

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN KERANGKA BERPIKIR

2.1 Properties Tanah

Nilai karakteristik tanah berupa Soil Properties dan Soil Engineering didapatkan dari pengujian lapangan (*field testing / in situ testing*) dan pengujian laboratorium (*Laboratory testing*). Fenton and Griffiths (2002) menjelaskan pentingnya data masa lalu (*data empiris*) mengenai properties tanah yang sangat bervariasi (dinamis), apabila dilakukan pengamatan (pengujian) maka properties tanah dapat berubah hanya pada beberapa meter saja, akan tetapi karena terbentuk dari hasil pelapukan batuan kemudian berpindah ke tempat lain, maka tanah dapat dikatakan memiliki korelasi dengan tanah yang berada pada jarak yang relatif jauh. Pengujian sifat fisik tanah (*Index Properties*) untuk mengetahui jenis (klasifikasi) tanah yang sangat dominan, apakah berupa lempung (*Clay*), lanau (*Silt*), pasir (*Sand*), kerikil (*Gravel*).

Pengujian untuk mendapatkan sifat mekanik tanah (soil engineering) dilakukan untuk dapat mengetahui sifat tanah apabila menerima beban yang ada, sifat mekanik ini sangat penting dalam perencanaan struktur pondasi. Beberapa parameter yang didapatkan dalam pengujian sifat mekanik, salah satu yang terpenting adalah nilai kompresibilitas tanah, yaitu respon tanah akibat perubahan tegangan normal yang terjadi. Pada pekerjaan suatu pondasi, tegangan normal yang terjadi dibawah pondasi akan meningkat, sehingga akan meningkat pula regangan normal yang menyebabkan terjadi penurunan (*Settlement*).

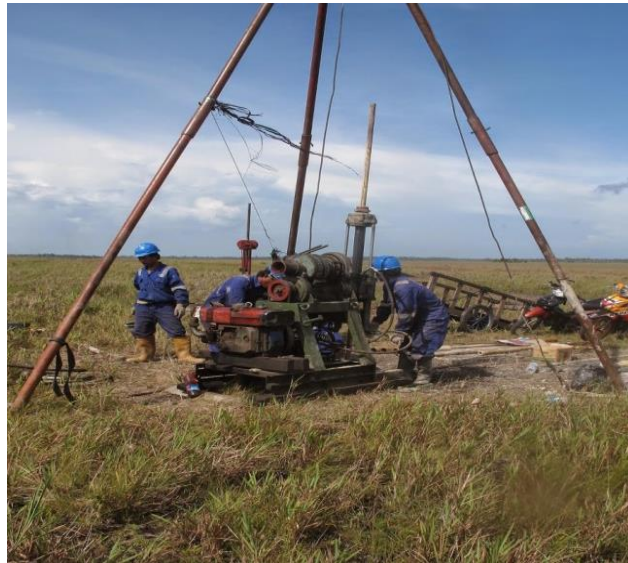
2.2 In-Situ Testing

Pengujian dilapangan (*in situ testing*) berupa pengujian N-SPT (*Nilai Standart Penetration Test*), Pengujian Penetrasi Statik (*Cone Penetration Test*), dan Pengujian Lubang Uji (*Test Pit*). Kualitas hasil pengujian sangatlah penting dalam mendapatkan hasil yang baik. Adapun faktor - faktornya adalah tipe pengujian, pengaruh ketergantungan sampel (khususnya pasir), koreksi Efisiensi *Hammer* dan lain lain. Pengujian penetrasi dinamik SPT merupakan uji in-

situ yang sering dilakukan selain pengujian *static* (sondir), tujuan dilakukan SPT untuk mendapatkan nilai karakteristik tanah / indikasi relatif dari tanah granuler (pasir dan kerikil).

2.2.1 Pekerjaan Bor Mesin

Penggunaan Bor Mesin di Indonesia yang biasa digunakan ada beberapa type yaitu *Spindel*, *Jackro*, dan *Gardan*. Pengujian dengan alat bor mesin ini dilaksanakan dengan menggunakan mata bor *tungsten*, *widia* yang menghasilkan inti tanah atau batuan berdiameter 76 mm apabila dipakai *single core barrel*, dan 50 mm apabila dipakai *double core barrel*. Tujuan dilakukan pengujian dengan bor mesin ini adalah untuk mengetahui kondisi lapisan tanah. Pengujian dengan bor mesin dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Pengujian Boring Mesin (Dokumentasi pribadi)

2.2.2. Pengujian N-SPT (*Nilai Standart Penetration Test*)

Pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) dilaksanakan bersamaan dengan pengujian Bor Mesin. Pengujian SPT ini dilakukan untuk setiap interval kedalaman 2 meter. *SPT test* menggunakan palu pemukul dengan berat 63,5 kg dan tinggi jatuh 75 cm. Pengujian ini dilakukan dengan cara menghitung jumlah pukulan palu pemukul yang diperlukan untuk mendesak tabung contoh *Split Spoon Sampler* berdiameter 2” (*inch*) sedalam 30 cm ke dalam tanah. Penghitungan jumlah pukulan dilakukan sebanyak 3 kali yaitu setiap penetrasi 15 cm.

Nilai SPT didapatkan dengan menjumlahkan jumlah pukulan yang diperlukan pada 15 cm penetrasi kedua dan ketiga. Hasil pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) disajikan dalam bentuk grafik pada *Boring Log*. Peck (1996) dan Salgado (2008) menyatakan bahwa standarisasi atau koreksi yang diperlukan pada pengujian penetrasi dinamik (SPT) ada 4 (empat) yaitu tinggi jatuh hammer, berat hammer, tabung SPT dan tabung UDS (*undisturbed sample*). Pengujian pemukulan pada N blow yang dilakukan pada setiap interval 15 cm, hanya interval 15 cm yang kedua (ke-2) dan ketiga (ke-3) yang dipakai (Nblow/30), dikarenakan pada 15 cm yang pertama (ke-1) diasumsikan terganggu. Nilai N yang diperoleh ternyata tergantung dari berbagai faktor pelaksanaan pengujian boring, energi pukulan yang disalurkan pada tabung contoh tanah, tinggi jatuh. Adapun Persamaan 2.1 digunakan untuk melakukan konversi nilai N blow pada standart energy /30 (Bowles, 1988).

$$E_{r1} \times N_1 = E_{r2} \times N_2 \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan:

$$\begin{aligned} E_{r1} \times N_1 &= \text{energy ratio 1 dengan energy ratio 2} \\ E_{r2} \times N_2 &= \text{nilai N pada energy ratio 1 dan energy ratio 2} \end{aligned}$$

Menurut Salgado (2008), beberapa jenis *hammer* yang sampai saat ini masih digunakan pada uji SPT antara lain pengujian *trip hammer* (tinggi jatuh) yang memiliki mekanisme pelepasan secara otomatis dengan tinggi jatuh yang relatif tetap dan menggunakan kerekan untuk mengoperasikannya, dan *automatic hammer* yang dioperasikan dengan hidraulik, dengan frekuensi yang dapat diatur. Berat pemukul, tinggi jatuh pemukul dan tabung contoh yang dipakai pada pengujian N-SPT pada pelaksanaan bor mesin, ternyata mempunyai nilai yang sangat besar terhadap faktor koreksi. Persamaan faktor koreksi nilai SPT tergantung pada faktor pelaksanaan, energy pukulan yang disalurkan dan tegak lurus nya rod terhadap *hammer* dapat dilihat pada Persamaan 2.2.

$$N_{60} = C_h \cdot C_r \cdot C_s \cdot C_d \cdot N_{SPT} \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan :

- C_h : *Hammer correction*
- C_r : *Rod length correction*
- C_s : *Sampler correction.*
- C_d : *Borehole diameter correction*

NSPT : NSPT hasil lapangan

Standar internasional merekomendasikan energi aktual yang diterima adalah 60% dari energi teoritis sehingga dipakai nilai N_{60} (Jefferies & Davies, 1993). Nilai N_{60} diperoleh dari nilai N teoritis dengan menggunakan Persamaan 2.3 (Bowles, 1988).

$$E_{r1} \times N_1 = E_{r2} \times N_2 \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan:

$$E_{r1} \times N_1 = \text{energy ratio 1 dengan energy ratio 2}$$

$$E_{r2} \times N_2 = \text{nilai N pada energy ratio 1 dan energy ratio 2}$$

Adapun persamaan pengkoreksi nilai / *hammer correction* (C_h) pada Persamaan 2.4. sebagai berikut.

$$C_h = \frac{ER_{hammer}}{ER_{safety}} = \frac{ER_{hammer}}{60\%} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan nilai koreksi untuk *Efisiensi Hammer* adalah sebagai rasio energi untuk tipe *hammer* yang digunakan pada saat pelaksanaan *test*, dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1. Nilai – nilai koreksi untuk perhitungan Jumlah Pukulan Standart SPT (N_{60}) (Coduto, 1994; Salgado, 2008)

a. Rod length correction (C_r)	
Rod length	C_r
If rod length < 4 m	0,75
If rod length \leq 6 m	0,85
If 6 m \leq rode length < 10 m	0,95
If rod length \geq 104 m	1,0
b. Sampler correction (C_s)	
Type sampler	C_s
Standar sampler	1,0
Sampler without liner	1,2
c. Borehole diameter correction (C_d)	
Diameter borehole	C_d
65 mm – 115 mm	1,0
150 mm	1,05
200 mm	1,15

d. Energy ration and correction factor (C_h)		
Hammer	Approximate energy ratio (%)	C_h
Safety	60	1,0
Donut	45	0,75
Automatic Trip	80	1,33
Pin weight	72	1,2

Adapun Nilai Standart Penetration Test (N-SPT) untuk tanah kohesi dan non kohesi dapat dilihat pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3.

Tabel 2.2. Standar Penetrasi Tanah Tak Berkohesi (*Ralph, 1973*)

Tingkat Kepadatan	Dr	N-SPT	\emptyset
Sangat Lepas	< 0,2	< 4	< 30
Lepas	0,2 – 0,4	4 – 10	30 – 50
Sedang	0,4 – 0,6	10 – 30	35 – 40
Padat	0,6 – 0,8	30 – 50	40 – 45
Sangat Padat	0,8 – 1,0	>50	45

Tabel 2.3. Standar Penetrasi Tanah Berkohesi (*Punmia, 1981*)

N-SPT	Diskripsi
0 – 2	Sangat lunak
2 – 4	Lunak
4 – 8	Sedang
8 – 16	Kenyal
16 – 32	Sangat Kenyal
32 - 40	Keras

2.3. Pondasi Tiang Bor (*Bored piles*)

Pondasi Dalam (*Deep Foundation*) digunakan untuk menyalurkan beban bangunan atau konstruksi sipil yang melewati lapisan tanah yang lemah di bagian atas ke lapisan bawah

yang lebih keras. Pondasi *bored pile* merupakan salah satu pondasi dalam yang pelaksanaannya dilakukan dengan pengeboran terlebih dahulu yang mana merupakan salah satu alternatif penggunaan pondasi dalam yang cukup terkenal pada saat sekarang. Penggunaan pondasi *bored pile* cukup efisien dalam mengurangi tingkat kebisingan maupun getaran yang ditimbulkannya. Mengikuti perkembangan zaman dan adanya peraturan-peraturan yang diterbitkan mengenai efek atau dampak yang ditimbulkan dari pelaksanaan pondasi dalam, maka pada kondisi tertentu pondasi tiang bor lebih disukai dibandingkan pondasi tiang pancang. Hal ini disebabkan karena pondasi tiang bor dapat memberikan kapasitas daya dukung yang besar, biayanya relatif kecil, panjang tiang dan diameter tiang dapat disesuaikan dengan beban rencana, dan hal yang sangat berpengaruh dalam dampak lingkungan adalah getaran dan kebisingan yang relatif kecil dan dapat meminimalkan efek yang ditimbulkan dalam pelaksanaan. Adapun keuntungan dan kerugian *bored pile* dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Keuntungan dan Kerugian Pondasi *Bored pile*

No	Keuntungan	Kerugian
1.	Pemasangan tidak menimbulkan gangguan suara dan getaran yang membahayakan bangunan sekitarnya	Pengecoran <i>bored pile</i> dipengaruhi kondisi cuac, dan cenderung kotor.
2.	Mengurangi kebutuhan beton dan tulangan <i>dowel</i> pada pelat penutup tiang (<i>pile cap</i>). Kolom dapat secara langsung diletakkan di kepala <i>bored pile</i> .	Pengecoran beton agak sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik.
3.	Kedalaman tiang dapat divariasikan dan serta tidak resiko kenaikan muka tanah	Mutu beton hasil pengecoran bila tidak terjamin keseragamannya di sepanjang badan <i>bored pile</i> mengurangi kapasitas dukung <i>bored pile</i> , terutama bila <i>bored pile</i> cukup dalam.
4.	Tanah dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium	Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah yang berkerikil
5	<i>Bored pile</i> dapat dipasang menembus batuan, sedang tiang pancang akan kesulitan bila pemancangan menembus lapisan batuan.	Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tiang.
6	Diameter tiang dapat dibuat besar, disesuaikan kapasitas daya dukungnya	Akan terjadi tanah runtuh jika tindakan pencegahan tidak dilakukan, maka dipasang <i>temporary casing</i> untuk mencegah terjadinya kelongsoran.

2.3.1. Metode Pelaksanaan Tiang Bor (*Bored pile*)

Metode pelaksanaan pondasi *bored pile* ada 3 macam, yaitu metode kering (*dry boring*), metode basah (*wash boring*), dan metode casing. Ketiga metode ini yang membedakan

adalah pada jenis karakteristik tanah, muka air tanah, mesin yang digunakan dan tahapan pelaksanaan pada pengeboran. Di Indonesia sendiri banyak penggunaan *bored pile* menggunakan 2 (dua) mesin *bored pile* yaitu *Bored pile Model Telescopic* dan Mesin *Bored pile (Wash Boring)* dengan Model Menara, *Jacro*, dan model gawang buatan lokasi. Gambar 2.2 menunjukkan Mesin *Bored pile Model Telescopic* dan Gambar 2.3 Mesin *Bored pile Model Menara* atau Gawang.



Gambar 2.2 Mesin *Bored pile Telescopic* (Dokumentasi Pribadi)



Gambar 2.3 Mesin Mini *Bored pile Wash Boring* (Dokumentasi Pribadi)

Pada pelaksanaan pengeboran pondasi tiang bor (*bored pile*) dengan beberapa mesin yang sering kita jumpai di Indonesia, maka metode pengeboran tiang bor (*bored pile*) adalah sangat penting untuk menjaga kualitas dari pondasi tiang bor tersebut. Adapun langkah-langkah atau metode untuk pekerjaan pondasi tiang bor (*bored pile*) sebagai berikut :

a. Marking dan Setting Out Titik Tiang Bor

Marking dan setting out pada titik tiang bertujuan untuk memastikan agar tidak terjadi kesalahan pada denah dan posisi titik-titik *bored pile* yang akan di bor.

b. Pemasangan Casing Temporary

Setelah pekerjaan *marking* dan *setting out* titik bor selesai dilakukan, maka pekerjaan pemasangan *casing temporary* dengan menggunakan mata bor *spiral*, *auger* atau dengan mata bor *cross bit*. Pemasangan *Temporary Casing* (lihat Gambar 2.4) ini bertujuan agar pada saat pekerjaan pengeboran dilakukan jangan sampai terjadi keruntuhan pada permukaan tanah yang akan dibor tersebut.



Gambar 2.4 Pemasangan *Temporary Casing*

c. Pengeboran *Bored pile*

Pengeboran *bored pile* dilakukan apabila semua pekerjaan persiapan termasuk setting out, sirkulasi air, *mixer bentonite* ataupun bak untuk penampungan lumpur telah ada dan berfungsi. Pengeboran dilakukan dengan menggunakan *auger (spiral)* atau *wing bit* dan untuk diameter mata bor tersebut disesuaikan dengan diameter lubang dan panjang kedalaman titik *bored pile* disesuaikan dengan gambar rencana. Gambar 2.5,

menunjukkan pengeboran dengan mata bor *Auger* dengan Mesin Bor *Telescopic Crawler*, sedangkan untuk Gambar 2.6 menggunakan mata bor cross bit dengan mesin Mini Crane atau Gawang.



2.5. Pengeboran dengan Mata Bor Auger *Telescopic Bor Pile* (Dokumentasi Pribadi)



Gambar 2.6. Mata bor *Cross bit* dengan Mata Pisau *Widia* (Dokumentasi Pribadi)

d. Cleaning

Pada tahapan setelah mencapai kedalaman yang diinginkan, maka tahapan selanjutnya adalah pembersihan lubang bor dari lumpur padat yang masih ada dibawah lubang bor dengan menggunakan mata bor *Cleaning Bucket* dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7. Pembersihan Lubang Bor dengan *Cleaning Bucket* (Dokumentasi Pribadi)

e. Pengecekan Kedalaman Dasar Pengeboran

Pengukuran kedalaman lubang Bor dilakukan dengan menurunkan *measuring tape* (*meteran*) sampai ke dasar lubang bor. Di ujung *measuring tape* di pasang pemberat yang cukup agar memastikan *measuring tape* sampai ke dasar lubang bor.

f. Reinforcement Steel Cage

Steel Cage (tulangan besi) di pabrikan di lokasi proyek. *Steel cage* yang sudah di pabrikan kemudian di turunkan ke lubang bor yang sudah selesai sampai kedalaman desain *toe level*. *Steel cage* disambung dengan alat las atau kawat bendrat.

g. Setting tremi pipe

Setelah tulangan besi (*steel cage*) diturunkan ke dasar lubang, kemudian dilanjutkan dengan *setting pipa tremi* untuk persiapan pekerjaan pengecoran. Pemasangan pipa tremi ini bertujuan agar di saat pengecoran beton segar tidak bercampur dengan tanah. Panjang pipa tremi sebaiknya ditempatkan sampai bawah lubang bor dengan Slump beton sebaiknya berkisar 16 – 18 cm.

h. Pengecoran

Pengecoran dilakukan dengan menggunakan pipa tremi (*casting*), yang mana ready mix dituang melalui bucket yang berbentuk pipa corong. Panjang pipa tremi

disesuaikan dengan kedalaman dasar lubang bor. Sebelum ready mix dituang terlebih dahulu air di tuang ke dalam corong untuk melancarkan aliran ready mix dalam pipa tremi. Pipa tremi akan dihentikan jika concrete sudah keluar dari lubang bora atau $\pm 0,5$ m diatas *cut off level*. Selama pengecoran pipa tremi akan dipotong secara bertahap, tetapi tetap di jaga agar pipa tremi minimal 2 (dua) meter tertanam di bawah concrete level. Semua tahapan pekerjaan pada pondasi *bored pile* adalah diperlukan pengawasan dengan sumber daya manusia yang cukup menguasai pekerjaan tersebut. Pekerjaan *bored pile* tidak semuanya berjalan dengan baik dan benar. Berikut beberapa kesalahan yang sering terjadi pada pekerjaan *bored pile* sebagai berikut :

- a. Material Beton *Bored pile* tercampur dengan lumpur (Gambar 2.8), hal ini biasanya diakibatkan oleh beberapa faktor antara lain cleaning pit (pembersihan lubang) yang kurang sempurna, slump beton yang relatif kecil kurang dari 12 cm dan kekeliruan menghitung volume beton pada lubang bor tanpa memperhitungkan kehilangan material ataupun pembesaran lubang *bored pile*.



