

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **A. Definisi Fondasi Tiang**

Setiap bangunan sipil, seperti gedung, jembatan, jalan raya, terowongan, dinding penahan, menara, dan sebagainya harus mempunyai fondasi yang dapat mendukungnya. Istilah fondasi digunakan dalam teknik sipil untuk mendefinisikan suatu bagian konstruksi bangunan yang berfungsi sebagai penopang bangunan dan meneruskan beban bangunan atas ke lapisan tanah yang cukup kuat daya dukungnya. Untuk itu fondasi bangunan harus diperhitungkan untuk dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri dan gaya-gaya luar. Disamping itu, tidak boleh terjadi penurunan yang melebihi batas yang diijinkan. ( Zainal N, ING.HTL,1995)

Fodasi tiang adalah suatu konstruksi pada bagian dasar struktur/bangunan (sub-structure) yang berbentuk tiang yang ditanam kedalam tanah yang berfungsi meneruskan beban dari bagian atas struktur/bangunan (upper structure) ke lapisan tanah dibawahnya tanpa mengakibatkan keruntuhan geser tanah dan penurunan tanah/pondasi yang berlebihan (Pradoto Suhardjito, 1988/1989).

## B. Klasifikasi Fondasi Tiang

Klasifikasi fondasi tiang yang sering digunakan adalah The british standard code of practice for foundation ( CP.2004 ) yang membagi tipe tiang menjadi tiga kategori. Pembagian kategori ini tergantung dari kondisi tanah yang akan dipasang fondasi tiang.

CP.2004 membagi klasifikasi tiang sebagai berikut :

### 1. Tiang perpindahan besar (Large displacement piles)

Fondasi tiang yang termasuk dalam kategori ini adalah tiang masip atau tiang berlubang dengan ujung tertutup dengan ukuran penampang yang cukup besar. Pelaksanaan pemasangan di lapangan dapat dengan proses pemansangan sampai elevasi yang diinginkan, sehingga terjadi perpindahan lapisan tanah akibat proses pemancangan. Setiap fondasi tiang yang dipancang dan dibuat di tempat termasuk dalam kategori ini.

Yang termasuk dalam kategori ini diantara lain kayu, tiang beton, tiang beton pratekan, pipa baja.

### 2. Tiang perpindahan kecil (small displacement piles)

Fondasi tiang dengan perpindahan kecil karena ukurran tiang yang lebih kecil. Yang termasuk dalam kategori tiang ini diantaranya tiang baja penampang H dan I, tiang pipa dengan ujung terbuka sehingga memungkinkan tanah untuk masuk dalam tiang,tiang pancang ulir.

### 3. Tiang tanpa perpindahan (non-displacement piles)

Fondasi tiang yang tergolong dalam klasifikasi ini adalah fondasi tiang bor. Proses pengeboran dapat mengurangi tekanan terhadap tanah akibat tiang karena tanah terlebih dahulu dikeluarkan sebelum tiang dipasang.

#### 4. Tiang-tiang komposit (komposit piles)

Kombinasi dari ketiga unit tipe tiang yaitu large displacement piles, small displacement piles, non-displacement piles.

Beberapa literatur juga menggolongkan fondasi tiang menjadi beberapa jenis diantaranya ;

##### 1. Tiang PC

Yaitu tiang beton pracetak bermutu tinggi yang berbentuk bulat dan berongga ditengahnya akibat proses produksi dengan menggunakan system sentrifugal untuk dapat menghasilkan beton yang padat. kelebihan dari tiang ini dibandingkan dengan tiang pancang beton biasa yaitu mempunyai mutu yang lebih baik karena memiliki kepadatan beton yang sangat tinggi dan memiliki berat yang lebih ringan sekitar 35% dari tiang beton biasa.

##### 2. Tiang Mini

Tiang mini ditujukan untuk bangunan antara 3-5 lantai, mini pile ini dapat mendukung 25 ton per tiangnya. Kelebihan dari tiang mini ini diantaranya hemat biaya, pelaksanaannya lebih cepat, pekerjaannya lebih bersih, penurunan yang terjadi akan lebih kecil.

##### 3. Tiang Franki

Diameter tiang franki antara 50-55 cm, dengan daya dukung maksimum 150 ton, dan dapat mencapai kedalaman 27 meter. tiang franki ini cocok untuk mendukung beban yang besar pada kedalaman yang dangkal.

