tunggal dan pondasi tiang kelompok. Menurut Manual Pondasi Tiang (GEC), penggunaan pondasi kelompok tiang mempunyai keuntungan-keuntungan sebagai berikut:

- 1) Dapat digunakan bila tiang tunggal tidak mempunyai kapasitas yang cukup untuk menahan beban kolom,
- 2) Pemancangan tiang atau instalasi tiang bor dapat meleset (sampai dengan 15 cm) dari posisinya,
- 3) Kegagalan dari sebuah tiang dapat diminimalisir akibatnya oleh adanya tiang yang lain (prinsip redundancy),
- 4) Menyebabkan terjadinya pemadatan ke arah lateral, terutama pada saat dilakukan pemancangan sehingga memperbesar tekanan tanah lateral yang bekerja di sekeliling tiang, dan meningkatkan kapasitas tahanan geseknya. Hal ini terutama berlaku pada jenis tanah pasir.

2.6. Perencanaan Pondasi

Menurut Recky Sigar (2016), berikut ini tinjauan yang harus dilakukan dalam merencanakan pondasi tiang sebagai pondasi bangunan yaitu:

- 1) Tentukan daya dukung vertikal tiang
Daya dukung vertikal tiang adalah beban ijin yang dapat ditanggung oleh 1 buah tiang yang ditancapkan pada suatu lokasi, dan pada kedalaman tertentu.
- 2) Tentukan jumlah kebutuhan tiang
Setelah mengetahui daya dukung ijin tiang, dari beban struktur atas (beban tak terfaktor: $DL + LL$) dapat dihitung kebutuhan tiang pada satu titik kolom.
- 3) Cek efisiensi dalam kelompok tiang

Daya dukung sebuah tiang yang berada pada suatu kelompok tiang akan berkurang. Hal ini disebabkan tanah di sekitar tiang terdesak oleh tiang lain. Agar daya dukung tersebut tidak berkurang, setidaknya dibutuhkan jarak 3 x diameter antar tiang satu dengan tiang lainnya. Hal ini tentu saja akan mengakibatkan pemborosan tempat. Agar optimal, biasanya diatur dengan jarak 2,5 – 3 x diameter tiang.

- 4) Tentukan gaya tarik atau gaya tekan yang bekerja pada tiang
Akibat momen yang besar dari struktur atas, tiang dapat juga mengalami gaya tarik ke atas. Untuk itu perlu dilakukan analisis gaya-gaya yang bekerja pada masing-masing tiang dalam suatu kelompok tiang, jangan sampai melebihi daya dukung yang diijinkan.
- 5) Tentukan *settlement* atau penurunan (bila ada)
Untuk tiang pancang yang ditancapkan pada tanah keras, diasumsikan tidak akan terjadi penurunan.

2.7. Perencanaan dan Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Berdasarkan Data SPT

2.7.1. Daya Dukung Ijin Tiang Tunggal

Daya dukung aksial pondasi tiang dapat berasal dari tahanan geser selimut tiang dan tahanan ujung tiang seperti pada persamaan berikut ini:

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s$$

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{F_s}$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

- Q_{ult} : Daya dukung ultimit
 Q_p : Daya dukung ujung tiang
 Q_s : Daya dukung friksi
 Q_{all} : Daya dukung ijin
 F_s : *Factor of safety* (factor keamanan)

1. Daya Dukung Ujung Tiang

Menurut Meyerhof persamaan untuk daya dukung ujung tiang yaitu:

$$Q_p = 40 \times A_p \times N_{SPT}$$

$$N_{SPT} = \frac{N_1 + N_2}{2}$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

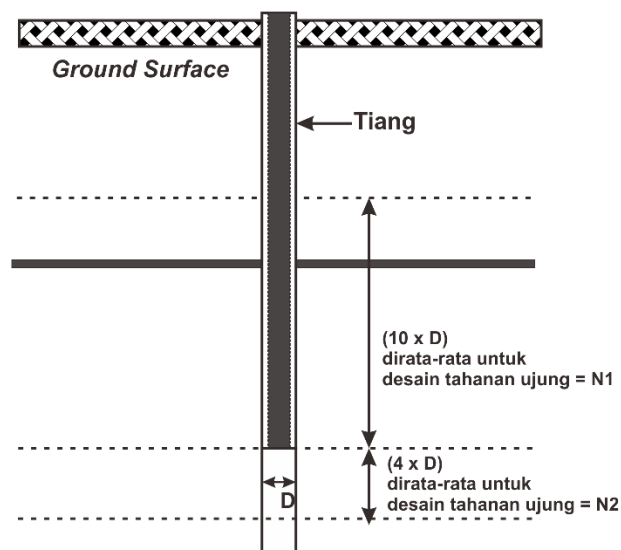
Q_p : Daya dukung ujung tiang

A_p : Luas penampang tiang

N_{SPT} : Nilai rata-rata statistic dari bilangan-bilangan SPT dalam daerah $\pm 10D$ di atas atau $4D$ di bawah ujung tiang