Gambar 2.8. Material Beton *Bored pile* tercampur dengan Lumpur
(Dokumentasi Pribadi)

- b. Waktu Lama Pengecoran

Waktu lama pengecoran antara truck mixer yang satu dengan yang lain sehingga menyebabkan slump beton tersebut mengalami penurunan yang cukup besar sehingga kemungkinan besar akan terputusnya tiang bor akan tersisipi oleh lumpur yang mulai memadat dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Tidak Menyatunya Tiang *Bored pile* antara Besi dengan Beton (Dokumentasi Pribadi)

c. Tidak Lurusnya Tiang *Bored Pile*

Tidak lurus nya tiang *bored pile* ini biasanya terjadi pada penggunaan mesin *bored pile* mini crane atau gawang dengan diameter lubang besar >80 cm dengan kedalaman yang cukup dalam, hal ini bisa di antisipasi dengan meminimalkan ketidak lurusan tiang dengan melakukan pengeboran beberapa tahap. Adapun Gambar 2.10 adalah contoh Tiang *Bored Pile* yang tidak lurus



Gambar 2.10 Tiang *Bored pile* tidak Tegak Lurus (Dokumentasi Pribadi)

d. Terputusnya Sambungan Besi

Pada pekerjaan pondasi *bored pile* waktu *handling* atau pengangkatan maupun penyambungan antara tulangan yang satu dengan yang lain rentan mengalami putus, dikarenakan sambungan dengan menggunakan las ataupun kawat bendrat kadang tidak dilakukan pada seluruh area *overstek*

e. Tulangan Spiral

Pada pembuatan tulangan spiral yang di ikatkan pada tulangan utama pondasi *bored pile* kadangkala tidak semua tulangan spiral menempel dengan tulangan utama, sehingga menyebabkan tulangan spiral itu kadang lebih besar diameternya dibandingkan dengan lubang bor itu sendiri, sehingga diperlukan seorang pengawas yang cukup handal.

2.3.2 Daya Dukung Pondasi Tiang Bor (*Bored pile*).

Dalam pekerjaan pondasi *bored pile* sangatlah penting untuk mengetahui daya dukung dan penurunan yang terjadi. Penentuan daya dukung pada pondasi *bored pile* terdiri dari daya dukung ujung tiang dan daya dukung selimut tiang yang tertanam. Ada beberapa persamaan dalam menghitung daya dukung ujung dan selimut tiang *bored pile* adalah sebagai berikut.

- **Hardiyatmo (2010)**

Kapasitas daya dukung (*bearing capacity*) dari tiang sebelum pembangunan dimulai.

Tahanan ujung ultimit tiang (Q_b) dihitung dengan Persamaan 2.5.

$$Q_b = A_b \cdot f_b \dots\dots\dots(2.5)$$

Tahanan gesek dinding tiang (Q_s) dihitung dengan Persamaan 2.6.

$$Q_s = A_s \cdot f_s \dots\dots\dots(2.6)$$

Kapasitas daya dukung ultimit tiang (Q_u) adalah jumlah dari tahanan ujung ultimit tiang Q_b) dan tahanan gesek dinding tiang (Q_s) antara sisi tiang dan tanah di sekitarnya dinyatakan dalam persamaan 2.7.

$$Q_u = Q_b + Q_s = A_b \cdot f_b + A_s \cdot f_s \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

Q_b = Tahanan ujung ultimit tiang

Q_s = Tahanan gesek dinding tiang

A_b = Luas ujung tiang bawah

- As = Luas selimut tiang
- fb = Tahanan ujung satuan tiang
- fs = Tahanan gesek satuan tiang

- **Meyerhof (Bowles, 1993)**

Kapasitas daya dukung ultimate tiang dapat dihitung secara empiris menggunakan data N-SPT (*standart penetration test*) dengan Persamaa 2.8 sampai dengan Persamaan 2.11.

Tahanan ujung Tiang

$$Q_b = A_b (40N) \leq A_b (400N) \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

- N = Nilai rata-rata statistik dari bilangan-bilangan SPT dalam daerah kira-kira 8B di atas sampai dengan 3B di bawah titik tiang
- B = Lebar atau diameter tiang
- Lb/B = Perbandingan kedalaman rata-rata dari sebuah titik

Tahanan gesek selimut tiang

$$Q_s = X_m \cdot N_p \cdot L_i \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

- Xm = **0,2 untuk bored pile**
- Li = Panjang lapisan tanah (m)
- P = Keliling tiang (m)
- N = Banyaknya perhitungan pukulan rata-rata

Tahanan ujung tiang dengan faktor kedalaman

$$Q_b = A_b \cdot f_b$$

Dengan nilai fb yaitu :

- Tiang dalam pasir dan kerikil:
fb = 0,4 N''(L/d) σr ≤ 4 N'' σr (2.10)

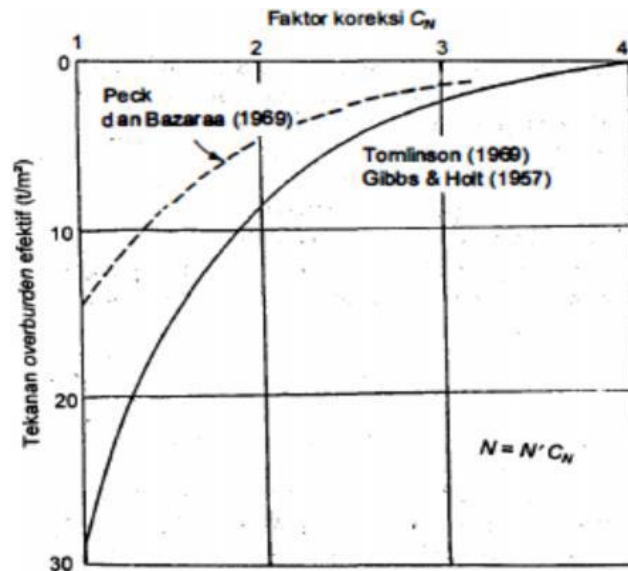
- Tiang dalam lanau tidak plastis:
fb = 0,4 N''(L/d) σr ≤ 3 N'' σr..... (2.11)

Keterangan:

- fb = Tahanan ujung satuan tiang (kN/m2)

- N'' = N-SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh prosedur lapangan dan tekanan overburden
- L = Kedalaman penetrasi tiang (m)
- d = Diameter tiang (m)
- σ_r = Tegangan referensi = 100 kN/m²

Adapun Grafik hubungan antara Tekanan Overburden Tanah dengan Faktor Koreksi nilai N-SPT dapat dilihat pada Gambar 2.11



Gambar 2.11. Koreksi nilai N-SPT Akibat Tekanan *Overburden* (Bowles,1993)

Untuk menghitung f_b , nilai N-SPT yang digunakan harus mewakili kondisi tanah di sekitar ujung tiang yaitu dalam kisaran 1D di atas dasar tiang dan 2D di bawahnya.

Tahanan gesek dengan faktor kedalaman

Menurut Bowles (1993) kapasitas daya dukung ultimate tiang berdasarkan tahanan gesek dengan faktor kedalaman dapat dilihat pada Persamaan 2.12

$$Q_s = A_s \cdot f_s \dots \dots \dots (2.12)$$

Briaud et al. (Hardiyatmo, 2010) menyarankan persamaan 2.13 dan Persamaan 2.14 tahanan ujung satuan, yaitu:

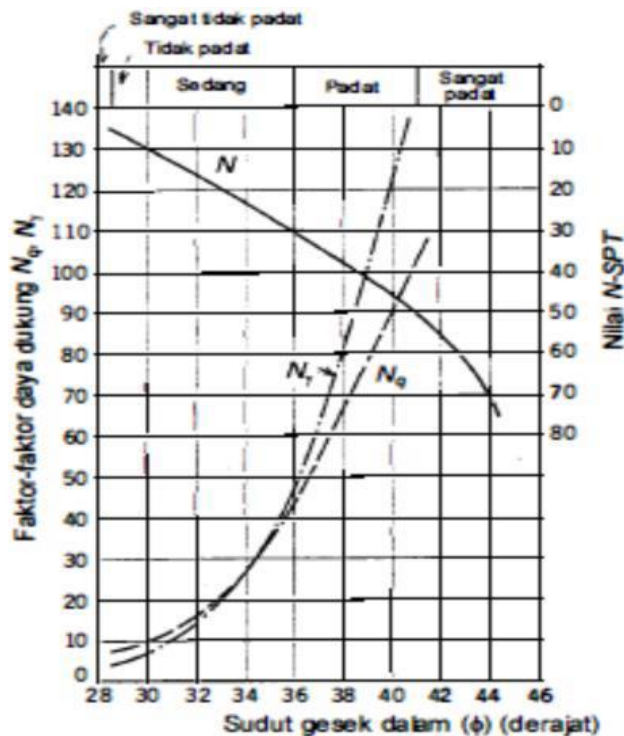
$$f_s = 0,224 \sigma_r (N'')^{0,29} \dots \dots \dots (2.13)$$

$$f_b = 19,7 \sigma_r (N'')^{0,36} \dots \dots \dots (2.14)$$

Keterangan:

- f_s = Tahanan gesek satuan tiang (kN/m²)
- f_b = Tahanan ujung satuan tiang (kN/m²)
- N'' = N-SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh prosedur lapangan dan tekanan overburden.
- σ_r = Tegangan referensi = 100 kN/m²

Dalam pengujian SPT ini juga akan diperoleh kepadatan relatif (*relative density*), sudut gesek dalam (ϕ) berdasarkan nilai jumlah pukulan (N). Untuk tanah granuler, seperti pasir faktor-faktor N_q , N_γ adalah fungsi dari ϕ , karena itu sangat tergantung dari besarnya kerapatan relatif (D_r) dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Hubungan nilai N , N_q , N_γ dan ϕ (Hardiyatmo, 1996)

Dengan memperhatikan bentuk pondasi, kemiringan beban dan kuat geser tanah di atas dasar pondasinya Meyerhof dan Brinch Hansen (Hardiyatmo, 1996) memberikan juga daya dukung pada Persamaan 2.15.

$$Q_u = S_c D_c i_c c N_c + S_q D_q i_q P_o N_q + S_\gamma D_\gamma i_\gamma 0,5 \beta' \gamma N_\gamma \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan:

Q_u	=	Kapasitas daya dukung ultimit
N_c, N_q, N_γ	=	Faktor kapasitas dukung untuk pondasi memanjang
s_c, s_q, s_γ	=	Faktor bentuk pondasi
d_c, d_q, d_γ	=	Faktor kedalaman pondasi
i_c, i_q, i_γ	=	Faktor kemiringan beban
β'	=	Lebar pondasi efektif
p_o	=	Tekanan overbuden pada dasar pondasi
D_f	=	Kedalaman pondasi
γ	=	Berat volume tanah

- **Kapasitas Daya dukung dari Data SPT (Reese & Wright, 1997)**

Daya Dukung Ujung Pondasi Tiang Bor (end bearing) pada Tanah Kohesif. Daya dukung ultimit pada ujung tiang bor dinyatakan seperti dapat dilihat pada Persamaan 2.16.

$$Q_p = q_p \cdot A \dots\dots\dots (2.16)$$

$$q_p = 9 \times C_u$$

$$C_u = (N\text{-SPT} \times 2/3 \times 10)$$

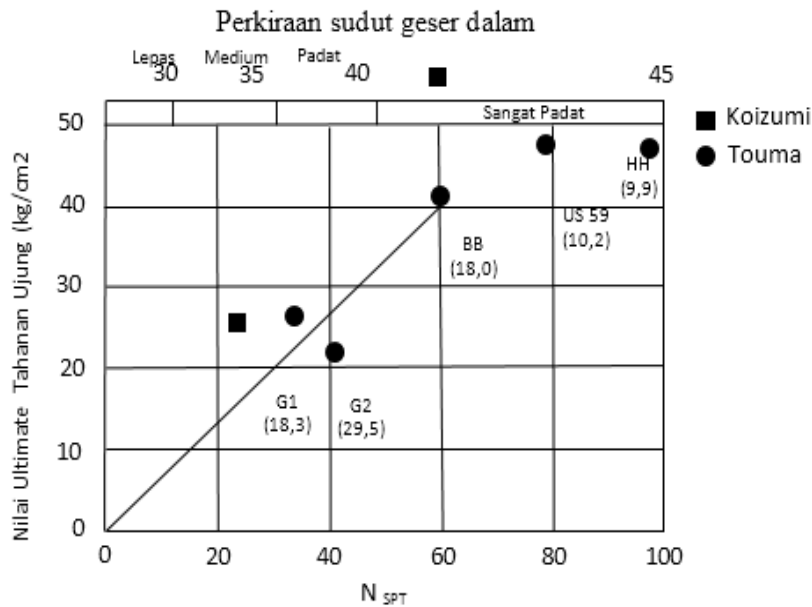
dimana :

$$Q_p = \text{Daya dukung ultimit tiang}$$

$$q_p = \text{Tahanan ujung per satuan luas (ton/m}^2\text{)}$$

$$A = \text{Luas penampang tiang bor (m}^2\text{)}$$

Reese dan Wright (1997) mengusulkan untuk lapisan dengan struktur tanah yang kohesif dengan besaran tahanan ujung per satuan luas (q_p), dapat diambil sebesar 9 (sembilan) kali kuat geser tanah. Sedangkan untuk tanah non kohesif, mengusulkan korelasi antara q_p , dengan N-SPT (Nilai Standart Penetration Test). Adapun perkiraan antara sudut geser dalam dengan tahanan ujung ultimate dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Tahanan Ujung Ultimit pada Tanah Non Kohesif (Reese & Wright, 1997)

- Daya Dukung Selimut

Perhitungan daya dukung selimut tiang pada tanah homogen atau mayoritas seragam dapat dituliskan dalam bentuk Persamaan 2.17.

$$Q_s = f \cdot L \cdot p \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana:

- Q_s = Daya dukung ultimit selimut tiang (ton)
- f_s = Gesekan selimut tiang (ton/m²)
- L = Panjang tiang (m)
- p = Keliling penampang tiang (m)

Metode Reese & Wright (1997) melihat gesekan selimut tiang per satuan luas dipengaruhi oleh Jenis tanah dan parameter kuat geser tanah. Untuk tanah kohesif dan tanah non kohesif dapat menggunakan Persamaan 2.18.

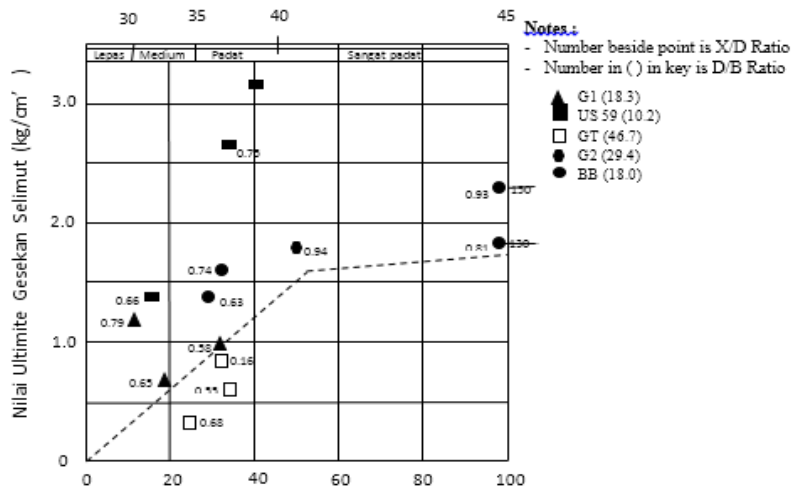
Tanah kohesif :

$$f = \alpha \cdot C_u \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana :

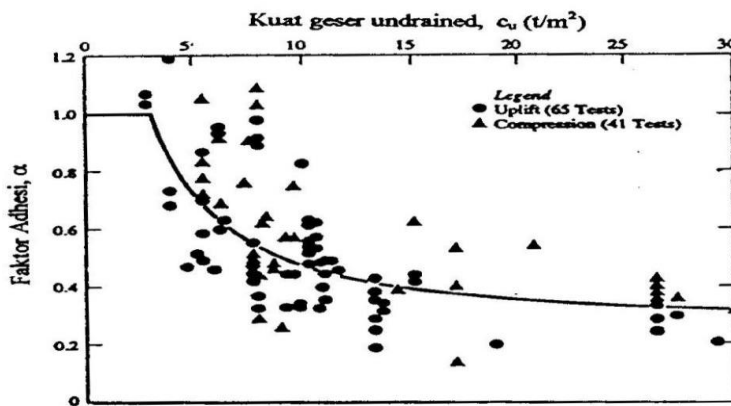
- α = Faktor koreksi (tiang bor = 0,55)
- C_u = Kohesi tanah (ton/m²)

Berdasarkan hasil penelitian Reese & Wright (1997) faktor koreksi (α) dapat diambil sebesar 0.55. Pada tanah non-koheusif, nilai f dapat diperoleh dari korelasi langsung dengan NSPT dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14. Nilai Ultimate Tiang Terhadap Sudut Geser dalam Reese & Wright (1997)

Sedangkan Metode yang dikembangkan dan diteliti oleh Kulhawy (1991) menyatakan bahwa nilai yang dihasilkan dari daya dukung gesekan tiang yang terdapat pada struktur lapisan tanah kohesif tergantung dari factor adhesi dan kohesi tanah itu sendiri. Adapun nilai factor adhesi dan besaran kuat geser dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15. Hubungan Faktor Adhesi Dengan Kuat Geser Undrained (Kulhawy. 1991)

Pada tanah non kohesif, gesekan selimut dapat dihitung dengan Persamaan 2.19.

$$f_s = K_o \cdot \sigma'_v \cdot \tan \phi \dots\dots\dots (2.19)$$

dimana :

K_0 = Koefisien tekanan tanah *at rest*
 $= 1 - \sin \phi$

σ'_v = Tekanan vertikal efektif tanah (ton/m²)

ϕ = Sudut geser dalam tanah ($^{\circ}$)

Bila tiang bor pada tanah berlapis maka formula tersebut dapat dimodifikasi menjadi Persamaan 2.20

$$Q_s = \sum_{i=1}^n f_{si} \times l_i \times p \dots\dots\dots (2.20)$$

dimana :

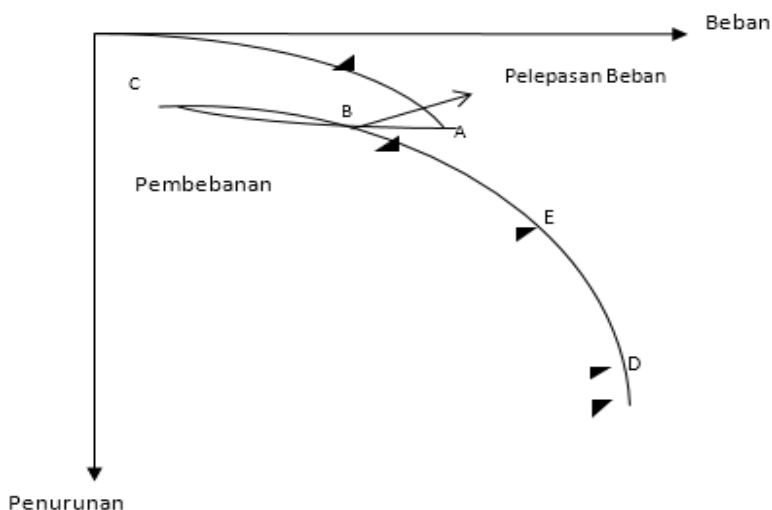
Q_s = Daya dukung ultimit selimut tiang (ton)

f_{si} = Gesekan selimut tiang per satuan luas pada segmen ke-i (ton/m²)

l_i = Panjang tiang (m)