#### 4. Tiang bump

Pondasi tiang bump ini memiliki 2 komponen yaitu pipa beton yang dipancangkan dan spesi beton yang diisikan ke dasar pipa melalui lubang pipa dan ditumbuk sehingga menyebar ke samping. Pondasi tiang bump cocok untuk pondasi menara transmisi dan sejenisnya.

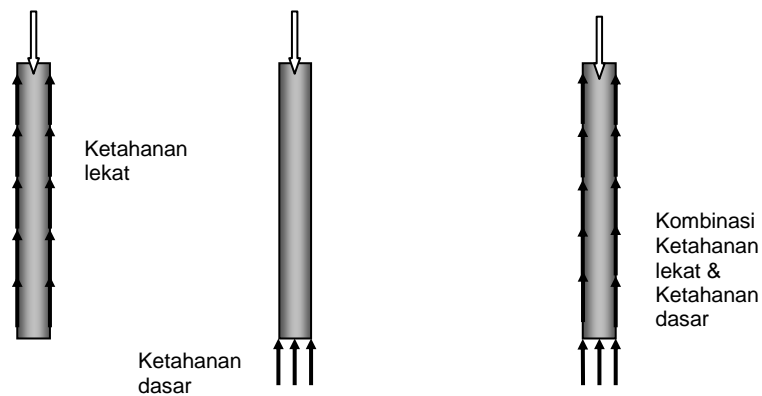
#### 5. Tiang straus

Pondasi tiang straus dipasang dengan menggunakan alat bor yang bernama *straus D40*, pengeboran dapat mencapai 40 meter. Sehingga cocok untuk pembangunan di daerah yang memiliki tanah keras yang sangat dalam.

### C. Teori Dasar Fondasi Tiang

Ada 3 cara bagaimana suatu pondasi tiang menahan gaya luar tekan yang bekerja seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.

- a. Dengan menggunakan ketahanan lekat atau skin friction ( $Q_s$ ) permukaan dimana beban ditahan oleh gesekan pada tanah non-koheusif atau adhesi pada tanah koheusif.
- b. Dengan menggunakan ketahanan dasar atau end bearing ( $Q_b$ ) dimana beban ditahan pada dasar tiang.
- c. Kombinasi dari ketahanan dasar dan ketahanan lekat  $Q_p = Q_s + Q_b$ .



Gambar 2.1. Prinsip Daya Dukung Fondasi Tiang

#### D. Kapasitas Daya Dukung Tiang Tunggal

Untuk menentukan daya dukung batas tiang tunggal dapat dihitung berdasarkan data-data penyelidikan tanah.

##### 1. Kapasitas Daya Dukung Ujung Tiang ( *End Bearing Capacity* )

a) Daya dukung ujung tiang tunggal menurut Terzaghi adalah :

$$Q_c : A_p (1,3c.N_c + q.N_q + \gamma B.N_\gamma.a_\gamma) \dots \dots \dots (1)$$

dengan :

$Q_c$  : daya dukung ujung Fondasi Tiang

$A_p$  : luas penampang tiang pancang

$N_c$  : faktor daya dukung untuk tanah dibawah tiang

$q$  : tekanan overburden efektif

$N_q$  : faktor daya dukung untuk tanah disekitar selimut tiang

$\gamma B$  : berat volume tanah dibawah tiang

$N_\gamma$  : faktor bentuk penampang tiang

b) Daya dukung ujung tiang tunggal menurut Meyerhof

$$Q_c = A_p \cdot [c \cdot N_c + q \cdot N_q] \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