N_1 : Nilai rata-rata dari dasar ke $10D$ ke atas

N_2 : Nilai rata-rata dari dasar ke $4D$ ke bawah



Gambar 2.7. Nilai N_{SPT} untuk desain tahanan ujung
Sumber: Mansyur Irsyam, 2012

Gesekan selimut tiang per satuan luas dipengaruhi oleh jenis tanah parameter kuat geser tanah. Untuk tanah berbutir kasar gesekan selimut tiang dapat diambil dari grafik berdasarkan nilai $N - SPT$, dengan rumus:

$$Q_s = \frac{N_s \times A_s}{10}$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

Q_s : Daya dukung friksi

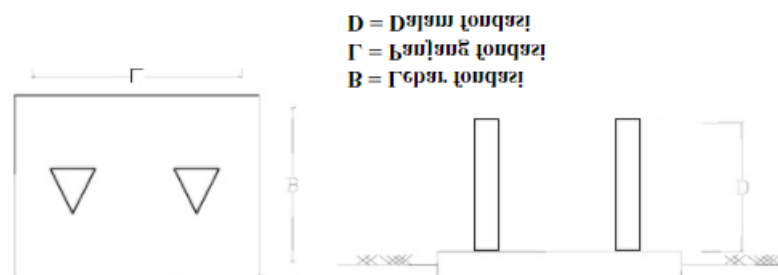
A_s : Keliling tiang

N_s : Nilai SPT rata-rata sepanjang tiang

Oleh Meyerhof faktor – faktor yang berpengaruh, disamping faktor sifat – sifat tanah dan bentuk pondasi itu, ditambah dengan faktor kedalaman pondasi dan faktor pembebanan. Dibedakan kapasitas daya dukung pondasi dangkal akibat beban vertikal dan akibat beriklinasi. Sehingga kapasitas daya dukung Meyerhof ditinjau dari faktor yang berpengaruh pada analisis kapasitas daya dukung, lebih lengkap dibandingkan dengan metode yang lain.

2.7.2. Kelompok Tiang

Pondasi tiang yang umumnya dipasang secara berkelompok. Yang dimaksud berkelompok adalah sekumpulan tiang yang dipasang secara relative 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. Kelompok tiang dapat dilihat pada Gambar 2.12. berikut ini:



Gambar 2.8. Kelompok Tiang

Sumber: <https://www.scribd.com/document/85196518/Kapasitas-Dukung-Kelompok-Tiang>

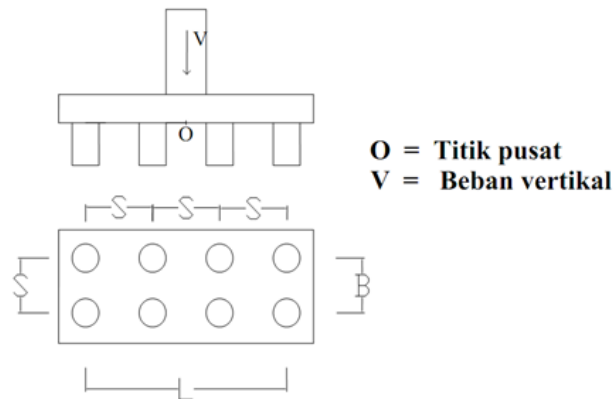
a. Distribusi Beban pada Pondasi Tiang Kelompok

1) Beban Vertikal Sentris

Menurut Rizaldy (2012), beban vertikal sentris merupakan beban (V) per satuan panjang yang bekerja melalui pusat berat kelompok tiang (O), sehingga beban (V) akan diteruskan ke tanah dasar pondasi melalui pile cap dan tiang – tiang tersebut secara terbagi rata. Bila luas wilayah tiang yang mendukung pondasi tersebut (A) maka setiap tiang akan menerima beban sebesar :

$$P = \frac{V}{A}$$

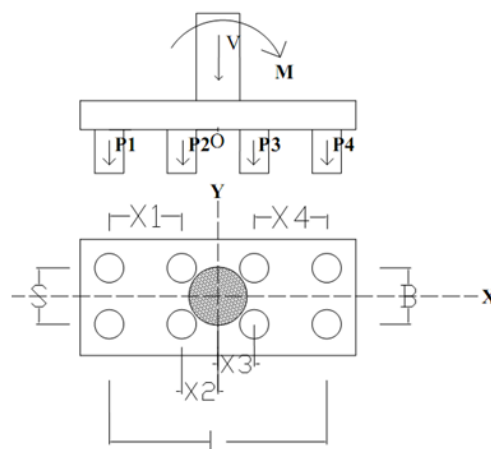
Dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.9. Beban Vertikal Sentris