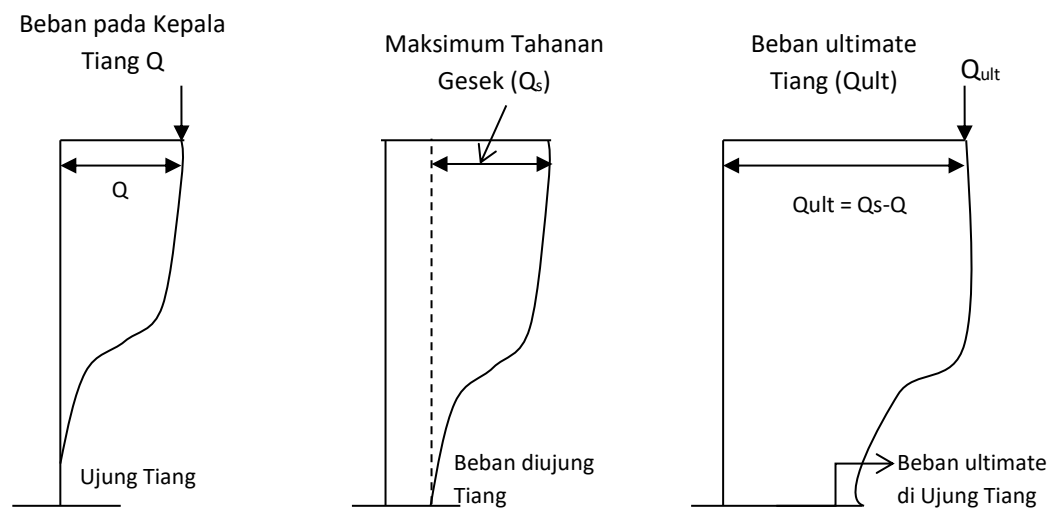
p = Keliling penampang tiang (m)

Pelaksanaan pembebanan pada pondasi tiang adalah untuk dapat memprediksi besarnya daya dukung tiang dan seberapa besaran penurunan yang akan terjadi. Respon yang terjadi pada tanah terhadap tiang memiliki perilaku yang elastik. Adapun keterangan pemasangan yang dilakukan secara sedang sampai cepat dimana tiang tersebut diberi beban akan menghasilkan grafik pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16. Kurva Pembebanan – Penurunan pada Tiang yang dibebani sampai mengalami Keruntuhan (Tomlinson, 1977)

Pada Gambar 2.16. Menunjukkan bahwa respon tiang terhadap tanah adalah elastis, hal itu ditunjukkan dengan kurva garis lurus sampai menemukan titik di posisi A, kepala tiang akan mengalami rebound (kembali seperti semula) apabila beban yang ada dilepaskan. Jika beban ditambah dan melewati pada posisi titik A, maka grafik tersebut akan berpindah ke posisi titik B, hal ini menyebabkan kondisi tahanan gesek sudah termobilisasi. Posisi kepala tiang akan berpindah ke Posisi C, apabila beban yang diberikan pada tiang tersebut dilepaskan. Nilai tahanan yang gesek yang termobilisasi adalah 0,3 % sampai 1 % dikalikan dari diameter tiang, sedangkan pergerakan yang terjadi dibutuhkan mobilisasi tahanan ujung yang jauh lebih besar sekitar 10 % sampai 20% dari diameter tiang. Pada akhirnya tiang tersebut akan mengalami penurunan yang besar dengan mengikuti penambahan beban yang ada, dan akan mengalami penurunan tanpa adanya penambahan beban apabila kepala tiang mencapai posisi di titik D. dan akhirnya sebagian besar beban yang ada akan ditahan atau dipikul oleh tahanan gesek yang ada (*friction pile*), dan sebagian lagi akan didukung oleh tahanan ujung yang ada (Tomlinson, 1977)



Gambar 2.17. Transfer Beban dari Kepala Tiang sampai ke Ujung Bawah Tiang (Tomlinson, 1977)

Pada Gambar 2.17. menunjukkan bahwa tiang diasumsikan memiliki sumbu axis pada pusat tiang, kearah kebawah adalah positif dan di kepala tiang yang bekerja di pusat

axis adalah Q. Ujung tiang dan selimut tiang bergerak secara simultan bersama-sama menghasilkan tahanan ujung dan tahanan gesek (*friction*). Pada umumnya perpindahan yang dibutuhkan untuk memobilisasi tahanan gesek lebih kecil daripada yang dibutuhkan untuk memobilisasi tahanan ujung.

- **Gaya Lateral Izin pada Pondasi Tiang Bor**

Penentuan kriteria tiang (Persamaan 2.21)

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{nh}} \dots\dots\dots (2.21)$$

dimana:

- Ep = Modulus tiang (kN/m²)
- Ip = Momen inersia tiang (m⁴)
- ηh = Konstanta modulus dari reaksi subgrade horizontal (kN/m³)

- **Cek keruntuhan tanah akibat beban lateral tiang bor**

Mmax dihitung dengan Persamaan 2.22.

$$M_{max} = \gamma \cdot d \cdot L^3 \cdot Kp \dots\dots\dots (2.22)$$

dimana:

- γ = Berat jenis tanah (kN/m³)
- d = Diameter tiang (m)
- L = Panjang tiang (m)
- Kp = $(1 + \sin \varphi'') / (1 - \sin \varphi') = \text{tg}^2 (45^\circ + \varphi/2)$

Berat sendiri tiang bor (W) dihitung dengan Persamaan 2.23.

$$W = q = A \cdot \gamma_{\text{beton}} \dots\dots\dots (2.23)$$

Maka :

$$M_y = 1/8 \cdot Q \cdot L^2$$

Karena $M_{mak} > M_y$, maka tidak terjadi keruntuhan tanah, sehingga gaya horisontal ultimit ditentukan oleh kekuatan bahan tiang dalam menahan beban momen (hitungan berdasarkan tiang panjang).

2.4. Pengujian Tiang (Pile Loading Test)

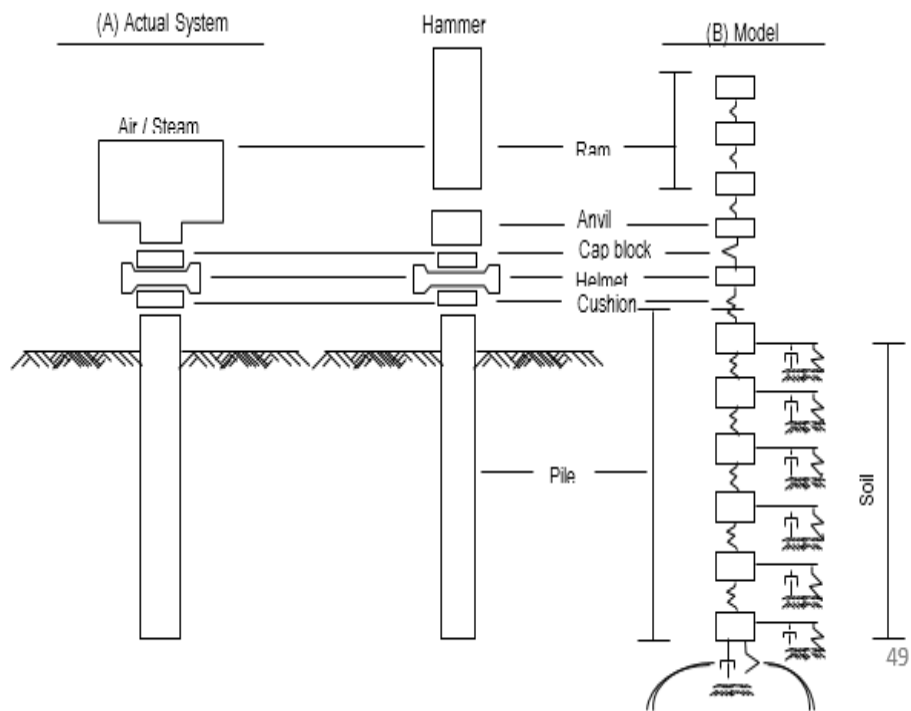
Pengujian tiang berupa pengujian pembebanan tiang yang biasa disebut loading test adalah metode sebagai bahan validasi, pengecekan atau pemeriksaan yang digunakan dalam

pembebanan suatu tiang untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan beban rencana yang dapat didukung oleh suatu struktur tersebut, dan pengujian loading test juga dapat memberikan bukti akurasi perhitungan desain kapasitas daya dukung tiang di lapangan. Loading test terdapat beberapa metode yang sering dilakukan di dunia geoteknik khususnya pengujian tiang pondasi dalam, yaitu Dinamik Load Test (PDA) dan *Statik Load Test* berupa *compression*, *tension* dan *lateral test*. Pengujian tiang (loading test) dapat dilakukan dengan berbagai alternatif seperti *Test Unused Pile / Failure Test* (tiang sampai mengalami keruntuhan / kegagalan dan *Test on a working pile (used pile)*. Pengujian ini sering dilakukan karena tiang yang diuji merupakan tiang yang dipakai dalam perhitungan struktur adapun nilai yang diberikan berupa 200% dari beban rencana.

2.4.1 Uji Beban Dinamik Pondasi Tiang

Pile Driving Analyzer (PDA) Test termasuk salah satu jenis pengujian dinamik dengan menggunakan metoda *wave analysis* dan sering disebut dengan *re-strike test* sesuai dengan sifat pengujiannya yang melakukan re-strike atau pemukulan ulang pondasi tiang yang diuji. PDA Test pelaksanaannya mengacu pada ASTM D-4945 (*Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Deep Foundations*).

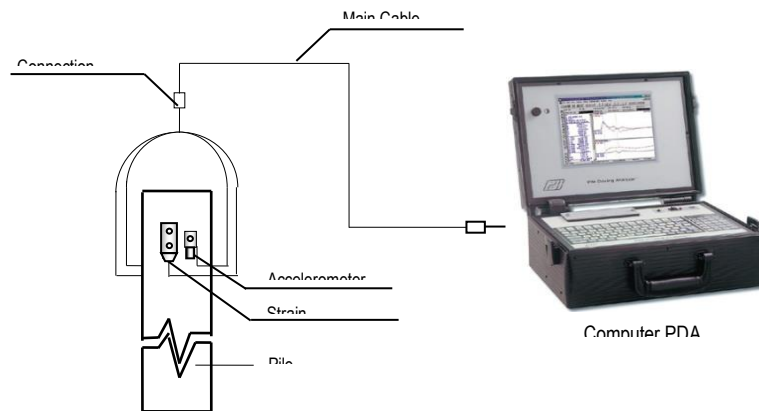
Pada pengujian PDA ada beberapa yang secara teoritis yang perlu diketahui yaitu latar belakang, teori proses perhitungan, dan korelasi antara hasil kapasitas dari uji PDA dengan Uji Beban Statik, persamaan gelombang & *Dynamic Monitoring*, metode pelaksanaan dan penentuan kapasitas Pile dan *Case Pile Wave Analysis Program (CAPWAP)*. Gambar 2.18 Ilustrasi pemukulan dan Rambatan Gelombang.



Gambar 2.18. Penggambaran Sitem Pemukulan & Persamaan Gelombang pada Tiang (Dokumentasi Pribadi)

Pengujian dinamis pondasi tiang menggunakan alat PDA dapat memberikan informasi-informasi penting yang berkaitan dengan interaksi pondasi tiang - tanah dibawah beban aksial yang diberikan. Hasil-hasil yang didapat dari pengujian dengan PDA ini adalah kapasitas tiang, transfer energi hammer ke tiang, tegangan tekan dan tarik yang bekerja pada tiang akibat tumbukan, serta integritas (keutuhan) tiang.

PDA dilengkapi dengan sensor-untuk mendapatkan parameter-parameter yang diperlukan dalam analisa dengan metode Case-Goble (1988) yaitu masing-masing 2 buah *accelerometer* dan 2 buah *strain transducer* yang ditempatkan di badan tiang. *Strain transducer* berfungsi untuk mengukur regangan dalam fungsi waktu, yang kemudian dikonversikan menjadi gaya (F). Sedangkan *accelerometer* berfungsi untuk mengukur percepatan gerak partikel yang kemudian diintegrasikan terhadap waktu untuk mendapatkan kecepatan partikel (V). Hasil rekaman dari transducer langsung dianalisa, sehingga langsung dapat diketahui outputnya segera setelah tumbukan. Skema sistem PDA adalah seperti terlihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19. Konsep Skema Sistem PDA (Dokumentasi Pribadi)

Jumlah pengujian PDA pada pondasi tiang yang akan diuji pada umumnya sebanyak 1% dari jumlah titik pondasi tiang dalam satu proyek, sedangkan Berat *Hammer* ideal untuk pengujian PDA adalah 2% dari kapasitas pondasi tiang ultimate. Selain hasil analisis data yang dilakukan PDA dengan prosedur *Case Method* yang meliputi pengukuran data kecepatan (velocity) dan gaya (force) selama pelaksanaan pengujian (re-strike) dan perhitungan variabel dinamik secara *real time* adalah untuk mendapatkan gambaran tentang daya dukung pondasi tiang tunggal. Dari pengujian PDA dengan menggunakan "*Case Method*" kita akan dapat mengetahui : daya dukung pondasi tiang tunggal, integritas atau keutuhan tiang dan sambungan serta efisiensi dari transfer energi pukulan hammer / alat pancang,dst.

Analisis lanjutan yang dilakukan bersama dengan pengujian PDA adalah analisa CAPWAP yang merupakan salah satu metoda *signal matching analysis* (SMA). Analisa ini menggunakan data yang diperoleh dari pengujian PDA untuk memberikan hasil analisa yang lebih detail. Dari analisis CAPWAP kita akan mengetahui lebih rinci data yang diperoleh dari pengujian PDA, dengan tambahan informasi : tahanan ujung pondasi tiang tunggal, tahanan friksi pondasi tiang tunggal dan simulasi statik loading test.

2.4.2. Metode Pelaksanaan

a. Persiapan Tiang dan Hammer

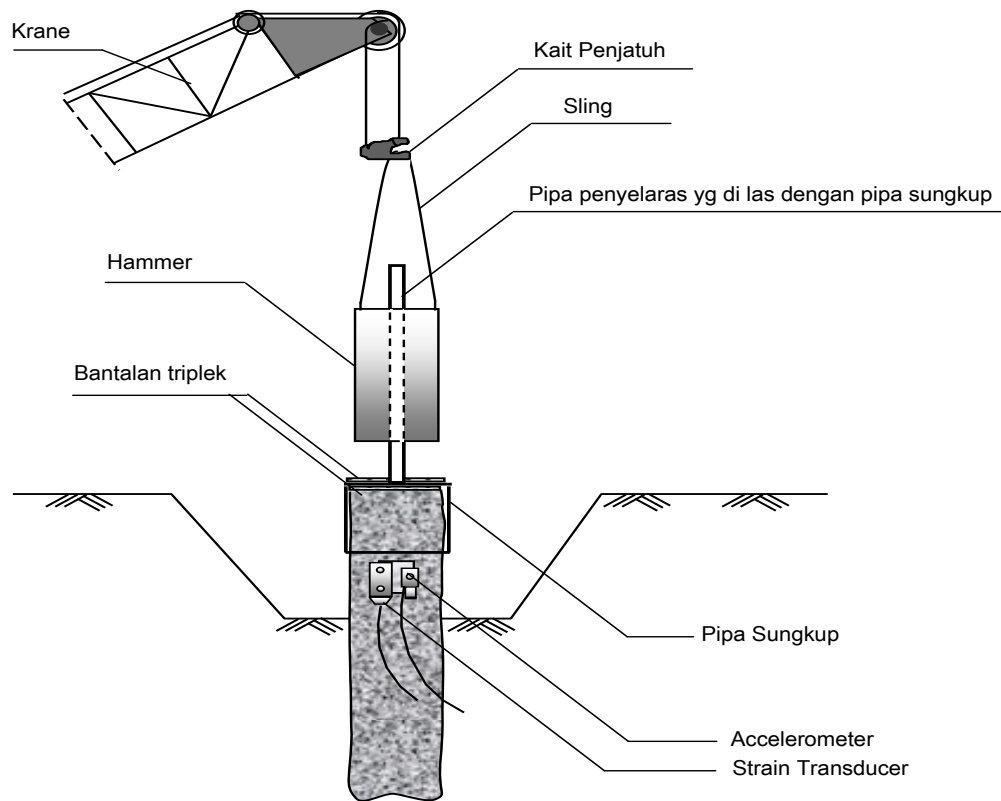
Persiapan tiang meliputi pengeboran lubang untuk *dyna bolt* dan perataan permukaan tiang di lokasi penempatan *transducer* yang sudah ditentukan sebelumnya. Untuk tiang bor, bagian

kepala tiang yang biasanya berkualitas rendah dapat dibuang. Tanah disekeliling tiang perlu digali dengan lebar yang cukup, sehingga memudahkan bagi orang yang bekerja.

Sistem hammer yang digunakan harus dapat memberikan energi yang cukup untuk menggerakkan ujung bawah tiang dan untuk *memobilisasi* penuh tahanan kulit dan tahanan ujung tiang. Untuk itu pemilihan jenis hammer, berat hammer dan sistem penjatuhan yang tepat sangat diperlukan untuk mendapatkan hasil yang mewakili / optimal. Untuk pengujian selama pemancangan (*initial driving*) dapat digunakan *diesel hammer*, *single acting hammer* atau jenis lainnya sesuai yang tersedia di lapangan. Sedangkan untuk pengujian *restrike* biasanya digunakan hammer seperti diatas atau *drop hammer*, khususnya untuk tiang bor, dengan sistem hammer seperti pada Gambar 2.20.

b. Penempatan Sensor

Untuk keamanan, sensor akan dipasang setelah hammer ditempatkan pada tiang. Sensor yang digunakan masing-masing 2 buah *accelerometer* (*A1* dan *A2*) dan 2 buah *strain transducer* (*F1* dan *F2*). Pemasangannya, *A1* dan *F1* pada satu sisi dan pada sisi yang berlawanan secara diametrical dengan *A2* dan *F2*. Sebaiknya transducer ditempatkan pada jarak 1.5 - 2 D dari kepala tiang untuk menghindari *end effect* akibat tumbukan hammer (ASTM D4945-89). Transducer harus dipasang dalam posisi tegak lurus dan harus cukup kuat terpasang pada tiang untuk menghindari *bending* dan *slipping*, juga agar gerakan transducer adalah identik dengan gerakan tiang. Adapun konsep sistem pembebanan dan pengujian PDA dengan pada *Bored Pile* dapat dilihat pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20. Konsep sistem Pembebanan untuk Tiang Bor

2.4.3. Pengujian

Bila input data serta set-up alat sudah selesai dilakukan, maka pengujian dapat dimulai, massa hammer dapat dijatuhkan (untuk drop hammer), atau mesin hammer sudah dapat dijalankan seperti saat pemancangan (bila menggunakan mesin hammer), pertama-tama harus dilakukan hanya beberapa pukulan saja, lalu dievaluasi untuk melihat apakah data yang terekam representatif, bila ya, maka pemukiman dapat dilanjutkan, untuk tiang pancang dengan mesin pancang, pukulan dapat dilakukan sampai sebanyak 10 - 30 kali, sedang untuk tiang bor, pukulan cukup 3 (tiga) – 6 (enam) kali saja atau sampai nilai *Compression strength* mencapai yang diharapkan.