$Q_c$  : daya dukung ujung tiang

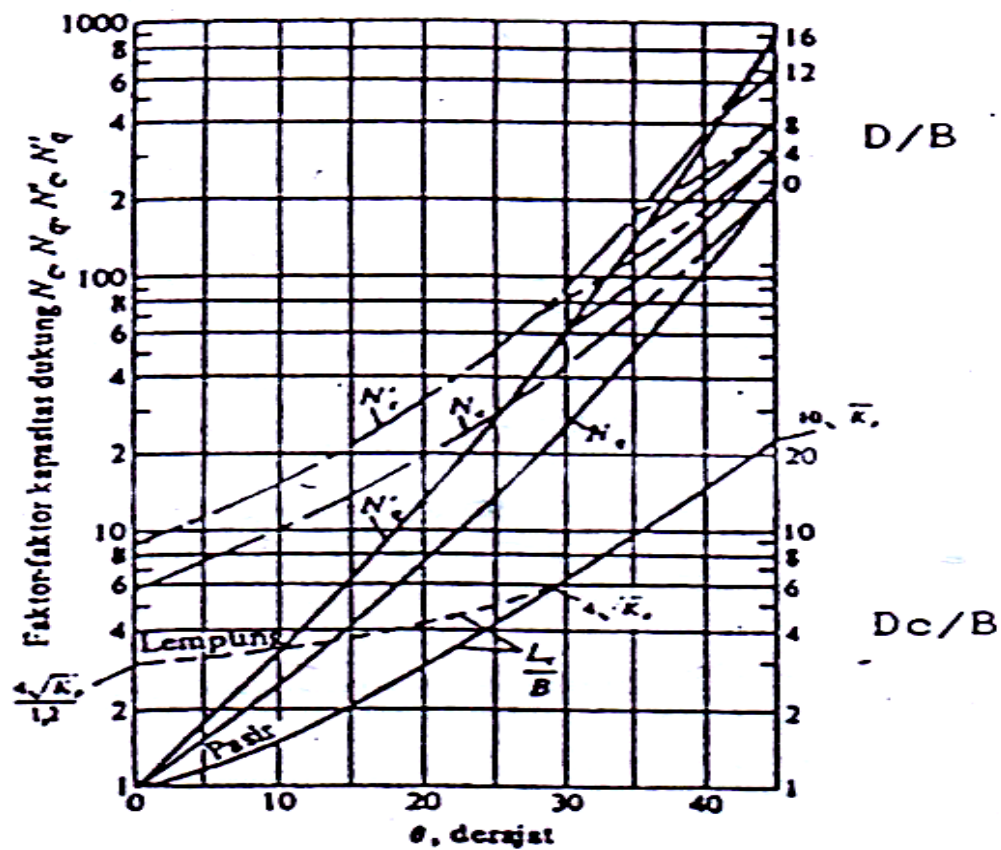
$A_p$  : luas penampang tiang

$c$  : kohesi

$q$  : tekanan overburden efektif

$N_c$  : faktor daya dukung untuk tanah dibawah tiang

$N_q$  : faktor daya dukung untuk tanah disekitar selimut tiang



Grafik 2.1 Faktor kapasitas daya dukung pondasi panjang (meyerhof 1976)

$\phi$	Nc	Nq	N	Nq/Nc	Tan $\phi$
0	5,24	1,00	0,00	0,20	0,00
1	5,38	1,09	0,07	0,20	0,02
2	5,63	1,20	0,15	0,21	0,05
3	5,80	1,31	0,24	0,22	0,06
4	6,19	1,43	0,31	0,23	0,07
5	6,49	1,57	0,45	0,24	0,09
6	6,81	1,72	0,57	0,25	0,11
7	7,16	1,88	0,71	0,26	0,12
8	7,53	2,06	0,86	0,27	0,14
9	7,92	2,25	1,01	0,28	0,16
10	8,35	2,47	1,22	0,30	0,18
11	8,80	2,71	1,44	0,31	0,19
12	9,28	2,97	1,59	0,32	0,21
13	8,81	3,26	1,97	0,33	0,23
14	10,37	3,59	2,29	0,35	0,25
15	10,98	3,94	2,65	0,36	0,27
16	11,63	4,34	3,06	0,37	0,29
17	12,34	4,77	3,50	0,39	0,31
18	13,10	5,26	4,07	0,40	0,32
19	13,93	5,80	4,64	0,42	0,34
20	14,83	6,40	5,39	0,43	0,36
21	15,82	7,07	6,207	0,45	0,38
22	16,88	7,82	7,10	0,46	0,40
23	18,05	8,66	8,20	0,48	0,42
24	19,32	9,60	9,44	0,50	0,45
25	20,72	10,66	10,88	0,51	0,47
26	22,25	11,85	12,54	0,53	0,49
27	23,94	13,20	14,47	0,55	0,51
28	25,80	14,72	16,72	0,57	0,53
29	27,86	16,44	19,34	0,59	0,55
30	30,14	18,40	22,40	0,61	0,58
31	32,67	20,63	25,99	0,63	0,60
32	35,49	23,18	30,22	0,65	0,61
33	38,64	26,69	35,19	0,68	0,65
34	42,16	29,44	41,06	0,70	0,67
35	46,12	33,30	48,00	0,72	0,70
36	50,59	37,75	56,51	0,75	0,71
37	55,63	42,92	66,19	0,77	0,75
38	60,35	48,93	71,08	0,80	0,78
39	67,87	55,96	92,25	0,82	0,81
40	75,31	64,20	109,41	0,85	0,84
41	83,86	73,90	130,22	0,88	0,87
42	93,71	85,38	155,55	0,91	0,90
43	105,15	99,02	186,54	0,94	0,91
44	118,37	115,31	224,44	0,97	0,97
45	133,88	134,11	271,76	1,01	1,00
46	152,10	158,51	330,35	1,04	1,01
47	173,64	167,21	408,47	1,08	1,07
48	199,26	222,31	496,01	1,12	1,10
49	229,91	265,51	613,16	1,15	1,15
50	266,89	319,07	762,39	1,20	1,19