Sumber: <http://rizaldyberbagidata.blogspot.co.id>

2) Beban Vertikal dan Momen



Gambar 2.10. Beban Vertikal dan Momen

Sumber: <http://rizaldyberbagidata.blogspot.co.id>

Gaya luar yang bekerja pada kepala tiang (kolom) didistribusikan pada pile cap dan kelompok tiang pondasi berdasarkan rumus elastisitas dengan menganggap bahwa pile cap kaku sempurna (pelat pondasi cukup tebal), sehingga pengaruh gaya yang bekerja tidak menyebabkan pile cap melengkung atau deformasi. Maka rumus yang dipakai adalah sebagai berikut :

$$P = \frac{V}{n} \pm \frac{Mx \cdot y}{ny \cdot \Sigma y^2} \pm \frac{My \cdot x}{nx \cdot \Sigma x^2}$$

Dengan:

- M_x, M_y : Momen masing-masing di sumbu X dan Y
- x, y : Jarak dari sumbu x dan y ke tiang
- $\Sigma x^2, \Sigma y^2$: Jumlah Kwadrat absis tiang
- V : Jumlah beban vertical
- n : Jumlah tiang kelompok
- Q_{ult} : Daya dukung ultimit yang bekerja pada tiang
- P_{MAX} : Reaksi tiang atau beban axial tiang

b. Jarak Antar Tiang (S)

Jarak antar tiang sangat mempengaruhi perhitungan kapasitas dukung dari kelompok tiang tersebut. 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 :

1. Ujung tiang tidak mencapai tanah keras maka jarak tiang minimum $\geq$ 2 kali diameter tiang atau 2 kali diagonal tampang tiang.
2. Ujung tiang mencapai tanah keras, maka jarak tiang minimum $\geq$ diameter tiang ditambah 30 cm atau panjang diagonal tiang ditambah 30 cm.

Perumusan dari “*Uniform Building Code*” dari AASHO menyatakan syarat jarak antar tiang dari as ke as dan dari tiang ke tepi dalam persamaan-persamaan berikut:

$$S \leq \frac{1,57 \times D \times m \times n}{m + n - 2} \qquad 2.D \leq S \leq 3.D$$

Dan Ø syarat jarak tiang ke tepi:

$$S \leq 1,25.D$$

Dengan:

S : Jarak antar tiang (as-as)