Pada pengujian dengan PDA Test akan diperoleh hasil daya dukung yang bersifat salah satu dari dua kondisi yaitu *refusal* dan *ultimate*. Kondisi ***Refusal*** dimana daya dukung yang terdeteksi / terdata dan dianalisa merupakan daya dukung yang diperoleh dari kondisi pondasi tiang yang belum sepenuhnya termobilisasi, dimana kondisi ini pondasi tiang belum mencapai kapasitas tertinggi atau ***ultimate-nya***. Kondisi ini dapat disebabkan karena pada

saat pengujian / *re-strike* dilakukan, energi yang ditransfer tidak cukup besar untuk memobilisasi seluruh kemampuan tahanan atau daya dukung pondasi tiang yang diuji.

Kondisi *Ultimate* adalah daya dukung yang diperoleh dari kondisi pondasi tiang yang sudah termobilisasi sepenuhnya. Dengan demikian angka daya dukung yang dihasilkan dari analisa PDA dan CAPWAP pada kondisi ini adalah benar-benar daya dukung ultimate atau batas yang dimiliki oleh pondasi tiang yang diuji. Kondisi ultimate ditentukan oleh salah satu dari : telah bergeraknya tiang akibat beban tertentu (beban ultimate) yang berarti terlampauinya tahanan friksi dan ujung dari pondasi tiang, telah terlampauinya kemampuan material tiang pancang itu sendiri yang jika diteruskan dengan beban yang lebih berat akan mengakibatkan kegagalan pada bahan/material tiang pancang. Kedua kondisi tersebut (*refusal atau ultimate*) dapat diterima selama daya dukung yang diperoleh masih memenuhi syarat faktor keamanan yang dituntut dari desain yang ditetapkan.

2.4.4 Interpretasi Hasil dan Output PDA

Informasi hasil out-put yang dihasilkan pada pengujian alat PDA (*Pile Driving Analyzer*) dapat dibagi beberapa interpretasi bagian yang penting antara lain sebagai berikut :

- **Tegangan**

Tegangan pada material tiang yang terukur pada level sensor harus selalu diamati dalam setiap pukulannya, dan dibatasi tidak boleh lebih besar dari tegangan yang diijinkan untuk material tiang, kemudian akibat rambatan gelombang maka terjadi pula tegangan tarik, yang harus diamati pula dan harus ditinjau terhadap nilai tegangan ijin untuk material tsb. Sehingga nilai parameter yang dapat dilihat pada hasil PDA adalah *CSX* yaitu nilai tegangan tekan pada material tiang di level sensor (kg/cm²) serta *TSX* adalah nilai tegangan tarik pada material tiang di level sensor (kg/cm²).

- **Daya Dukung Statis**

Tujuan utama dari pengujian ini adalah menentukan daya dukung tiang yang berdasarkan metode *Case - Goble* yang dihitung oleh PDA. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam menentukan daya dukung statis tiang dengan PDA ini, yaitu input *WS* harus sesuai dengan kecepatan gelombang sesungguhnya. Penentuan daya dukung dapat dilihat pada parameter *RSU* yaitu daya dukung berdasarkan metode *Case-Goble* untuk kasus tiang dengan friksi tinggi, juga *RA2* yaitu daya dukung berdasarkan

metode Case-Goble untuk kasus tiang dengan friksi kecil, serta *RAU* yaitu daya dukung untuk tiang dengan sifat *end bearing* dan *RMX* yaitu daya dukung berdasarkan metode Case-Goble.

- **Keutuhan Tiang**

Karena prinsip kerja dari PDA adalah memanfaatkan rambatan gelombang, setiap perubahan impedansi pada suatu tempat di badan tiang (menandakan perubahan luas penampang/ketidak sinambungan) akan memantulkan muka gelombang, serta terasa pengaruhnya pada sensor, sehingga keutuhan tiang sepanjang badan tiang dapat terpantau oleh PDA. Nilai keutuhan tiang beserta perkiraan lokasinya dapat dilihat pada parameter *BTA* (dalam %).

Selain hasil utama yaitu daya dukung statis dari tiang yang diuji, maka ada beberapa out-put yang dapat dihasilkan oleh PDA dan hal – hal yang perlu diperhatikan dalam pengujian. Adapun hasil yang diperoleh pada pengujian PDA adalah sebagai berikut :

- **RMX (Ton) :**
Daya dukung tiang maksimum berdasarkan metode Case – Goble
- **RA2 (Ton)**
Daya dukung tiang berdasarkan metode CASE untuk tiang dengan tahanan kulit (*friction*) sedang dan tahanan ujung (*toe*) sedang
- **RSU (Ton)**
Daya dukung statis pondasi tiang, khususnya tiang dengan friksi yang tinggi
- **CSX (Kg/cm²)**
Tegangan tekan terukur pada material tiang di level sensor akibat impact
- **TSX (Kg/cm²)**
Tegangan tarik terukur pada material tiang di level sensor akibat impact
- **EMX (Ton-meter)**
Energi terukur pada tiang di level sensor akibat impact
- **BTA (%)**
Nilai keutuhan tiang
- **DFN (mm)**
Penurunan

Pada pengujian PDA ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pengetasan agar hasil yang didapatkan baik seseuai dengan rencana design yang ada. Adapun hal-hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut :

1. Sensor ditempatkan atau dilekatkan pada permukaan sisi tiang yang rata.
2. Pengecekan nilai off-set dari pemasangan sensor harus diantara -3,5 - +3,5.
3. Setelah dari persiapan diatas selesai, kemudian diambil 3 – 5 pukulan.
4. Daya dukung diambil dengan melihat nilai batas kompresi tiang (CSX) dan energi yang optimal. $CSX_{actual} \leq CSX_{ijin}$ dan nilai Efisiensi Hammer $> 50 \%$.
5. Kelurusan jatuhnya hammer kekepala tiang agar tidak timbul bending yang amat besar.
6. Kinerja diesel hammer. Diharuskan sebelum pengetasan diesel hammer digunakan dahulu untuk memancang pada tiang yang lain.
7. Pada tiang bor diharuskan umur beton sudah setting. Kurang lebih > 21 hari, pada pekerjaan *wash boring* sebaiknya > 28 hari.
8. Permukaan top pile untuk tiang bor harus rata pada waktu pengujian.
9. Penentuan besar Wave Speed (WS).
10. Harus dihindari pelaksanaan pengetasan dalam kondisi hujan.

2.5. Penurunan Pondasi Tiang Tunggal

Masalah yang sering terjadi dan merupakan masalah terbesar pada pondasi adalah penurunan (*settlement*). Poulos & Davis (1980), Prakash & Sharma (1990) menjelaskan bahwa penurunan yang terjadi pada pondasi tiang merupakan penurunan jangka pendek (*short term settlement*) / *immediate settlement* (penurunan seketika) dan penurunan jangka panjang (*long term settlement*).

2.5.1 Tiang Mengapung (Floating Pile)

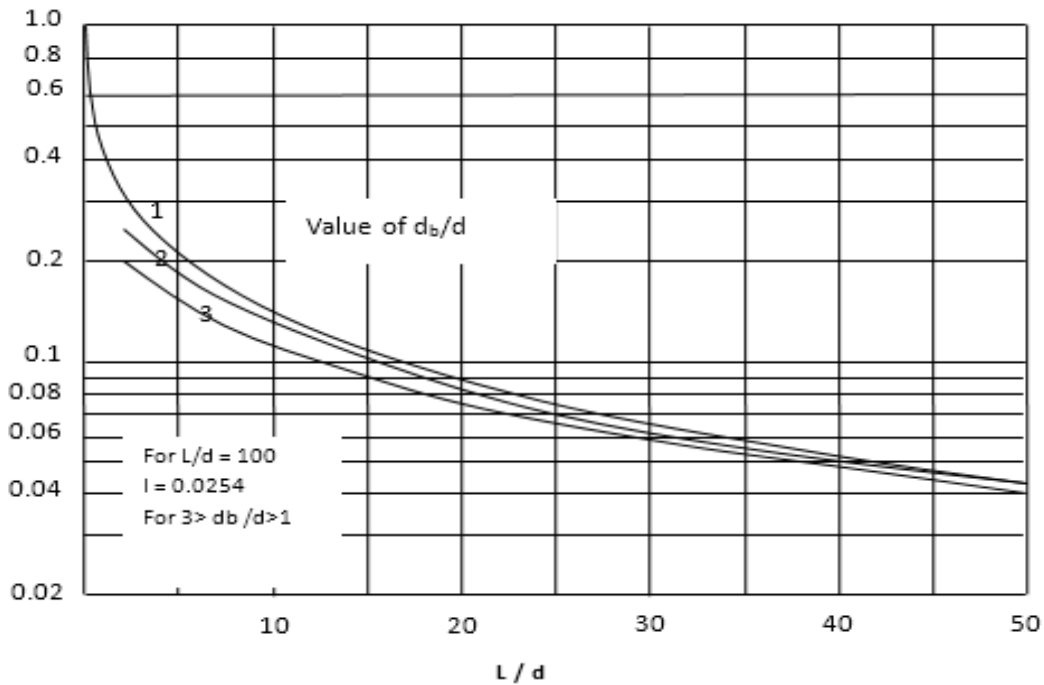
Poulos dan Davis (1980) membuat Persamaan 2.24 dan Persamaan 2.25. yang merupakan rumus untuk penurunan (*settlement*) yang terjadi pada kepala tiang jenis tiang mengapung (*floating pile*).

$$S = P I / E_s.d \dots\dots\dots (2.24)$$

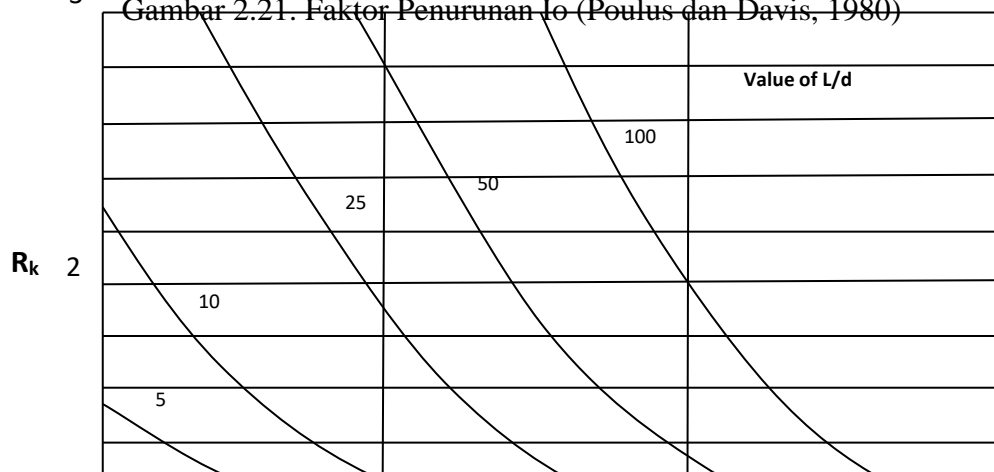
$$I = I_o. R_k. R_h. R_v \dots\dots\dots (2.25)$$

dengan :

- S = Penurunan kepala tiang
- P = Beban yang bekerja
- I = Dijelaskan pada Persamaan 2.25.
- Es = Modulus Elastisitas tanah
- D = Diameter tiang
- Io = Faktor pengaruh penurunan tiang yang tidak mudah mampat (incompressible) dalam massa semi tak terhingga untuk $\nu = 0,5$ (Gambar 2.21.)
- Rk = Faktor koreksi untuk kemudahan kemampatan tiang (Gambar 2.22)
- Rh = Faktor koreksi untuk kedalaman terbatas dari lapisan yang terletak pada tanah keras
- Rv = Faktor koreksi angka Poisson
- H = Kedalaman total lapisan tanah



3 Gambar 2.21. Faktor Penurunan Io (Poulos dan Davis, 1980)



Gambar 2.22. Faktor Penurunan Kompresi (Rk) (Sumber Poulos dan Davis,1980)

2.5.2 Daya Dukung Ujung Tiang (*End Bearing Pile*)

Perhitungan penurunan kepala tiang yang terletak pada tanah homogen dengan nilai modulus elastisitas tanah (E_s) dan angka Poisson (ν) yang konstan dinyatakan dalam Persamaan 2.26. dan Persamaan 2.27, yang disarankan oleh Poulos dan Davis (1980).

$$s = \frac{P.I}{E_s . d} \dots\dots\dots (2.26)$$

$$I = I_o . R_k . R_b . R_v \dots\dots\dots (2.27)$$

dengan,

$I_o , R_k, R_b, R_v =$ Mempunyai nilai yang sama

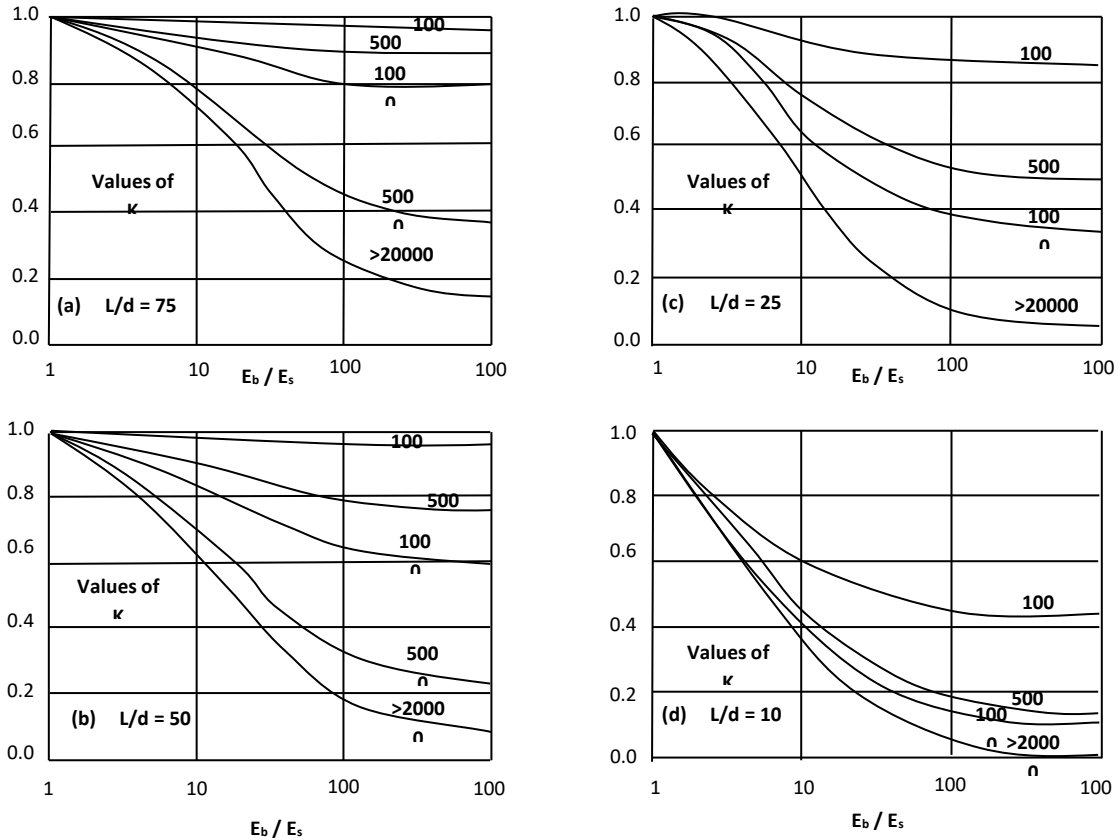
$R_b =$ Faktor koreksi untuk kekakuan lapisan pendukung

Tiang pondasi dianggap berbentuk lingkaran (*circle*), panjang tiang (L), diameter tiang (d), diameter dasar (d_b), apabila (d_b) tidak ada penjelasan maka $d_b = d$ dan menerima beban / gaya aksial). Pada Gambar 2.23. menunjukkan korelasi hubungan antara faktor koreksi untuk kekakuan lapisan pendukung dengan modulus elastisitas tanah. Poulos dan Davis (1980) mengungkapkan bahwa faktor kekakuan tiang (K) adalah sebagai pengukur besar kecilnya kompresibilitas relatif antara tiang dengan tanah, semakin besar kompresibilitas tiang maka nilai faktor kekakuan tiang akan semakin kecil. Adapun nilai faktor kekakuan tiang (K) dapat dihitung dengan Persamaan 2.28.

$$K = \frac{E_p R_a}{E_s} \dots\dots\dots (2.28)$$

dengan :

E_p = Modulus elastisitas tiang
 R_a = Rasio antara luas penampang tiang A_p dan luasan sekeliling tiang, $R_a = 1$ (bila tiang utuh 100%. Adapun pendekatan nilai $R_a = A_p / (\pi d^2/4)$



Gambar 2.23. Faktor Koreksi Kekakuan Lapisan Pendukung R_b (Poulos & Davis, 1980)

2.6. Jenis Metode Penelitian

Metode penelitian merupakan sesuatu yang penting dalam memecahkan langkah-langkah strategis mempersiapkan untuk melakukan suatu pekerjaan ataupun penelitian mempunyai pengertian yang lebih khusus, yaitu cara yang tepat dan cepat dalam mengerjakan sesuatu, maka ukuran kerja suatu metode harus diperhitungkan secara ilmiah. Desain penelitian harus cocok dengan pendekatan penelitian yang dipilih. Prosedur, teknik, serta alat yang digunakan dalam penelitian harus cocok pula dengan metode penelitian yang ditetapkan. Sebelum penelitian dilaksanakan, peneliti perlu menjawab sekurang-kurangnya tiga pertanyaan pokok (Nazir, 2005) yaitu:

1. Urutan kerja atau prosedur, apa yang harus dilakukan dalam melaksanakan suatu penelitian.
2. Alat-alat (*instrument*), apa yang akan digunakan dalam mengukur ataupun dalam mengumpulkan data serta teknik apa yang akan digunakan dalam menganalisis data.
3. Bagaimana melaksanakan penelitian tersebut?

Adapun metode yang akan dipakai pada penelitian ini berdasarkan sifat-sifat dari permasalahan dan akurasi data, maka ada beberapa metode yang akan dilakukan sebagai berikut:

1. Penelitian Deskriptif, penelitian yang bertujuan untuk membuat deskripsi secara sistematis, faktual, dan akurat mengenai fakta dan sifat populasi karakteristik tiang bor di daerah tertentu khususnya Jawa.
2. Penelitian Korelasional, penelitian yang bertujuan untuk mengkaji tingkat keterkaitan antara variasi suatu faktor dengan variasi faktor lain berdasarkan koefisien korelasi.
3. Penelitian Eksperimental, penelitian yang bertujuan untuk menyelidiki kemungkinan hubungan sebab akibat dengan melakukan kontrol/kendali.

2.6.2 Prinsip-prinsip Pengumpulan data

Pengumpulan data – data sekunder dan primer haruslah mendapatkan data yang lengkap akurat dan dapat dipercaya hasil atau output yang dikeluarkan.

2.6.3 Cara Pengumpulan Data

Cara pengumpulan data dilakukan dengan sensus dan sampling yaitu dengan meneliti sebagian kecil dari seluruh elemen penelitian dengan mengumpulkan data sebagian dan meneliti data tersebut. Adapun hasil yang didapatkan adalah sebagai acuan perencanaan sebagai alternatif perhitungan dalam memperkirakan atau mendapatkan hasil yang lebih realistis.

2.6.4 Teknik dan Alat Pengumpulan Data

Teknik dan Alat pengumpulan data dilihat dari segi pelaksanaan kegiatan dapat dilakukan dalam beberapa bentuk, sebagai berikut:

- Teknik Observasi adalah dengan melakukan pengamatan secara langsung.