Tabel 2.1. koefisien daya dukung Meyerhof untuk pondasi tiang dangkal

c) Daya dukung ujung tiang menurut Tomlinson

$$Q_c = A_p \cdot c \cdot N_c' \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

$Q_c$  : Daya dukung

$A_p$  : Luas penampang tiang pancang

$c$  : Kohesi

$N_c'$  : Faktor daya dukung yang telah disesuaikan ( didapat dari tabel 2.2 )

d) Daya dukung ujung tiang tunggal menurut Wesley adalah :

$$Q_{sp} = \frac{f_b \cdot A_b}{F_b} + \frac{f_s \cdot A_s}{F_s} \dots\dots\dots(4)$$

dengan :

$Q_{sp}$  = Daya dukung tanah vertical yang diijinkan untuk tiang tunggal

$f_b$  = Tahanan ujung tiang ( $kN/m^2$ )

$A_s$  = Luas selimut tiang ( $m^2$ ).

$f_s$  = Intensitas tahanan geser tiang ( $kN/m^2$ )

$F_b$  = Faktor keamanan (3,0)

$F_s$  = Faktor keamanan (5,0)

## 2. Kapasitas Daya Dukung Friksi ( *Friction Bearing Capacity* )

a) Daya dukung Friksi tiang tunggal menurut Burland ( metode- $\beta$  )

Metode ini dihasilkan melalui analisis kembali data-data yang ada dan dilengkapi dengan pengujian-pengujian dilakukan paling akhir.

Berdasarkan hal tersebut diusulkan bahwa korelasi pengujian beban dan kapasitas tiang pancang hasil perhitungan yang lebih baik dapat ditentukan dengan menggunakan parameter-parameter tegangan



efektif. Persamaan berikut dapat diterapkan pada semua tanah yang terkonsolidasi secara normal,

$$Q_s = a_s.$$

Dengan ;  $Q_s$  = daya dukung friksi ( ton )

$$\beta_i = k_i \tan \delta_i$$

$k_i, \delta_i$  = sama dengan yang sebelumnya

b) Daya dukung Friksi tiang tunggal menurut Vijayvergiya dan Focht

( metode- $\lambda$  ) :

$$Q_s = a_s \cdot \sum_{i=1}^n (\lambda_i \cdot q_i \cdot h_i)$$

Dengan ;  $Q_s$  = Daya dukung friksi ( ton )

$a_s$  = Keliling perimeter tiang ( m )

$q_i$  = Tekanan vertical lapisan tanah ( t/m<sup>2</sup> )

$\lambda_i$  = Koefisien dari Vijayvergiya dan Focht

$h_i$  = tinggi lapisan tanah ( m )

$c_{ui}$  = kekuatan geser tak terdrainase ( t/m<sup>2</sup> )

$n$  = jumlah lapisantanah

c) Daya dukung Friksi tiang menurut Tomlinson ( metode- $\alpha$  )

Metode  $\alpha$  diusulkan oleh Tomlinson pada tahun 1971. Metode Ini dapat digunakan pada tanah berbutir halus ( c-soil ) atau tanah pada umumnya ( c/ø-soil ).

Menurut Tomlinson daya dukung friksi tiang dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q_s = a_s + \sum_{i=1}^n (\alpha_i \cdot c_i \cdot h_i + q_i \cdot k_i \cdot \tan \delta_i)$$

Dengan :