D : Diameter tiang

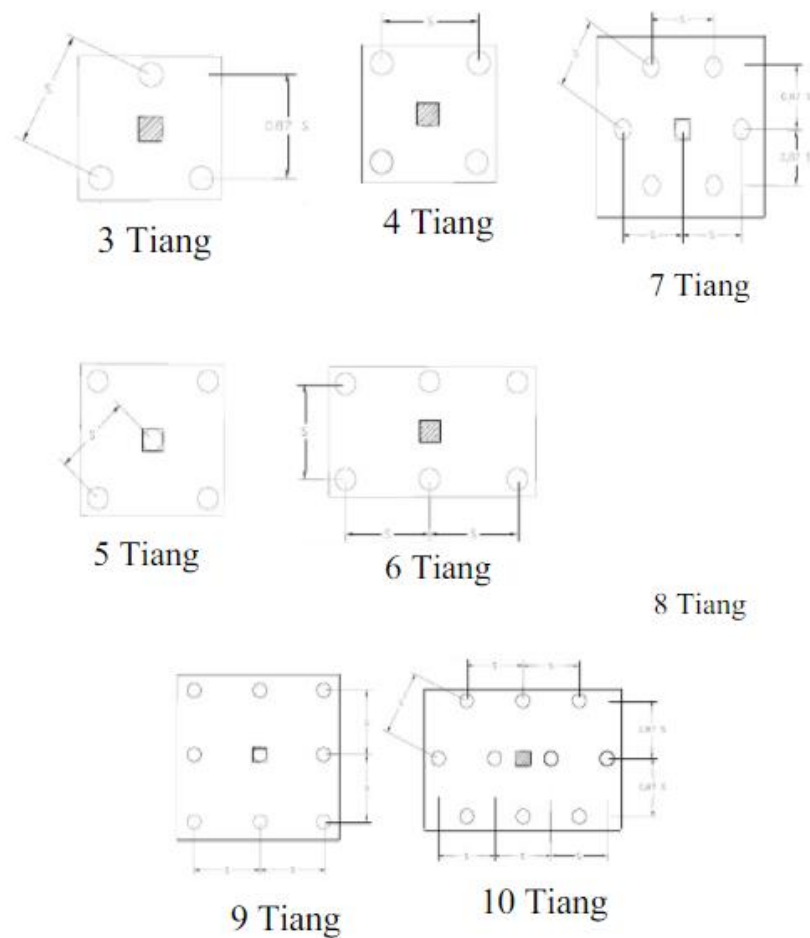
m : Banyaknya tiang dalam baris

n : Banyaknya tiang dalam kolom

c. Susunan Tiang

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

Gambar 2.11. dibawah ini adalah contoh susunan tiang:



Gambar 2.11. Contoh susunan tiang

Sumber: Teknik Pondasi 2, Hary Christady Hardiyatmo

2.7.3. Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

Menurut Edward (2015), jarang terjadi bahwa suatu bangunan hanya cukup menggunakan sebuah tiang tunggal, biasanya tiang dipasan dalam kelompok seperti misalnya dalam hal tiang-tiang yang menyangga suatu bangunan, maka biasanya suatu pondasi merupakan kelompok yang terdiri lebih dari satu tiang. Kelompok tiang ini secara bersama sama memikul beban tersebut.

Daya dukung sebuah tiang dalam kelompok adalah sama dengan daya dukung tiang tersebut dikalikan faktor efisiensi :

$$Q_{pg} = E_g \times n \times Q_u$$

Keterangan:

Q_{pg} = daya dukung yang diijinkan untuk kelompok tiang

E_g = efisiensi kelompok tiang

N = jumlah tiang

Q_u = daya dukung ultimit untuk tiang tunggal

a. Kapasitas Dukung Kelompok Tiang pada Tanah Pasir

Pada pondasi tiang pancang, tahanan gesek maupun tahanan ujung dengan $s \geq 3d$, maka kapasitas dukung kelompok tiang diambil sama besarnya dengan jumlah kapasitas dukung tiang tunggal ($E_g = 1$). Dengan memakai rumus berikut :

$$Q_g = n \cdot Q_a$$

Sedangkan pada pondasi tiang pancang, tahanan gesek dengan $s < 3d$ maka faktor efisiensi ikut menentukan.

$$Q_g = n \cdot Q_a \cdot E_g$$

Dengan :

Q_g = Beban maksimum kelompok tiang

n = Jumlah tiang dalam kelompok

Q_a = Kapasitas dukung ijin tiang

E_g = Efisiensi kelompok tiang

b. Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Pada Tanah Lempung

Menurut Das (1995), kapasitas dukung kelompok tiang pada tanah lempung dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

1) Jumlah total kapasitas kelompok tiang

$$\sum Q_u = m \cdot n \cdot (Q_a + Q_s)$$

$$\sum Q_u = m \cdot n \cdot \left(9 \cdot C_u \cdot A_p + \sum p \cdot \Delta L \cdot \alpha \cdot C_u \right)$$

2) Kapasitas berdasarkan blok (L_g , B_g , L_d)

$$\sum Q_u = L_g \cdot B_g \cdot N'_c \cdot C_u + \sum 2 \cdot (L_g + B_g) C_u \cdot \Delta L$$

Dengan:

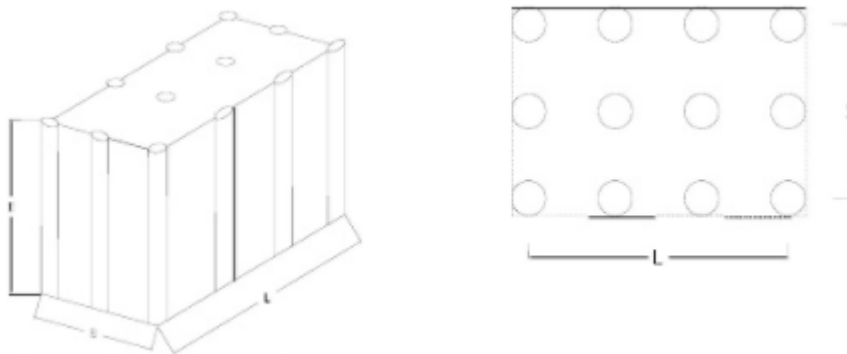
L_g : Panjang blok

B_g : Lebar blok

L_d : Tinggi blok

ΔL : Panjang segmen tiang

Dari kedua rumus tersebut, nilai terkecil yang dipakai. Kelompok tiang dalam tanah lempung yang bekerja sebagai blok dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.12. Kelompok tiang pada tanah lempung
Sumber: Teknik Pondasi 2, Hary Christady Hardiyatmo