- Teknik Dokumentasi adalah dengan cara melakukan pengumpulan data sekunder.

2.7 Model Jaringan Syaraf Tiruan

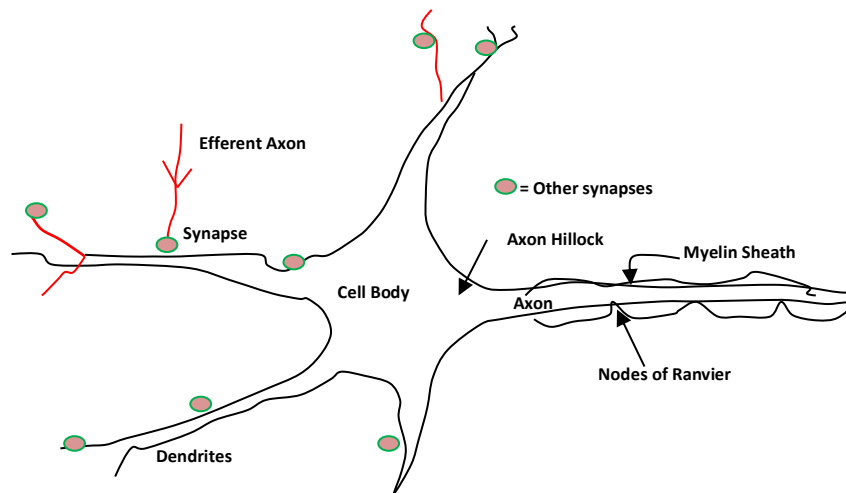
Pada sub-bab ini akan dibahas tentang pengantar jaringan syaraf tiruan, model dasar jaringan syaraf tiruan, perceptron, metode penyesuaian bobot koneksi, model algoritma back-propagation pada jaringan feedforward multilayer dan fungsi transfer.

2.7.1. Pengantar

Jaringan syaraf tiruan (*artificial neural networks*) dibuat pertama kali pada tahun 1943 oleh *neurophysiologist Warren McCulloch* dan *logician Walter Pits*, namun teknologi yang tersedia pada saat itu belum memungkinkan mereka berbuat lebih jauh. Diilhami dari kesuksesan system otak manusia yang terdiri dari ribuan bahkan jutaan neuron dalam bentuk jaringan syaraf yang berfungsi sebagai pemroses informasi dalam mengambil keputusan untuk sebuah tindakan. Jaringan syaraf tiruan diharapkan dapat dikembangkan untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan dalam skala yang besar dan kompleks.

Gambar 2.24. Menunjukkan susunan jaringan syaraf manusia dimana jaringan syaraf tiruan akan meniru atau *duplicated* jaringan syaraf manusia yang memberikan toleransi atau kemudahan terhadap ketidaklengkapan maupun ketidakakuratan variabel atau data dalam memprediksi hasil atau nilai. Dalam hal ini didefinisikan sebagai susunan dari elemen-elemen penghitung yang disebut neuron atau titik (*node*) yang saling berhubungan dengan dimodelkan seperti otak manusia.

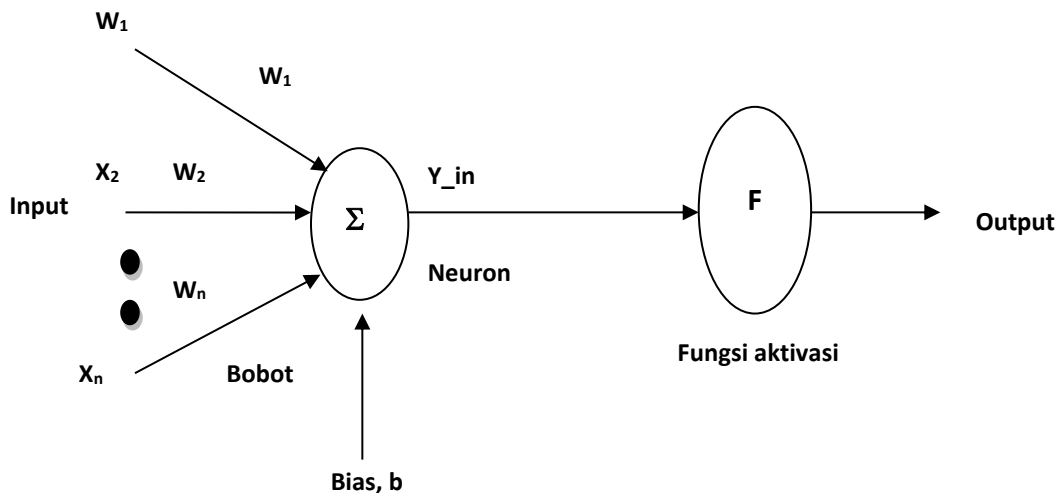
Pada jaringan syaraf tiruan sambungan informasi ke neuron biasa disebut bobot. Informasi (*input*) tersebut disimpan pada suatu nilai tertentu dengan bobot yang berbeda-beda dan akan dikirim kembali ke neuron dan akan diproses oleh fungsi perambatan yang akan menjumlahkan nilai-nilai semua bobot yang akan datang. Pengaktifan neuron akan dilakukan apabila input tersebut telah melewati suatu ambang nilai tertentu, dan kemudian akan dibandingkan dengan suatu nilai ambang (*threshold*) tertentu melalui suatu fungsi aktivasi setiap neuron. Adapun *Neuron* yang diaktifkan akan mengirimkan *output* melalui bobot-bobot outputnya ke semua *neuron* yang saling terhubung.



Gambar 2.24. Susunan Syaraf Manusia (Eli Yani, 2005)

Pada jaringan syaraf tiruan sambungan informasi ke neuron biasa disebut bobot. Informasi (*input*) tersebut disimpan pada suatu nilai tertentu dengan bobot yang berbeda-beda dan akan dikirim kembali ke neuron dan akan diproses oleh fungsi perambatan yang akan menjumlahkan nilai-nilai semua bobot yang akan datang. Pengaktifan neuron akan dilakukan apabila input tersebut telah melewati suatu ambang nilai tertentu, dan kemudian akan dibandingkan dengan suatu nilai ambang (*threshold*) tertentu melalui suatu fungsi aktivasi setiap neuron. Adapun *Neuron* yang diaktifkan akan mengirimkan *output* melalui bobot-bobot outputnya ke semua *neuron* yang saling berhubung.

Pada Gambar 2.25. Menunjukkan informasi yang diberikan pada jaringan syaraf tiruan yang akan dihubungkan / dirambatkan pada setiap lapisan, mulai dari lapisan input sampai ke lapisan output yang melalui lapisan yang lainnya, yang sering dikenal dengan nama lapisan tersembunyi (*hidden layer*). Perambatan belum tentu akan secara maju maupun mundur tergantung pada algoritma pembelajarannya, bisa jadi informasi yang diberikan /dirambatkan secara mundur pada jaringan yang ada. Nilai bias biasa ditambahkan dalam sebuah jaringan pemodelan jaringan syaraf tiruan dimana jaringan tersebut tidak mampu untuk mengakomodasi informasi yang ada melalui data-data input maupun melalui bobot-bobotnya (Kusumadewi dan Hartati,2006).



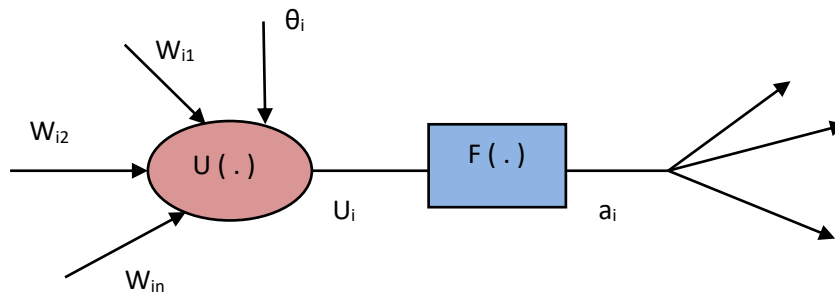
Gambar 2.25. Model Jaringan Syaraf Tiruan dengan Bias
(Kusumadewi dan Hartati, 2006)

Kusumadewi dan Hartati (2006) menyatakan bahwa pengaruh bias terhadap neuron suatu jaringan pada proses komputasi ditampilkan dengan bobot bias ‘b’ dan ditunjukkan oleh Persamaan 2.29.

$$y_{in} = \sum_{i=1}^n x_i w_i + b \dots\dots\dots (2.29)$$

2.7.2. Model Dasar Jaringan Syaraf Tiruan

Setiap *input* datang melalui suatu koneksi atau hubungan yang mempunyai sebuah bobot (*weight*) dan setiap sel syaraf mempunyai sebuah nilai ambang. Jumlah bobot dari input dan dikurangi dengan nilai ambang kemudian akan mendapatkan suatu aktivasi dari sel syaraf (*post synaptic potential*, PSP, dari sel syaraf). Signal aktivasi kemudian menjadi fungsi aktivasi (fungsi transfer) untuk menghasilkan output dari sel syaraf. Jika tahapan fungsi aktivasi digunakan (output sel syaraf = 0 jika input < 0 dan 1 jika input >= 0), maka tindakan sel syaraf sama dengan sel syaraf biologi yang dijelaskan diatas (pengurangan nilai ambang dari jumlah bobot dan membandingkan dengan 0 adalah sama dengan membandingkan jumlah bobot dengan nilai ambang). Biasanya tahapan fungsi jarang digunakan dalam jaringan syaraf tiruan. Fungsi aktivasi (f) dapat dilihat pada Gambar 2. 26.

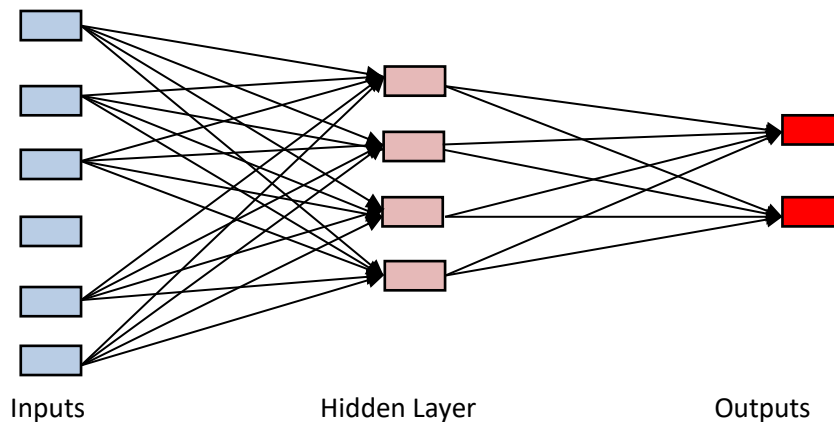


Gambar 2.26. Fungsi Aktifasi Jaringan Syaraf Tiruan (Eli Yani, 2005)

Dalam hal ini terdapat sel syaraf atau *neuron* pada lapisan tersembunyi berperan pada jaringan. *Input*, lapisan tersembunyi dan output sel syaraf diperlukan untuk saling terhubung satu sama lain. Berdasarkan dari arsitektur (pola koneksi), dapat dibagi kedalam 2 (dua) katagori: Struktur *Feedforward* dan Struktur *Recurrent (Feedback)*.

a. Struktur *Feedforward*

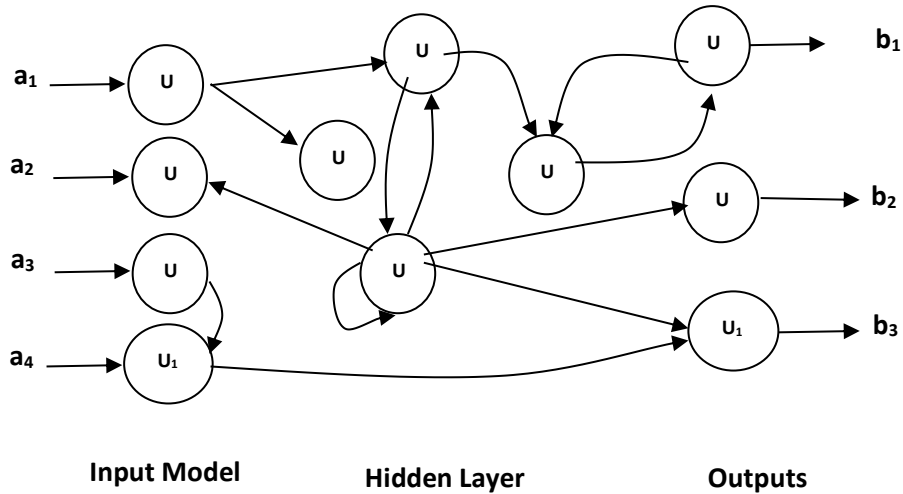
Sebuah jaringan yang sederhana mempunyai struktur *feedforward* dimana signal bergerak dari input kemudian melewati lapisan tersembunyi dan akhirnya mencapai unit output (mempunyai struktur perilaku yang stabil). Tipe jaringan *feedforward* mempunyai sel syaraf yang tersusun dari beberapa lapisan. Lapisan input bukan merupakan sel syaraf. Lapisan ini hanya memberikan pelayanan dengan mengenalkan suatu nilai dari suatu variabel. Lapisan tersembunyi dan lapisan *output* sel syaraf terhubung satu sama lain dengan lapisan sebelumnya. Sistem pola jaringan syaraf tiruan dengan pola *feed forward* dapat dilihat pada Gambar 2.27.



Gambar 2.27. Jaringan syaraf tiruan Feedforward (Eli Yani, 2005)

b. Struktur Recurrent (*Feedback*)

Jika suatu jaringan berulang akan menimbulkan ketidakstabilan dan akan menghasilkan keragaman yang kompleks (Gambar 2.28). Jaringan yang berulang sangat menarik untuk diteliti dalam jaringan syaraf tiruan, namun sejauh ini *structure feedforward* sangat berguna untuk memecahkan masalah.



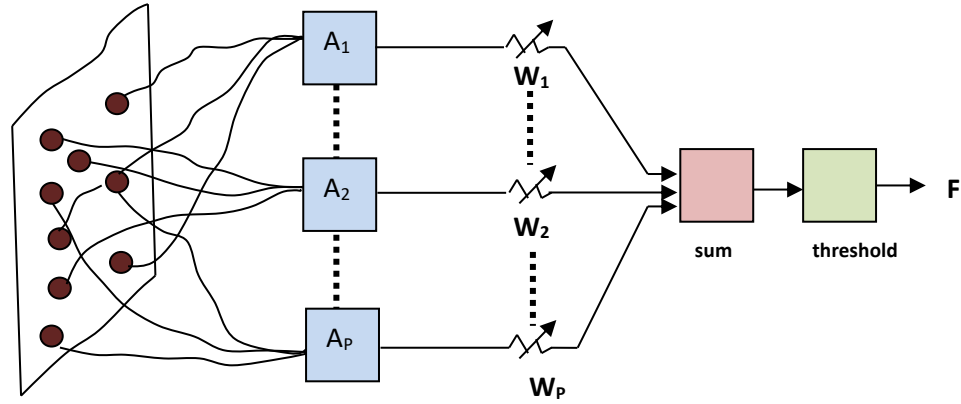
Gambar 2.28. Jaringan Syaraf Tiruan FeedBack (Eli Yani, 2005)

Ketika sebuah jaringan syaraf tiruan digunakan, input dari nilai suatu variabel ditempatkan dalam suatu input unit dan kemudian unit lapisan tersembunyi dan lapisan *output* menjalankannya. Setiap lapisan tersebut menghitung nilai aktivasi dengan mengambil jumlah bobot *output* dari setiap unit dari lapisan sebelumnya dan kemudian dikurangi dengan nilai ambang. Nilai aktivasi kemudian melalui fungsi aktivasi untuk menghasilkan *output* dari sel syaraf. Ketika semua unit pada jaringan syaraf telah dijalankan maka aksi dari lapisan output merupakan output dari seluruh jaringan syaraf.

2.7.3 Perceptron

Perceptron merupakan jaringan syaraf tiruan yang sederhana. *Perceptron* biasanya digunakan untuk mengklasifikasikan suatu tipe pola tertentu yang sering dikenal dengan istilah pemisahan secara linear. Pada dasarnya *perceptron* pada jaringan syaraf tiruan dengan satu lapisan memiliki bobot yang bisa diatur dari suatu nilai ambang. *Algoritma* yang digunakan oleh aturan *perceptron* ini akan mengatur parameter-parameter bebasnya melalui

proses pembelajaran. Fungsi aktivasi dibuat sedemikian rupa sehingga terjadi pembatasan antara daerah positif dan daerah negatif. Perceptron dapat dilihat di Gambar 2.29.



Gambar 2.29. Bentuk Perceptron (Eli Yani, 2005)

2.7.4 Metode Algoritma *Back-Propagation Feed forward Multilayer*

Umumnya, jika menggunakan jaringan syaraf tiruan hubungan antara *input* dan *output* harus diketahui secara pasti, dan jika hubungan tersebut telah diketahui maka dapat dibuat suatu model. Hal lain yang penting adalah proses belajar hubungan *input / output* dilakukan dengan pembelajaran. Ada 2 (dua) tipe pembelajaran yang dikenal yaitu: pembelajaran terawasi dan pembelajaran tak terawasi.

Pada pembelajaran terawasi, metode ini digunakan jika *output* yang diharapkan telah diketahui sebelumnya. Biasanya pembelajaran dilakukan dengan menggunakan data yang telah ada. Pada metode pembelajaran yang tidak terawasi, tidak memerlukan target output. Pada metode ini tidak dapat ditentukan hasil seperti apa yang diharapkan selama proses pembelajaran. Selama proses pembelajaran, nilai bobot disusun dalam suatu *range* tertentu tergantung pada nilai *input* yang diberikan. Tujuan pembelajaran ini adalah mengelompokkan unit-unit yang hampir sama dalam suatu area tertentu. Pembelajaran seperti ini biasanya sangat cocok untuk pengelompokkan (*klasifikasi*) pola.

2.7.5 Fungsi Aktifasi

Fungsi aktivasi merupakan gate atau pintu sebagai jalur sinyal input yang telah dijumlahkan yang telah memiliki suatu bobot. Adapun beberapa fungsi aktivasi yang sering dipakai (digunakan) dalam membuat suatu model jaringan dapat dilihat pada Tabel 2.6.