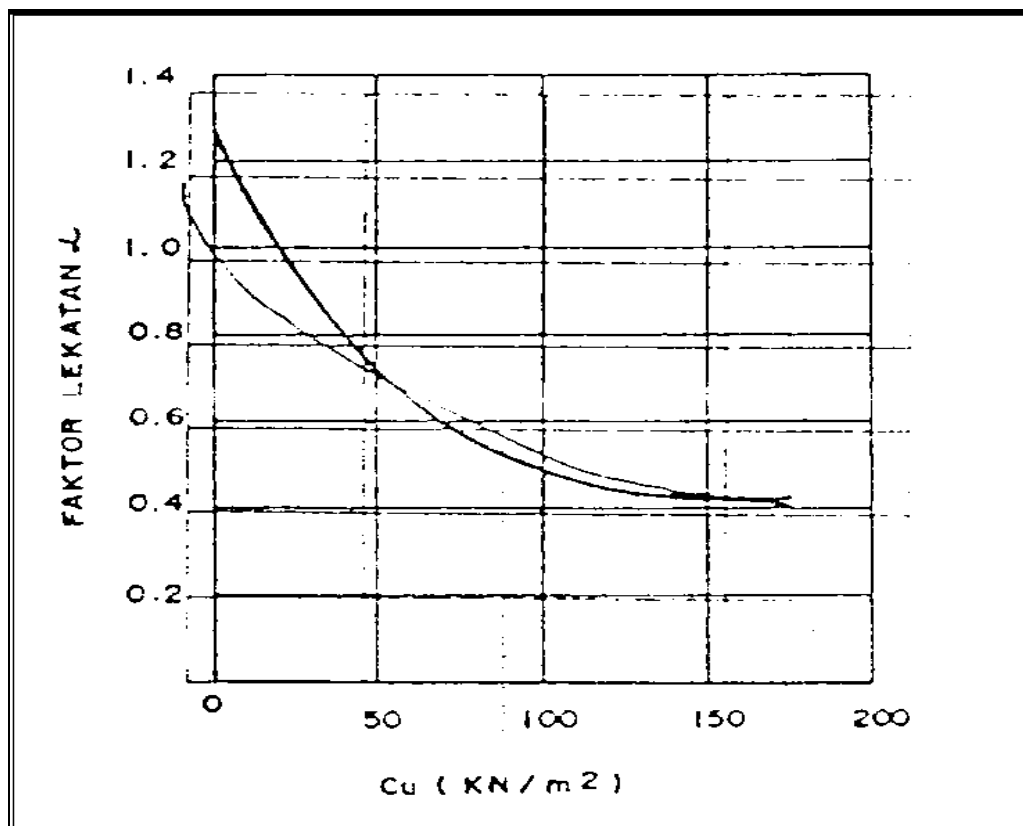
$Q_s$  : daya dukung gesek

$c_i$  : Nilai kohesi tanah yang ditinjau ( $\text{ton}/\text{m}^2$ )

$q_i$  : Tegangan efektif tanah ( $\text{ton}/\text{m}^2$ )

$\alpha_i$  : Faktor adhesi yang merupakan fungsi dari kekuatan geser tanah tak terdrainase yang tersaji pada gambar 3.4

$k_i$  : Koefisien tekanan tanah lateral yang mempunyai nilai antara  $K_0-1,75$



Grafik 2.2. nilai hambatan lekat  $\alpha$  (Sumber : Zainal N, dan Sri Respati N. 1995)

## E. TEORI MANUAL PROGRAM PILEB

Dalam melakukan analisa perhitungan daya dukung fondasi tiang, program PILEB menggunakan perhitungan yang mengacu pada beberapa sumber, diantaranya Pradoto Suhardjito, 1988 dan Zainal N, ING.HTL,1995. Rumus perhitungan yang digunakan sebagai berikut ;

### 1. Daya Dukung Tiang Pada Tanah Tidak Kohesif ( *Non-Cohesive* )

#### a. Daya Dukung Dari Hambatan Lekat/Skin Friction

Daya dukung dari hambatan lekat tanah-pondasi untuk tanah tidak kohesif dihitung dengan persamaan berikut

$$Q_s = \sum F_i S_z C_p L_i$$

Keterangan :

$Q_s$  = Daya dukung hambatan lekat (kN)

$F_i$  = Faktor Gesek Rencana,

$S_z$  = Tegangan efektif rencana sepanjang tiang (kN/m<sup>2</sup>)

$C_p$  = Keliling efektif tiang (m),

$L_i$  = Tebal lapisan penahan (m)

#### b. Daya Dukung Dari Tahanan Ujung/End Bearing

Daya dukung dari tahanan ujung untuk tanah tidak kohesif dihitung dengan persamaan berikut

$$Q_b = N_q S_z A_p$$

Keterangan :  $Q_b$  = Daya dukung tahanan ujung (kN)

$N_q$  = Faktor Kapasitas Daya Dukung

$A_p$  = Luas dasar tiang (meter<sup>2</sup>),

## 2. Daya Dukung Tiang Pada Tanah Kohesif ( *Cohesive* )

### a. Daya Dukung Dari Hambatan Lekat/Skin Friction

Daya dukung dari hambatan lekat tanah-pondasi untuk tanah kohesif dihitung dengan persamaan berikut

$$Q_s = \sum F_c K_C^R C_u C_p L_i$$

Keterangan :

$Q_s$  = Daya dukung hambatan lekat (kN)

$F_c$  = Faktor Reduksi, diperoleh dari Tabel 2.