2.7.4. Efisiensi Kelompok Tiang

Menurut Coduto (1983), efisiensi tiang bergantung pada beberapa faktor, yaitu :

- 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 pemasangan;
- 7) Interaksi antara pelat penutup tiang (pile cap) dengan tanah;
- 8) Arah dari beban yang bekerja

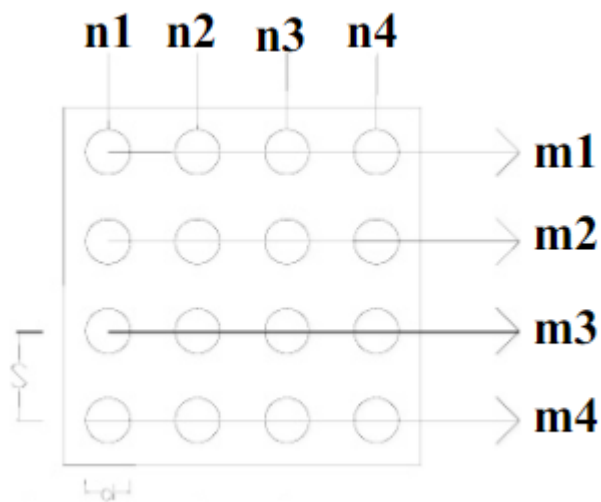
Persamaan untuk menghitung efisiensi kelompok tiang adalah sebagai berikut:

1) *Conversi – Labarre*

$$Eg = 1 - \theta \left\{ \frac{(n-1)xm + (m-1)xn}{90mn} \right\}$$

Keterangan :

- m = jumlah barisan tiang
- n = jumlah tiang per baris
- θ = tan – 1DS (dalam derajat)
- S = jarak tiang pusat ke pusat (m)



Gambar 2.13. Baris Kelompok Tiang

Sumber: <https://www.scribd.com/document/85196518/Kapasitas-Dukung-Kelompok-Tiang>

2) *Los Angeles Group – Action Formula*

$$E_{L.A} = 1 - \frac{D}{\pi \cdot S \cdot m} \left[m \cdot (n - 1) + (m - \sqrt{m - (m - 1)(n - 1)}) \right]$$

Dengan:

- m : Jumlah baris tiang
- n : Jumlah tiang dalam satu baris
- d : Diameter tiang
- s : Jarak pusat ke pusat tiang

2.6.4. Penulangan

Perhitungan pondasi tiang bor dan tiang pancang adalah:

A. Penulangan Pondasi *Bored Pile*

Menurut Edward (2015), jika dimensi/penampang pondasi ditentukan oleh gaya aksial/berat bangunan yang dipikul masing-masing kolom, maka penulangan pondasi ditentukan oleh gaya momen dan gaya geser yang bekerja pada pondasi tersebut. Dengan perhitungannya sebagai berikut:

1) Hitung Tulangan Utama

Untuk menentukan presentasi tulangan kolom menggunakan grafik interaksi kolom dengan langkah-langkah sebagai berikut:

a. Menentukan momen nominal (M_n)

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

Keterangan :

- ϕ = faktor reduksi kekuatan tekan dengan tulangan spiral 0,70
- M_n = Momen nominal yang bekerja
- M_u = Momen maksimum yang bekerja pada tiang

- b. Menghitung $\rho_{\min}$, ρ_b dan $\rho_{\max}$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{F_y}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta F_c'}{F_y} \times \left(\frac{600}{600 = F_y} \right)$$

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

Keterangan:

$\rho_{\min}$ = rasio tulangan minimum

ρ_b = rasio tulangan seimbang (*balance*)

$\rho_{\max}$ = rasio tulangan maksimum

- c. Menghitung ρ

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

$$m = \frac{F_y}{0,85 \times F_c'}$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2}$$

Keterangan :

ρ = rasio tulangan yang digunakan

- d. Menghitung Luas Tulangan

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

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

Keterangan :

A_s = luas tulangan yang dipakai

b = diameter pondasi

d = lebar efektif pondasi

As tulangan = luas tulangan

e. Menghitung jumlah tulangan

$$n = \frac{As}{As \text{ tulangan}}$$

Keterangan :

n = jumlah tiang yang digunakan