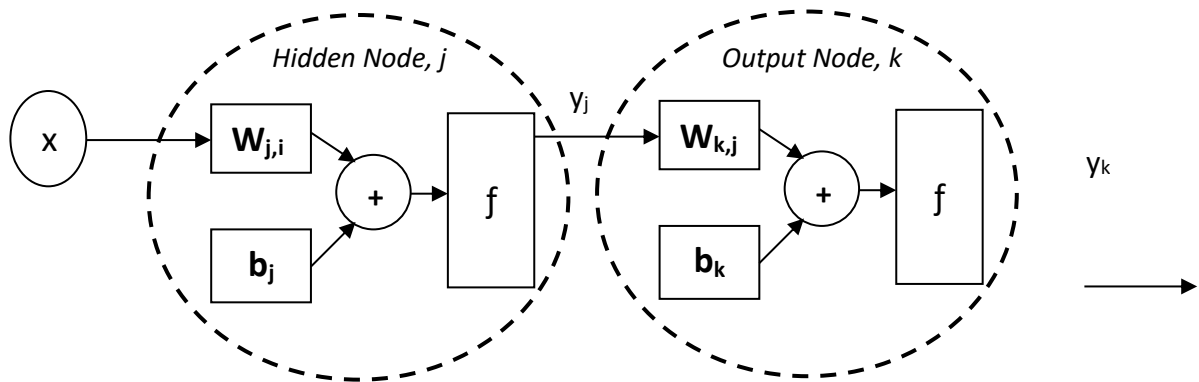
Tabel 2.6. Fungsi Aktivasi dalam Persamaan Model Jaringan (Purnomo dan Kurniawan, 2006)

No	Fungsi Aktivasi	Persamaan
1	<i>Identity function</i>	$y = x$
2	<i>Binary step function</i>	$y = 0$ if $x < 0$ $y = 1$ if $x \geq 0$
3	<i>Binary sigmoid function (logistic sigmoid)</i>	$y = f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$
4	<i>Bipolar sigmoid function</i>	$y = f(x) = \frac{1-e^{-x}}{1+e^{-x}}$

2.7.6. Model Algoritma *Back- Propagation* pada Jaringan *Feedforward Multilayer*

Dalam menentukan tingkat keakuratan kemampuan model jaringan ditentukan dalam kemampuan dalam proses *training*. Tipikal model algoritma *Back-Propagation* mempunyai 2 (dua) arah lapisan yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 2.30. yaitu sebagai berikut:

- a. Arah maju atau *function signal*, merupakan stimulus atau fungsi yang berawal (dating) dari bagian akhir input suatu jaringan, dan diteruskan dengan arah menerus (maju) kekiri maupun kekanan.
- b. Arah balik atau *error signal*, merupakan sinyal kesalahan yang berawal dari *output* dari neuron jaringan, lalu dilanjutkan atau diteruskan dengan arah berbalik (mundur) dari lapis ke lapis melewati jaringan itu tersebut. Adapun hasil sinyal yang dihasilkan oleh node j pada lapisan tersembunyi pada Persamaan 2.30 dan Persamaan 2.31



Gambar 2.30. Skema Diagram Neuron dan Proses Transmisi (Suwansawat, 2002)

$$y_j = f[\sum_{i=1}^m (w_{j,i} \cdot x_i) + b_j] \dots\dots\dots (2.30)$$

$$= f[\sum_{j=1}^n (w_{k,j} \cdot y_j) + b_k] \dots\dots\dots (2.31)$$

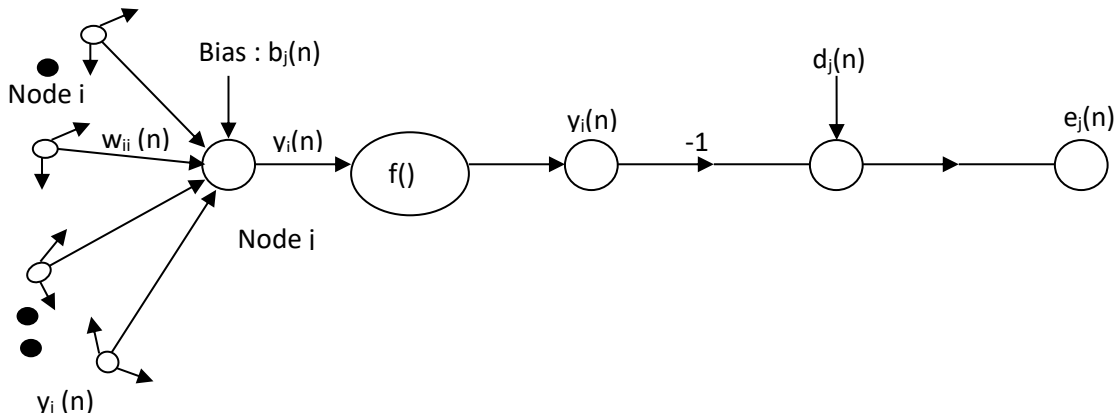
dengan:

X_i	=	Nilai <i>node</i> pada lapisan <i>input</i>
y_j	=	Hasil sinyal yang dihasilkan oleh <i>node</i> “j” pada lapisan tersembunyi
y_k	=	Sinyal nilai <i>output</i> yang dihasilkan oleh <i>node</i> “k” pada lapisan <i>output</i>
$w_{j,i} ; w_{k,j}$	=	Bobot koneksi antara <i>input node</i> I dengan <i>hidden node</i> “j” dan bobot koneksi antara <i>hidden node</i> “j” dengan <i>output node</i> “k”
$b_j ; b_k$	=	Bias
$f()$	=	Fungsi <i>transformasi</i> / fungsi aktivasi yang digunakan untuk mengubah nilai-nilai yang masuk dan meneruskan ke lapisan berikutnya.
i,j,k	=	Merupakan <i>subscript</i> yang menunjukkan posisi <i>node</i> lapisan input, lapisan tersembunyi dan lapisan output.

Pada Gambar 2.31. Merupakan detail penjelasan mengenai proses *algoritma back-propagation* dengan permasalahan yang akan diteliti dengan nilai-nilai *input* (x_i), dan *neuron* input akan meneruskan nilai masukan kepada setiap *neuron* pada lapisan kedua dan seterusnya. Bobot koneksi setiap jalur ($w_{j,i}$) dengan mengalikan dengan input kemudian akan bertemu di *neuron* lapisan tersembunyi dan ditambahkan dengan nilai bias (b_j) yang bersesuaian pada sebuah fungsi *transformasi*. Adapun hasil pada lapisan *neuron* tersembunyi akan diteruskan ke *neuron* lapisan *output*, dan akan dikalikan dengan bobot koneksi ($w_{k,j}$) dan ditambah dengan nilai bias (b_k) yang akan dilakukan pada sebuah fungsi *transformasi*. Hasil input merupakan sinyal yang dihasilkan oleh lapisan *neuron* jaringan *output* (y_k).

Pada Gambar 2.31 menjelaskan dimana *neuron* “j” yang merupakan *node* pada bagian *output* dari jaringan umpan maju, proses iterasi atau epoch dari jaringan tersebut yang dibutuhkan dalam penyesuaian bobot koneksi dari *neuron* “j” tersebut ditunjukkan dengan notasi “n”, sedangkan *neuron* “j” digerakkan oleh fungsi sinyal yang dihasilkan oleh satu atau lebih lapisan sebelumnya. Notasi $y_j(n)$ menunjukkan sinyal output dari *neuron* “j” dari jaringan. Hasil sinyal kesalahan ditunjukkan dengan notasi $e_j(n)$ yaitu dengan membandingkan sinyal *output* dengan respon atau target *output* yang diharapkan dengan

notasi $d_j(n)$. Adapun Persamaan 2.32 dapat untuk menghitung sinyal kesalahan yang terjadi (Suwansawat, 2002).



Gambar 2.31 Diagram Arah Sinyal Neuron Output “j” Pada Proses Kedua Back Propagation (Suwansawat, 2002)

$$e_j(n) = d_j - y_j(n) \dots\dots\dots (2.32)$$

dengan :

$e_j(n)$ = sinyal kesalahan pada iterasi ke “n”, sebagai pengontrol mekanisme jaringan untuk koreksi proses penyesuaian bobot koneksi dari *neuron* “j”

d_j = respon atau target *output* yang diharapkan

$y_j(n)$ = sinyal *output* dari *neuron j* pada iterasi ke “n”

Sinyal kesalahan $e_j(n)$ yang sebagai pengontrol terhadap mekanisme suatu jaringan untuk dapat mengkoreksi proses penyesuaian bobot koneksi dari *neuron* “j”. Koreksi terhadap penyesuaian bobot koneksi dirancang sehingga diperoleh hasil sebagai sinyal output jaringan $y_j(n)$ yang mendekati respon yang diharapkan $d_j(n)$ tujuan ini dapat dicapai dengan meminimalkan *cost function* atau *index of performance* $E_o(n)$ (Persamaan 2.33).

$$E_o(n) = \frac{1}{2} e_j^2(n) \dots\dots\dots (2.33)$$

dengan:

$E_o(n)$ = *Cost function / index of performance* (sinyal kesalahan iterasi ke-n)

Total nilai kesalahan $E(n)$ yang diperoleh dengan menjumlahkan sinyal kesalahan pada semua *neuron* pada lapisan *output* dan didefinisikan pada Persamaan 2.34. (Suwansawat,2002).

$$E(n) = \frac{1}{2} \sum_{j=c} e_j^2(n) \dots\dots\dots (2.34)$$

dengan:

- $E(n)$ = total nilai kesalahan pada iterasi ke – n
- C = menunjukkan semua *neuron* yang terdapat di lapisan *output* jaringan

Setelah mendapatkan nilai total kesalahan $E(n)$ kemudian dinormalisir dengan memperhatikan ukuran “N” yang mempresentasikan jumlah total sampel yang digunakan oleh jaringan pada saat tahapan training, sehingga memberikan nilai rata-rata kuadrat kesalahan (E_{av}) pada Persamaan 2.35.

$$E_{av} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N E(n) \dots\dots\dots (2.35)$$

dengan:

- E_{av} = rata-rata kuadrat kesalahan
- N = jumlah sampel yang digunakan pada tahap training

Rata-rata kesalahan $E_{av}(n)$ merupakan fungsi dari parameter bebas jaringan (bobot koneksi dan bias) dan merupakan gambaran ukuran *cost function* dari performa pembelajaran. Tujuan proses training ini merupakan penyesuaian bobot koneksi dan bias dari jaringan sehingga diperoleh $E_{av}(n)$ yang minimal. Hasil masukan aktivasi fungsi terkait dengan neuron “j” yang menerima satu set fungsi sinyal yang dihasilkan oleh lapisan *neuron* disebelah kirinya adalah $v_j(n)$ dan nilainya dapat dilihat dari Persamaan 2.36.

$$v_j(n) = \sum_{i=0}^m w_{ji}(n)y_i(n) + b_j(n) \dots\dots\dots (2.36)$$

dengan :

- $v_j(n)$ = hasil masukan aktivasi fungsi terkait dengan *neuron* “j”
- m = total jumlah input
- $b_j(n)$ = nilai bias yang diaplikasikan pada *neuron* “j”

Fungsi sinyal $y_j(n)$ yang terdapat pada *output neuron* “j” pada iterasi ke “n” dapat dilihat pada Persamaan 2.37.

$$y_j(n) = f_j(v_j(n)) \dots\dots\dots (2.37)$$

Pada algoritma Back-Propagation menggunakan koreksi $\Delta w_{ji}(n)$ untuk nilai bobot koneksi $w_{ji}(n)$ dimana nilainya sebanding dengan derivative parsial $\delta E(n) / \delta w_{ji}(n)$ seperti pada Persamaan 2.38.

$$\frac{\partial E(n)}{\partial w_{ji}(n)} = \frac{\partial E(n)}{\partial e_j(n)} \cdot \frac{\partial e_j(n)}{\partial y_j(n)} \cdot \frac{\partial y_j(n)}{\partial v_j(n)} \cdot \frac{\partial v_j(n)}{\partial w_{ji}(n)} \dots\dots\dots (2.38)$$

dengan :

$\frac{\partial E(n)}{\partial w_{ji}(n)}$ = merupakan *derivative* parsial total nilai kesalahan terhadap nilai bobot koneksi, yang menggambarkan faktor sensitivitas, menentukan arah dalam mencari ruang bobot koneksi $w_{ji}(n)$.

Hasil persamaan dideferensialkan terhadap $e_j(n)$, $y_j(n)$, $v_j(n)$ dan $w_{ji}(n)$ akan diperoleh pada Persamaan 2.39.

$$\frac{\partial E(n)}{\partial w_{ji}(n)} = -e_j(n) \cdot f'j(v_j(n)) \cdot y_i(n) \dots\dots\dots (2.39)$$

Koreksi $\Delta w_{ji}(n)$ yang diaplikasikan pada $w_{ji}(n)$ didefinisikan sebagai delta rule, seperti Persamaan 2.40 .

$$\Delta w_{ji}(n) = -\eta \frac{\partial E(n)}{\partial w_{ji}(n)} \dots\dots\dots (2.40)$$

Parameter *learning rate* yang terdapat pada algortima *Back-Propagation* yang disimbolkan dengan “ η “. Aturan yang dipakai sebagai landasan secara terus menerus dari koneksi input untuk dapat mengurangi perbedaaan (*delta*) antara nilai output yang diharapkan dengan nilai output yang dihasilkan oleh jaringan. Cara ini adalah untuk mengubah bobot koneksi dengan cara meminimalkan rata-rata kuadrat error (*mean squared error*) $E(n)$ pada jaringan. *Error* yang terjadi kemudian diteruskan ke arah sebaliknya (mundur) ke lapisan sebelumnya. Proses perambatan mundur atau biasa disebut *back-propagation* dari *error* berlanjut terus sampai mencapai lapisan yang pertama.

Pada Persamaan 2.40 terdapat tanda minus berfungsi sebagai *gradient descent* (penurunan kemiringan) dalam ruang atau daerah bobot koneksi dengan mencari arah mana bobot koneksi akan berubah menuju pengurangan nilai $E(n)$. Adapun untuk mencari koreksi nilai bobot koneksi pada jaringan dapat dilihat pada Persamaan 2.41.

$$\Delta w_{ji} = \eta \cdot \delta_j(n) \cdot y_i(n) \dots\dots\dots (2.41)$$

dengan:

- Δw_{ji} = koreksi nilai bobot koneksi $w_{ji}(n)$
- η = parameter *learning rate* pada algoritma *Back-Propagation*
- $\delta_j(n)$ = kemiringan lokal *output neuron "j"*

Dengan adanya persamaan diatas titik kemiringan lokal diperlukan untuk dapat mengubah bobot koneksi, sehingga kemiringan lokal $\delta_j(n)$ untuk *output neuron "j"* adaah sama dengan hasil kali sinyal *error* untuk *neuron* tersebut $e_j(n)$ dan *derivative* dari fungsi aktivasi $f'j(v_j(n))$. Sinyal *error* $e_j(n)$ dari *output neuron "j"* merupakan pemegang peran penting dalam menentukan faktor dalam penyesuaian bobot koneksi $\Delta w_{ji}(n)$. Pada kondisi ini dapat diidentifikasi 2 (dua) kemungkinan kondisi yang berbeda, tergantung dimana lokasi *neuron* berada pada jaringan yaitu sebagai berikut:

- a. *Neuron "j"* merupakan *node*. Kemungkinan pertama ini dapat ditangani secara lebih sederhana karena output node pada jaringan menyediakan respon sendiri yang diharapkan (*desired response*) sehingga untuk menghitung sinyal *error* tidak berputar-putar.
- b. *Neuron "j"* merupakan *hidden node*. Meskipun neuron-neuron tersembunyi tidak dapat langsung dicapai, mereka memberikan pengaruh atau kontribusi terhadap kesalahan yang terjadi pada output jaringan. Apabila *neuron "j"* berada pada lapisan tersembunyi pada jaringan, maka respon yang diharapkan tidak terdapat pada *neuron-neuron* tersebut. Oleh karena itu, dalam menghitung sinyal error untuk hidden node harus ditentukan oleh sinyal *error* pada semua neuron pada hidden node yang langsung saling terhubung, sehingga kondisi ini membuat algoritma *back-propagation* menjadi kompleks.

Secara singkat metode algoritma *Back-Propagation* dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Koreksi $\Delta w_{ji}(n)$ diaplikasikan terhadap bobot koneksi yang menghubungkan antara neuron "*i*" dengan neuron "*j*" yang didefinisikan sebagai *delta rule*. Adapun rumus untuk mendapatkan bobot koreksi dapat dilihat pada Persamaan 2.42.

$$\Delta w_{ji}(n) = \eta \cdot \delta_j(n) \cdot y_i(n), \dots\dots\dots (2.42)$$

dimana :

$$\begin{aligned}\Delta w_{ji}(n) &= \text{weight correction} \\ \eta &= \text{learning rate parameter} \\ \delta_j(n) &= \text{local gradient} \\ y_i(n) &= \text{input signal of neuron } j\end{aligned}$$

- b. Kemiringan local $\delta_j(n)$ tergantung pada neuron “j”, sebagai output node atau sebagai hidden node.
- Neuron “j” adalah output node, maka $\delta_j(n)$ sama dengan hasil kali derivative $f'j(v_j(n))$ dan sinyal error $e_j(n)$ yang keduanya bersesuaian dengan neuron “j”
 - Neuron “j” adalah hidden node maka $\delta_j(n)$ sama dengan hasil kali derivative $f'j(v_j(n))$ dan jumlah kemiringan lokal yang dihitung dari neuron yang terdapat pada lapisan tersembunyi berikutnya atau lapisan output yang terhubung ke neuron “j”.

2.7.7. Parameter Internal Model Jaringan Syaraf Tiruan

Purnomo dan Kurniawan (2006) menjelaskan tentang keberhasilan proses pembelajaran model algoritma *Back-Propagation*, selain ditentukan oleh parameter bebasnya (bobot koneksi), juga dipengaruhi oleh parameter internalnya, antara lain seperti Inisialisasi penimbang / bobot koneksi (*weight connection initial*), laju pelatihan (*learning rate*) dan momentum.

Penimbang sebagai interkoneksi jaringan syaraf tiruan (*artificial neural networks*) yang akan dilatih biasanya disimbolkan atau diberi nilai awal dengan bilangan yang nyata kecil dan dapat diinisialisasikan secara *random*. Hine dan Montgomery (1990) menjelaskan bahwa konvergensi tidak akan dicapai bila penimbang kurang bervariasi dan jika acaknya terlalu kecil. Konvergensi hampir selalu tercapai untuk inisialisasi acak pada nilai -0,5 sampai 0,5 atau -1 sampai 1. Besarnya parameter laju pelatihan (*learning rate*) pada umumnya berkisar antara 0,05 sampai 1,0 selama proses pelatihan, dan dapat mempengaruhi intensitas proses pelatihan, efektivitas, dan kecepatan tercapainya konvergensi dari pelatihan tersebut.

Adapun parameter momentum (α) yang berupa bilangan positif antara 0,05 sampai dengan 1,0 dapat mempengaruhi laju pelatihan (η) yang juga dapat mempercepat konvergensi algoritma *Back-Propagation*. Prinsipnya adalah menambahkan sebagian dari perubahan penimbang sebelumnya, yaitu dengan Persamaan 3.2 (Purnomo dan Kurniawan, 2006) sebagai berikut

$$\Delta w(t) = \eta \nabla E(t) + \alpha \Delta w(t-1) \dots\dots\dots (2.43)$$

dengan:

- Δ : *delta / perbedaan*
- W : *weight connection / bobot koneksi*
- η : *learning rate / laju pelatihan*
- ∇ : *nabla/ gradient / kemiringan,*
- E : *error*
- α : *momentum*

2.7.8 Fungsi Transfer

Karakter dari jaringan syaraf tiruan tergantung atas bobot dan fungsi input output (fungsi transfer) yang mempunyai ciri tertentu untuk setiap unit. Fungsi ini terdiri dari 3 katagori yaitu: untuk *linear units*, Aktifitas output adalah sebanding dengan jumlah bobot output. Untuk *threshold units*, Output diatur satu dari dua tingkatan tergantung dari apakah jumlah input adalah lebih besar atau lebih kecil dari nilai ambang. Untuk *sigmoid units*, output terus menerus berubah-ubah tetapi tidak berbentuk linear. Unit ini mengandung kesamaan yang lebih besar dari sel syaraf sebenarnya dibandingkan dengan linear dan *threshold* unit, namun ketiganya harus dipertimbangkan dengan perkiraan kasar.