$K_C^R = 0.7$

$C_u$  = Kuat geser “undrained” rata-rata (kN/m<sup>2</sup>)

$C_p$  = Keliling efektif dari tiang (meter), diperoleh berdasarkan Tabel 3

$L_i$  = Tebal Lapisan Penahan (meter)

### a. Daya Dukung Dari Tahanan Ujung/End Bearing

Daya dukung dari tahanan ujung untuk tanah kohesif dihitung dengan persamaan berikut

$$Q_b = N_c C_u A_p$$

Keterangan :

$Q_b$  = Daya dukung tahanan ujung (kN)

$N_c$  = Faktor Kapasitas Daya Dukung.

Biasanya diambil = 9, tetapi bila tiang tertanam kurang dari 4 kali diameter, nilai  $N_c$  dikurangi secara linier.

$A_p$  = Luas dasar tiang (m<sup>2</sup>)

### 3. GAYA NEGATIVE ( *SKIN FRICTION* )

Untuk tiang dalam tanah kompresibel, khususnya bila lapisan-lapisan tanah diatas adalah kompresibel misalnya urugan tidak berkonsolidasi, dan pondasi tiang berada teguh dalam suatu lapisan tanah padat/keras, terjadi gesekan permukaan yang negatif atau gaya penarik kebawah. Gaya penarik ke bawah ini akan mengurangi daya dukung aksial tekan dari tiang pancang.

Besarnya gaya penarik negatif tersebut dihitung dengan rumus berikut

$$P_n = 1.25 f_n C_p L_n$$

Keterangan :

$P_n$  = Gaya Penarik Negatif (kN)

$f_n$  = Nilai gesekan permukaan negatif rencana (kPa)

Bila digunakan ter atau cat sejenis untuk mengurangi gesekan, nilai ini dapat direduksi sampai  $0.3f_n$

$f_n = F * S$

$F = 0.2$  untuk tanah dengan Index Plastisitas = 15

=  $0.3$  untuk tanah dengan Index Plastisitas  $\geq 50$

$S =$  Tegangan vertical efektif pada tiap titik sepanjang tiang ( $\text{kN/m}^2$ )

$C_p =$  Keliling efektif dari tiang (meter), diperoleh berdasarkan Tabel 3

$L_n =$  Panjang tiang pada mana bekerja gesekan permukaan yang negatif(m).

Untuk tiang lekat dalam tanah kompresible merata diambil  $0.7$  kali panjang tertanam.

## F. TEORI DASAR PROGRAM DRIVEN

Program driven mengikuti metode analisa fondasi yang telah dikeluarkan oleh beberapa ahli diantaranya Nordlund (1963, 1979), Thurman (1964), Meyerhof (1976), Cheney and Chassie (1982), Tomlinson (1980, 1985), dan Hannigan (1997).

Secara perhitungan program ini menggunakan metode yang dikeluarkan oleh Hannigan yang terdapat pada buku yang berjudul "Design and Construction of Driven Pile Foundations" 1997.

Program driven ini hanya menganalisa Daya dukung tanah vertical pada tiang tunggal, Prinsip dasar perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$Q = Q_p + Q_s \dots\dots\dots (10)$$

$$Q_p = A_p \times q_p \dots\dots\dots (11)$$

$$Q_s = \int_0^L f_s \cdot C_d \cdot dz \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan :

- $Q_p$  = Daya dukung tahanan ujung (kN)
- $Q_s$  = Daya dukung hambatan lekat (kN)
- $A_p$  = Luas Penampang tiang (m<sup>2</sup>)
- $q_p$  = Daya dukung ijin maksimum tiang (kN)
- $f_s$  = Faktor Gesek Rencana
- $C_d$  = Keliling efektif dari tiang (meter)
- $L$  = Tinggi tiang yang bersinggungan dengan tanah ( meter )
- $z$  = Tebal lapisan penahan (meter)