Untuk membuat jaringan syaraf tiruan perlu untuk melakukan beberapa kerja khusus, harus dipilih bagaimana unit-unit dihubungkan antara satu dengan yang lain dan harus mengatur bobot dari hubungan tersebut secara tepat. Hubungan tersebut menentukan apakah mungkin suatu unit mempengaruhi unit yang lain. Bobot menentukan kekuatan dari pengaruh tersebut. Suwansawat (2002) menerangkan pembelajaran terhadap 3 (tiga) lapisan pada jaringan syaraf tiruan untuk melakukan kerja khusus dengan menggunakan prosedur dibawah ini:

- a. Memperkenalkan jaringan syaraf tiruan dengan contoh pembelajaran yang terdiri dari sebuah pola dari aktifitas untuk unit-unit input bersama dengan pola yang diharapkan dari aktifitas untuk unit-unit output.
- b. Menentukan seberapa dekat *output* sebenarnya dari jaringan syaraf tiruan sesuai dengan *output* yang diharapkan.
- c. Mengubah bobot setiap hubungan agar jaringan syaraf tiruan menghasilkan suatu perkiraan yang lebih baik dari *output* yang diharapkan

Ilustrasi dari prosedur pembelajaran diatas dapat dilihat dibawah ini: diasumsikan bahwa suatu jaringan syaraf tiruan dapat mengenali digit dari tulisan tangan. Dapat digunakan suatu array dengan 256 sensor, setiap sensor merekam ada tidaknya tinta pada suatu digit. Jaringan syaraf tiruan memerlukan 256 unit-unit input (satu untuk setiap sensor), 10 unit-unit output (satu untuk setiap digit) dan sebuah nomor dari unit-unit tersembunyi. Untuk setiap digit yang direkam oleh sensor, jaringan syaraf tiruan akan menghasilkan aktifitas yang tinggi pada unit output yang cocok dan aktifitas yang rendah pada unit-unit output yang lain. Untuk pembelajaran jaringan syaraf tiruan, ditampilkan sebuah gambar dari sebuah digit dan membandingkan aktifitas sebenarnya dari 10 unit-unit output dengan aktifitas yang diharapkan. Kemudian menghitung error, dimana ditentukan sebagai persegi yang berbeda antara aktifitas sebenarnya dan aktifitas yang diharapkan. Selanjutnya mengubah bobot setiap hubungan untuk mengurangi *error*.

Hal ini dilakukan berulang-ulang dengan banyak gambar yang berbeda Untuk mengimplementasikan prosedur ini diperlukan perhitungan *error derivative* untuk bobot (EW) supaya perubahan bobot oleh sebuah jumlah yang sesuai pada nilai dimana error berubah karena bobot diubah. Suatu cara untuk menghitung EW adalah mengubah bobot sedikit dan meneliti bagaimana error dapat berubah. Namun metode ini kurang efisien karena membutuhkan gangguan yang berbeda untuk setiap dari sekian banyak bobot. Cara lain yang sering digunakan untuk menghitung EW adalah dengan menggunakan algoritma *back-propagation*. Saat ini merupakan metode yang penting untuk pembelajaran jaringan syaraf tiruan.

2.7.9 Evaluasi Presisi, Akurasi dan Robusness Model Jaringan Syaraf Tiruan

Tingkat presisi sebagai alat ukur untuk mendefinisikan suatu hasil sangat erat dan saling berhubungan dengan tingkat variasi atau pemodelan suatu data, oleh karena itu tingkat presisi diukur dengan menggunakan koefisien kesalahan standart, (Cooper dan Emory ,1996). Nilai besar kecilnya koefisien kesalahan standart menunjukkan tingkat kepresisian suatu data dalam pemodelan, jadi semakin kecil koefisien kesalahan standart menunjukkan semakin tinggi presisinya dan sebaliknya semakin besar koefisien kesalahan standart maka semakin kecil tingkat kepresisiannya pula.

Setelah mendapatkan suatu data dengan tingkat presisi yang besar, maka dilakukan pengujian tingkat keakuratan, ketelitian atau ketepatan suatu data untuk mendapatkan hasil model yang diinginkan (target model). Tingkat keakuratan suatu data diukur menggunakan rata-rata data yang diperoleh, jadi semakin nilai yang didapatkan mendekati nilai 1 (satu) maka menunjukkan semakin akurat alat ukuran yang akan diteliti. Pada penelitian ini, hasil uji beban dinamik (PDA) test yang digunakan dalam mengukur tingkat presisi dan ketepatan maupun keakuratan suatu model dengan menggunakan pemodelan jaringan syaraf tiruan dan hasil tersebut akan dibandingkan dengan rumus konvensional sebagai validasi hasil yang diperoleh.

Melihat hasil penelitian yang sudah dilakukan para ahli dengan model jaringan syaraf tiruan mendapatkan hasil yang sangat baik, dan mempunyai performa yang lebih baik dari pada rumus konvensional yang ada. Pembuatan model matematik yang sering dilakukan pada rumus konvensional sangat sulit untuk mendapatkan atau membuat asumsi-asumsi variabel data pada kondisi-kondisi tertentu, sedangkan pendekatan pemodelan jaringan syaraf tiruan semata-mata dibuat berdasarkan data dan tidak memerlukan asumsi-asumsi, terhadap data tersebut dilakukan pelatihan sehingga diperoleh struktur dan parameter model.

2.8 Pengelolaan Data

Pengelolaan data secara baik sangatlah penting dalam suatu penelitian untuk mendapatkan hasil yang akurat dan dapat dilakukan dengan menentukan jumlah sampel data yang tepat dan pola sampel yang akan digunakan dalam penelitian. Banyaknya sampel akan

memberikan lebih banyak informasi terhadap jaringan untuk belajar mengenai hubungan antara input data dengan output target dan dapat mengimbangi ketidakjelasan atau kesalahan data sehingga diperoleh peningkatan potensi ketelitian yang dapat dicapai oleh jaringan. Shahin (2001) menerangkan bahwa model jaringan syaraf tiruan dapat memberikan kemampuan yang baik bila tidak digunakan untuk *ekstrapolasi* diluar data yang yang digunakan untuk tahap training.

Besar bobot koneksi dalam model jaringan syaraf tiruan akan menyebabkan terjadinya *overfit* terutama apabila terdapat noisy pada data yang digunakan pada fase training. Apabila jumlah derajat kebebasan dari model lebih besar dibandingkan jumlah titik data yang digunakan untuk fase training, maka kemungkinan yang terjadi adalah model tidak dapat menangkap trend yang terjadi, sebagaimana yang diharapkan sehingga model cenderung memiliki kemampuan untuk mengingat (*memorisation*) dari pada menggeneralisasi. Pemisahan antara *fase validasi* dengan *fase training* sangatlah penting, dalam memastikan kemampuan model jaringan dalam rentang data yang digunakan dengan memisahkan kedua data tersebut.

Cross-validation dalam pengolahan suatu data pada pembuatan model jaringan syaraf tiruan adalah data yang tersedia untuk pengelolaan model tersebut dibagi sesuai dengan proporsi yang telah disarankan sebagai berikut : 2/3 data untuk fase training (yaitu: *training dan testing*) dan 1/3 data untuk fase validasi (Shahin et al. 2001). Penyesuain bobot koneksi didapatkan dari data training, dan data testing set digunakan untuk memeriksa kemampuan suatu model pada beberapa variasi tahapan training, dan untuk mengestimasi kemampuan model yang telah melewati fase training yang akan diaplikasikan menggunakan data validasi set.

Untuk dapat mempresentasikan populasi yang sama, maka pembagian sampel data pada tahap training dan validasi menjadi beberapa pola, sehingga diperlukan beberapa kombinasi random atau acak yang dilakukan sampai memperoleh nilai yang konsisten pada beberapa nilai statistik berupa rata-rata, standart deviasi, nilai minimum dan maksimum, range (Shahin et al. 2002a). Adapun persamaan untuk rata-rata, standar deviasi, dan range berturut-turut diberikan oleh Persamaan 3.3, Persamaan 3.4, dan Persamaan 3.5 (Hines dan Montgomery, 1990).

$$\mu = \frac{\sum_{i=0}^n X_i}{n} \dots\dots\dots (2.44)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2/n}{n-1}} \dots\dots\dots (2.45)$$

$$R = \text{maks}(X_i) - \text{min}(X_i) \dots\dots\dots (2.46)$$

Shahin (2002a) menjelaskan bahwa input data yang mempunyai nilai yang jauh lebih besar atau lebih kecil akan dibandingkan dengan input yang lainnya. Maka data dalam 2 (dua) fase tersebut akan diproses terlebih dahulu sebelum digunakan dalam model jaringan, hal ini dilaksanakan untuk memastikan bahwa semua variable menerima perhatian atau perilaku yang sama selama proses training, mempercepat jaringan tersebut belajar, mengatasi terdapatnya .

Pre-processing data input sebaiknya dilakukan dengan batas yang berlaku dari fungsi transfer yang digunakan, misalnya: -1,0 sampai dengan 1,0 untuk fungsi transfer bipolar sigmoid, dan 0,0 sampai dengan 1,0 untuk fungsi logistic sigmoid. *Pre-processing* dengan nilai input dan output antara nilai -1 sampai dengan 1 rumusnya ditunjukkan pada Persamaan 3.6.

$$P_n = 2 \frac{(P - P_{min})}{(P_{maks} - P_{min})} - 1 \dots\dots\dots (2.47)$$

dengan P_n adalah nilai ternormalisasi, P adalah nilai asli, P_{maks} adalah nilai maksimum input atau output, dan P_{min} adalah nilai minimum input atau output. *Pre-processing* dengan nilai input dan output antara nilai 0 s/d 1 rumusnya ditunjukkan oleh Persamaan 3.7.

$$P_n = \frac{(P - P_{min})}{(P_{maks} - P_{min})} \dots\dots\dots (2.48)$$

Kekuatan jaringan syaraf tiruan adalah alat yang sangat kuat (*robust*) untuk memetakan suatu masalah yang rumit sehingga diperoleh solusi terbaik, tetapi juga menjadi kelemahannya. Permasalahan atau kelemahan yang terjadi pada jaringan syaraf tiruan adalah terjadinya *overfitting*, yaitu terdapat *noise* pada jaringan ketika ada tambahan fungsi yang akan kita cari, atau dengan pengertian lain error pada training set diarahkan ke nilai yang kecil, apabila kemudian ada data baru dimasukkan pada jaringan tersebut maka error yang terjadi menjadi besar.

Ada beberapa pendekatan untuk menghindari terjadinya *overfitting* yaitu dengan menambah ukuran sampel *training*, membatasi jumlah hidden nodes, dan membatasi jumlah *training epoch*. Penjelasan adalah sebagai berikut:

- a. Menambah ukuran sampel training jika dimungkinkan.

Tidak akurat, tidak lengkap dan tidak jelas maupun minimnya suatu data yang ada akan menghasilkan kurangnya informasi antara input dan output dalam suatu jaringan, maka untuk mendapatkan hasil yang baik dengan menambahkan sampel training data yang ada akan memberi lebih banyak informasi kepada jaringan untuk belajar lebih banyak tentang hubungan antara input dengan target output dan dapat mengimbangi ketidaklengkapan atau ketidakjelasan data yang ada.

- b. Membatasi jumlah *hidden nodes*.

Pembatasan kapasitas jaringan akan membatasi juga bobot koneksi, sehingga bobot koneksi pada jaringan akan tergantung dari jumlah node yang ada. Output node yang didapatkan disesuaikan dengan permasalahan yang akan diselesaikan, maka setelah itu diperlukan untuk mengontrol jumlah hidden nodes dan input node yang ada. Sehingga input node tersebut dapat menggambarkan sebuah variabel yang dapat memberikan kesempatan kepada jaringan sehingga mendapatkan hasil yang lebih teliti.

- c. Membatasi jumlah *training epoch*.

Menentukan kapan jaringan mencapai kondisi *overfitting*, maka kita dapat menghentikan proses training tersebut sebelum terjadi *overfitting* dan menggunakan jaringan dengan kemampuan generalisir terbaik tersebut sebagai model yang akan kita gunakan. Penghentian training dilakukan setelah nilai *error* cukup kecil dan tidak ada lagi perubahan *error* pada proses training tersebut.

2.9. Penentuan Model Arsitektur Jaringan

Model arsitektur jaringan untuk mendapatkan hasil optimum belum ada cara secara pasti, sehingga hanya dilakukan dengan menetapkan (*fixing*) jumlah lapisan yang tersembunyi dengan memilih masing - masing node pada setiap lapisan jaringan. Jaringan meliputi dari 2

(dua) lapisan yang menggambarkan dari variabel *input* dan *output*nya. Shahin et al. (2001) menjelaskan adanya jaringan dengan satu lapisan tersembunyi dengan menggunakan fungsi aktivasi jenis sigmoid dirasakan sudah cukup untuk menyelesaikan suatu masalah.

Dengan membatasi jumlah *hidden nodes* akan mengurangi waktu fase training dan membantu kemampuan jaringan secara optimal sehingga terhindar terjadi *over fitting*. Adapun beberapa pendekatan dalam menentukan jumlah *hidden nodes* yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebagai berikut :

1. Aldrich (1994) dalam Shahin (2002), untuk menentukan jumlah nodes pada lapisan tersembunyi pada suatu jaringan ditunjukkan oleh Persamaan 3.8.

$$N_h = \frac{n}{k(m+p)} \dots\dots\dots (2.49)$$

dengan:

- N_h : jumlah hidden nodes
- n : jumlah sample pada training set
- k : *noise factor*, bervariasi antara 4 – 10, semakin besar k semakin besar juga tingkat *noise* pada data
- m : jumlah *node* pada *input*
- p : jumlah *node* pada *output*

2. Nawari et al. (1999), dalam menentukan jumlah *hidden node* pada lapisan tersembunyi akan berkurang setiap lapisannya sehingga membentuk piramid, diukur dari input kearah lapisan output.
3. Shahin et al. (2001), menyatakan tentang penentuan *hidden node* apabila jaringan memiliki 1 (satu) lapisan jaringan lapisan tersembunyi yaitu sebagai berikut :

- Hecht-Nielsen (1990), menyarankan batas atas jumlah hidden nodes adalah $(2I+1)$ dengan I adalah jumlah *input*.

Dari pendekatan penelitian para peneliti dalam menghitung *hidden node*, maka diambil angka yang terendah dan yang teratas dengan ambang batasan maksimum adalah 6 (enam), dikarenakan semakin banyak nilai hidden nodes maka akan semakin rumit tahap analisis model dan aplikasi jaringan model tersebut.

2.10. Model Akhir Kriteria Jaringan

Hasil pengukuran dan output yang dihasilkan oleh jaringan akan dibandingkan dengan cara *kualitatif* dan *kuantitatif*. Pengujian parameter *statistik* merupakan cara *kuantitatif* yaitu dengan menghitung parameter *statistik the root mean squared error* (RMSE) dan *the coefficient of correlation* “r”. Dengan melihat plotting titik (*node*) pada hasil pengukuran dan *output* yang dihasilkan dari jaringan tersebut merupakan uji *kualitatif* yaitu dengan memperhatikan gambar grafik hubungan antara jumlah *epoch vs sse*” dan grafik hubungan antara hasil perhitungan vs hasil prediksi”. Shahin et al. (2001) menggunakan pendekatan rumus RMSE (*the root mean square error* (RMSE) sebagai alat pengukur *error* yang digunakan untuk mengevaluasi performa suatu model dan menggunakan *the coefficient of correlation* (r) untuk mengukur baik tidaknya performa trend dari suatu nilai prediksi dengan membandingkan dengan trend aktual yang terjadi, dapat dilihat pada Persamaan 3.9 dan Persamaan 3.10.

$$RMSE = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (y_j - d_j)^2 \right\}^{1/2} \dots\dots\dots (2.50)$$

dengan :

- y_j : *output* model (*predicted*), $y_j = y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$
- d_j : *output* target (*desired/observed*), $d_j = d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$
- n : jumlah data

$$r = \frac{C_{y_j d_j}}{\sigma_{y_j} \sigma_{d_j}} \dots\dots\dots (2.51)$$

$$C_{y_j d_j} = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y})(d_j - \bar{d}) = \frac{1}{n} \left[\sum_{j=1}^n y_j d_j - \frac{\sum_{j=1}^n y_j \sum_{j=1}^n d_j}{n} \right] \dots\dots\dots (2.52)$$

$$\sigma_{y_j} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.53)$$

$$\sigma_{d_j} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (d_j - \bar{d})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.54)$$

$$\bar{d} = \frac{\sum_{j=1}^n d_j}{n} \dots\dots\dots (2.56)$$

dengan :

- $C_{y_j d_j}$: *kovarian* antara *output* model (y_j) dengan *output* target (d_j)
- σ_{y_j} : standart deviasi *output* model y_j

σ_{dj} : standart deviasi *output* model d_j

\bar{y} : *mean output* model y_j

\bar{d} : *mean output* target d_j

Batasan – batasan nilai “r” atau *coefisien of correlation* yang dikemukakan oleh Smith (1986) dalam Shahin et al (2000) adalah sebagai berikut:

1. $|r| > 0,8$: hubungan antara dua set variable sangat kuat
2. $0,2 < |r| < 0,8$: terdapat hubungan anantara dua set variabel
3. $|r| \leq 0,2$: hubungan antara dua set variable sangat lemah

2.11. Faktor Keberhasilan Jaringan Syaraf Tiruan

Faktor keberhasilan jaringan syaraf tiruan dalam menjalankan suatu sistem pendekatan dalam memprediksi hasil (khususnya dibidang Geoteknik) tingkat keberhasilannya sangat tinggi. Sehingga beberapa tahun terakhir ini, sangat sukses digunakan untuk memecahkan berbagai masalah dalam berbagai disiplin ilmu seperti: bidang finansial, kedokteran, teknik, geologi dan fisika. Lebih jauh lagi, bahwa sesuatu masaalah dengan menggunakan Jaringan syaraf tiruan dapat diprediksi, dikelompokkan dan dikontrol. Shahin et al. (2000) ada beberapa faktor yang mendukung keberhasilan tersebut antara lain:

- Handal.

Jaringan syaraf tiruan dapat membuat suatu model yang sangat kompleks khususnya non linier dengan berbagai variabel.

- Mudah digunakan.

Jaringan syaraf tiruan penggunaan dan aplikasinya sama dengan menggunakan metode statistik non liner yang telah lama di kenal. Pengumpulan data dan melakukan pembelajaran algoritma untuk mempelajari secara otomatis struktur data, sehingga tidak memerlukan pengetahuan mengenai memilih dan mempersiapkan data.

2.12. Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan Syaraf Tiruan mampu menggambarkan setiap situasi adanya sebuah hubungan antara variabel *predictor (independents, inputs)* dan variabel *predicted (dependents, outputs)*, ketika hubungan tersebut sangat kompleks dan tidak mudah untuk menjelaskan kedalam

istilah yang umum dari “*correlations*” atau “*differences between groups*”. Banyak beberapa contoh permasalahan yang dapat dipecahkan secara baik oleh jaringan syaraf tiruan.

2.13. Penelitian - Penelitian Sebelumnya

Dengan melihat kesamaan, atau kesesuaian antara rekayasa geoteknik dengan jaringan syaraf tiruan serta didukung oleh penelitian-penelitian yang telah berhasil, maka penelitian ini tentang pemodelan jaringan syaraf tiruan tentang rekayasa geoteknik khususnya mengenai analisa daya dukung tiang dan penurunan pada pondasi tiang bor dapat di aplikasikan. Adapun penelitian – penelitian tentang rekayasa geoteknik dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan menghasilkan performa yang baik dengan dilihat dari nilai parameter statistiknya.

Tabel 2.5 menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh metode jaringan syaraf tiruan memiliki Nilai *Coefficient of Correlation* (r) dan *error* yang digunakan sebagai tolak ukur, dimana nilai (r) yang paling mendekati 1 adalah yang paling baik. *The coefficient of correlation* (r) digunakan untuk mengukur seberapa baik tren dari suatu nilai prediksi dibandingkan dengan tren yang dimiliki oleh nilai aktual yang terjadi. Nilai *Coefficient of Correlation* (r) $\rightarrow ||r|| \geq 1$ yang menyatakan bahwa hubungan antara 2 (dua) set variable sangat kuat (Shahin et al., 2001).

Tabel 2.5 Performa Metode Jaringan Syaraf Tiruan dengan Rumus Konvensional

No	Metode / Rumus	Coef. of Correlation	Av sum square error (kN)	Penelitian / Tahun	
1	NN (JST)	0,956	34,5	Daya dukung aksial tiang dengan rumus dinamik	Goh (1996)
	Engineering News	0,689	318		
	Hiley	0,483	102,8		
	Janbu	0,823	61,3		
No	Metode / Rumus	Coef. of Correlation	RMSE (mm)	Penelitian / Tahun	
2	NN (JST)	0,999	3,9	Penurunan pada pondasi dangkal	Shahin et al. (2000)
	Meyerhoff	0,33	27		
	Schlutze dan Sherif	0,86	23,8		
	Schmertmann	0,7	45,2		
No	Metode / Rumus	Coef. of Correlation	Error rate (kPa)	Penelitian / Tahun	
	NN (JST)	0,985	1,016		

3	Sample dan Rigden	0,976	1,318	Tahanan selimut tiang di tanah lempung	Goh (1995)
	Metode β	0,731	4,824		
No	Metode / Rumus	Coef. Of Correlation	Mean	Penelitian / Tahun	
4	NN (JST)	1,04	1,04	Daya dukung lateral tiang di tanah lempung	Das & Basudhar (2006)
	Brom	1,148	1,148		
No	Metode /Rumus	Coef of Determination (R2)	Index Rank (RI)	Penelitian / Tahun	
5	NN_Qult	0,695	-	Daya Dukung tiang ultimate dan Penurunan	Niken (2012)
	Meyerhof (1976)	0,421	-		
	Briaud (1985)	0,399	-		
	NN_Si	0,739	-		
	Poulus_Davis (1980)	0,416	-		
	NN_Qult	-	3,118		
	Meyerhof (1976)	-	3,159		
	Briaud (1985)	-	3,176		
	NN_Si	-	2,802		
Poulus_Davis (1980)	-	3,192			

Adapun penelitian – penelitian dibidang Rekayasa Geoteknik yang berhasil diterapkan pada metode jaringan syaraf tiruan dapat dijelaskan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Penelitian – Penelitian Jaringan Syaraf Tiruan Dalam Rekayasa Geoteknik

No	Nama	Penelitian	Metode
1	Iyad Alkroosh & Hamid Nikraz (2012)	Memprediksi hasil kapasitas beban axial pada pondasi tiang pancang di tanah yang kohesif dengan pendekatan intelegensi computer	Penggunaan GP (<i>Genetik Programing</i>), studi untuk mengetahui kelayakan penggunaan GP pada korelasi nilai CPT dan kapasitas tiang
2	Ersin Arel (2012)	Memprediksi hubungan penyebaran karakteristik tanah di Adapazari / Turki dengan menggunakan data CPT	Penggunaan jaringan syaraf tiruan dengan menggunakan pengembangan interkoneksi <i>feed-forward multi-layer</i> . Pengunaan data dengan menggunakan nilai <i>Cone Penetration Test</i> , Hasil yang didapatkan sangat signifikan yaitu dapat membaca prediksi <i>soil profile</i> setiap kedalaman 2 cm.
No	Nama	Penelitian	Metode
3	Chin Loong Chan & Bak	Melakukan analisa kemungkinan beban lateral pada pondasi tiang	Metode jaringan syaraf tiruan dengan <i>back-propagation</i> dengan satu atau lebih <i>hidden layer</i> yang digunakan.

	Kong Low (2012)	terhadap reaksi permukaan tanah dengan jaringan syaraf tiruan	
4	Mohammad Hassan Baziar et al.(2012)	Penelitian terkait pendekatan perlawanan pondasi tiang dengan menggunakan nilai <i>Cone Penetration Test</i> (CPTs)	JST dengan <i>Feed-forward multi-layer</i> yang dilatih dengan menggunakan data <i>back-propagation</i> , satu sampai dua <i>hidden layer</i> . Dengan data nilai <i>cone penetration</i> (qc), <i>friction</i> (fs), dimensi tiang. Pendekatan daya dukung tiang dengan jaringan syaraf tiruan dan model non linier regresi.
6	F. Pooya Nejad, & Jaksa (2010)	Studi Jaringan syaraf tiruan untuk memprediksi perilaku pondasi tiang dengan data <i>standart penetration test</i>	Metode back propagation single layer dan multi hidden layer yang di latih dengan sigmodal dan hyperbolic tangent. Hasil untuk meprediksi karakteristik tiang terhadap beban dan penurunan yang ada.
7	Pooya Nejad, et al.(2009)	Prediksi penurunan pondasi tiang dengan menggunakan nilai N-SPT (standart penetration test) dengan menggunakan pendekatan jaringan syaraf tiruan	Metode back-propagation untuk memprediksi penurunan pada pondasi tiang. Data yang digunakan adalah geometri tiang, material properties tiang, beban rencana, properties tanah, cara pemasangan tiang, dan metode pembebanan tiang
8	Samui.P & (2008)	Model karakteristik Jaringan syaraf tiruan pada tiang dan Kriging	Metode <i>back propagation</i> , untuk memprediksi hasil nilai N-SPT koreksi, data yang diperlukan adalah <i>overburden stress</i> , ukuran lubang bore, tipe sample, dan panjang koneksi tiang.
9	Ardalan, et al. (2009)	Kapasitas tiang dari data CPT dan CPTu untuk jaringan syaraf tiruan polynomial dan genetik algoritma	Jaringan syaraf tiruan <i>feed – forward</i> dengan algoritma <i>back propagation</i> dengan memasukan data <i>conus resistance</i> (qc), <i>friction</i> (fs), pengalaman pekerja dalam pemancangan tiang, <i>up lift</i> , <i>cone sleeve friction</i> , hasil memprediksi kapasitas tiang dengan membandingkan dari data CPT dan CPTu sondir.
10	Kurup, et al. (2006)	Studi untuk memprediksi komposisi tanah dari nilai Cone Penetration Test	Regresi Jaringan syaraf (GRNN) merupakan <i>multi layer feed forward</i> dengan membandingkan <i>back propagation</i> , GRNN menghubungkan empat layer, dan dua hidden layer. Data yang digunakan adalah data <i>cone penetration test</i> berupa nilai qc dan fs.
No	Nama	Penelitian	Metode

16	Abu-Kiefa (1998)	Studi GRNN / Regresi Jaringan syaraf Tiruan pada Pondasi tiang pancang di lapisan tanah pasir	Metode <i>back-propagation</i> dengan tiga layer dan satu hidden layer. Data yang digunakan adalah <i>density</i> , tipe tiang, panjang tiang, diameter, stress history, beban rencana, lokasi geografi. Adapun hasil yang didapat untuk memprediksi daya dukung ultimate pada pondasi tiang pancang di lapisan tanah pasir.
17	Teh, C.I (1997)	Studi untuk memprediksi kapasitas tiang menggunakan jaringan syaraf tiruan	Hasil studi ini menunjukkan hasil yang dapat memprediksi maksimal kapasitas tiang static yang dihasilkan oleh beban dan kecepatan. Pada metode jaringan syaraf tiruan ini tidak dapat memberikan kebenaran kapasitas tiang tersebut itu benar atau tidak, melainkan hasil analisa CAPWAP tersebut yang akan memprediksinya. Metode yang digunakan adalah <i>back-propagation</i> dengan satu sampai dua hidden layer.

Melihat keberhasilan metode jaringan syaraf tiruan yang diaplikasikan pada rekayasa geoteknik, yaitu cenderung sangat heterogen dan saling berhubungan antara variabel yang satu dengan yang lain. Pada perencanaan sebuah pekerjaan yang berhubungan dengan teknik sipil, tidak luput dengan adanya pekerjaan struktur bawah atau pondasi yang cenderung sangat penting dalam penerapan dan teoritis empirik sebagai pendukungnya. Coduto (1994) membuat persyaratan yang harus dipenuhi dalam mendesain suatu pondasi, yaitu sebagai berikut:

1. Stabilitas, meliputi stabilitas daya dukung tanah dan stabilitas kapasitas daya dukung pondasi itu sendiri / daya dukung batas pondasi.
2. Penurunan (Settlement), meminimalkan penurunan yang akan terjadi.

Maka dalam metode jaringan syaraf tiruan dapat diterapkan dalam rekayasa geoteknik, khususnya yang berhubungan dengan pondasi dalam (pondasi tiang) dan sudah diteliti oleh para peneliti terdahulu yang dapat dilihat pada Tabel 2.7. :

Tabel 2.7 Metode Jaringan Syaraf Tiruan dalam Analisa Pondasi Dalam

No	Peneliti	Penjelasan	Parameter/Variabel	Hasil JST
1	Alkroosh dan Nikraz (2012)	Studi mengenai prediksi hasil kapasitas beban axial pada pondasi tiang pancang di tanah yang kohesif dengan pendekatan intelegensi computer.	Material tiang, <i>Conus Resistance</i> (q_c), <i>friction ratio</i> (f_s), <i>Friction resistance</i> (f_r), diameter tiang, panjang tiang, mutu beton tiang	<ul style="list-style-type: none"> - Kelayakan Model GEP - Kelayakan nilai CPT terhadap korelasi kapasitas tiang - Memprediksi keruntuhan tiang - Penggunaan dengan GP (Genetik Programing), studi untuk mengetahui kelayakan penggunaan GP pada korelasi nilai CPT dan Kapasitas Tiang
2	Baziar et al.(2012)	Studi mengenai pendekatan perlawanan pondasi tiang dengan menggunakan nilai Cone Penetration Test (CPTs)	<i>Conus resistance</i> (q_c), <i>Friction resistane</i> (Fr), Panjang tiang, Diameter tiang	<ul style="list-style-type: none"> - Memberikan hasil pendekatan yang lebih realistis dari metode yang lain - Membandingkan nilai kapasitas tiang dari nilai CPT dari beberapa Metode
3	Niken (2012)	Analisa Daya Dukung Batas Ultimate dan Penurunan Tiang Tunggal dengan metode jaringan syaraf tiruan (digunakan pada lapisan tanah pasir)	Diameter tiang, panjang tiang, beban percobaan, N_{shaft}	<ul style="list-style-type: none"> - Membuat cara baru dalam perhitungan daya dukung batas dan penurunan elastik tiang tunggal. - Mendapatkan hasil atau performa yang cukup baik dalam membandingkan dengan rumus konvensional
4	Pooya N..F et al.(2011)	Studi Jaringan syaraf tiruan untuk memprediksi perilaku pondasi tiang dengan data standar penetration test	Geometri tiang, material tiang, aplikasi beban, metode pelaksanaan pemancangan, tipe pengujian beban, kondisi ujung tiang tertutup / terbuka.	<ul style="list-style-type: none"> - Memprediksi karakteristik pondasi tiang terhadap beban dan penurunan - Metode back propagation single layer dan multi hidden layer yang di latih dengan sigmodal dan hyperbolic tangent. Hasil untuk memprediksi karakteristik tiang terhadap beban dan penurunan yang ada

No	Peneliti	Penjelasan	Parameter/Variabel	Hasil JST
5	Ardalan et al.(2009)	Kapasitas tiang dari data CPT dan CPTu untuk jaringan syaraf tiruan polynomial dan genetik algoritma	<i>Conus resistance</i> (qc), <i>Friction</i> , pengalaman pekerja dalam pemancangan , up lift, <i>cone sleeve friction</i>	- Jaringan syaraf tiruan feed – forward dengan algoritma back, hasil memprediksi kapasitas tiang dengan membandingkan dari data CPT dan CPTu sondir
6	Chua dan Goh (2007)	Model JST untuk memprediksi tahanan selimut tiang (fs)	Panjang tiang (L), diameter tiang (d), tegangan <i>vertical efektif</i> rata-rata ($\sigma'v$), kuat geser <i>undrained</i> rata-rata	- Model JST memberikan hasil yang baik dalam memprediksi dan memiliki aritektur 1 <i>hidden layer</i> dan 3 <i>hidden nodes</i>
7	Nawari et al. (1999)	Model JST jenis feed-forward dengan algoritma Back-Propagation untuk memprediksi daya dukung aksial pondasi tiang pancang dengan menggunakan data hasil uji SPT	N SPT, kKedalaman tiang, panjang tiang, luas penampang tiang, keliling tiang, jumlah baja tulangan	- Mendapatkan hasil yang baik dengan memprediksi memiliki arsitektur 1 <i>hidden layer</i> dan 4 <i>hidden nodes</i>
8	Abu-Kiefa (1998)	Studi GRNN / Regresi Jaringan syaraf Tiruan pada Pondasi tiang pancang di lapisan tanah pasir	<i>Density</i> , tipe tiang, panjang tiang, panjang tiang, <i>History stress</i> , diameter tiang, lokasi geografi	- Metode <i>back-propagation</i> dengan tiga layer dan satu <i>hidden layer</i> . Adapun hasil yang didapat untuk memprediksi daya dukung ultimate pada pondasi tiang pancang di lapisan tanah pasir.
9	Tee et al (1997)	Studi untuk memprediksi kapasitas tiang menggunakan jaringan syaraf tiruan	<i>Soils Paramete</i> , <i>velocity</i> , <i>Force</i> , <i>damping value</i> , <i>PDA Test</i> , <i>CAPWAP</i>	- Hasil studi ini menunjukkan hasil yang dapat memprediki maksimal kapasitas tiang statik yang dihasilkan oleh beban dan kecepatan. Pada metode jaringan syaraf tiruan ini tidak dapat memberikan kebenaran akan kapasitas tiang itu benar atau tidak, melainkan hasil analisa CAPWAP lah yang akan memprediksinya. Metode yang digunakan adalah <i>back – propagation</i> dengan satu sampai dua <i>hidden layer</i>

No	Peneliti	Penjelasan	Parameter/Variabel	Hasil JST
10	Goh (1996)	Metode JST dalam memprediksi daya dukung pondasi tiang pancang dengan menggunakan hasil uji dinamik pada tiang	Modulus Elastisitas Tiang (E), panjang tiang (L), luas penampang tiang (A), berat tiang (W_p), tinggi jatuh <i>Hammer</i> (H), berat <i>Hammer</i> (W_h), <i>Pile</i> (s), Tipe <i>Hammer</i> (H_{type})	<ul style="list-style-type: none"> - Memberikan hasil baik dapat memprediksi penurunan, - Memiliki arsitektur 1 hidden layer dan 3 hidden nodes
11	Lee & Lee (1996)	Metode JST untuk memprediksi Daya dukung pondasi tiang pancang dengan menggunakan hasil uji lapangan, dengan membandingkan rumus Meyerhoff tahun 1976.	Rasio panjang dan diameter tiang, N SPT rata-rata selimut tiang, N SPT ujung tiang, Pile Set, energi hammer	<ul style="list-style-type: none"> - Daya dukung yang didapatkan dalam estimasi diperoleh hasil yang lebih baik dibandingkan dengan rumus Meyerhoff (1976)

2.14 Kerangka Berpikir

Melihat dan mediskripsikan penelitian - penelitian para peneliti yang menggunakan pendekatan pemodelan jaringan syaraf tiruan sudah mulai banyak digunakan dan diteliti khususnya dibidang ilmu rekayasa geoteknik. Adapun hasil yang didapatkan pada penelitian tersebut sangatlah memuaskan dengan hasil yang diharapkan dikarenakan mempunyai sifat-sifat karakteristik yang hampir sama dengan ilmu geoteknik, sehingga metode jaringan syaraf tiruan bisa menjadi suatu alternatif dalam menentukan parameter, daya dukung dan penurunan. Pemodelan jaringan syaraf tiruan ini hanya dilakukan sebagai alternatif dalam menghitung daya dukung tiang dan penurunan elastik, tanpa maksud untuk mengganti metode-metode perhitungan konvensional yang sudah ada.

2.15. Posisi Penelitian

Penelitian ini adalah mengembangkan penelitian yang sudah teliti oleh Niken (2012) yang menggunakan pendekatan pemodelan jaringan syaraf tiruan dalam menghitung analisis daya dukung tiang batas dan penurunan elastik pada pondasi tiang pancang (*driven pile*) di tanah berpasir, sedangkan penelitian ini menggunakan pendekatan metode jaringan syaraf tiruan untuk membandingkan atau memprediksi hasil perhitungan atau analisis daya dukung batas

tiang *bored pile* (dinamakan model $NN_{Q_{ult}}$) dan perhitungan penurunan tiang tunggal *bored pile* (dinamakan model NN_{S_i}) pada lapisan tanah *kohesif*, non kohesif dan berlapis.

Input data yang digunakan dalam basis pembuatan model jaringan syaraf tiruan adalah nilai propertis tanah dari hasil uji bor mesin berupa SPT (standart penetraton test), properties tiang *bored pile* ataupun pendekatan data empirik yang tidak diperoleh sebagai basis data dalam pembuatan model. Beberapa penelitian - penelitian yang ada hubungannya dengan penelitian ini dievaluasi sehingga dapat diketahui posisi penelitian ini. Adapun hasil rangkuman dari penelitian-penelitian tersebut dirangkum pada Tabel 2.8 dan Tabel 2.9.

Tabel 2.8 Evaluasi Posisi Model $NN_{Q_{ult}}$ terhadap Penelitian yang terkait

Rumus Konvensional				
No	Rumus / Penelitian	Input yang terlibat	Output Target (observed output)	Penjelasan
1	Meyerhoff (1976)	L, d, N_{shaft}, N_{tip}	-	Lap. Tanah Pasir
2	Briaud (1985)	L, d, N_{shaft}, N_{tip}	-	Lap. Tanah Pasir
Rumus dengan Pendekatan JST (Jaringan Syaraf Tiruan (<i>Artificial Neural Networks</i>))				
1	Lee dan Lee (1996)	$L, d, N_{shaft}, N_{tip}, pile\ set,$ energi <i>hammer</i>	Tidak didapat informasi	-
2	Nawari et al. (1999)	$L, d,$ panjang tiang, $N-SPT,$ luas ujung tiang, keliling tiang dan jumlah tulangan	Tidak didapat informasi	-
3	$NN_{Q_{ult}}$, Niken (2012)	L, d, N_{shaft}, N_{tip}	Uji beban statik dengan metode <i>kentledge</i> , dan dilakukan pada lapisan tanah pasir	Uji beban statik dipilih sebagai output target dengan tujuan hasil penelitian yang <i>reliable</i> .
4	Alkrossh & Nikraz (2012)	D, qc rata –rata, Modulus Elastisitas Tiang Friction, Material Tiang Beton, $E,$ <i>friction</i> , Geometri tiang	Membandingkan kapasitas beban aksial pada tiang beton dan baja dengan metode pendekatan GEP (<i>Gene Expression Programing</i>)	Lapisan tanah kohesif, memasukan variabel $qc, friction$ (tidak menggunakan validasi lapangan beupa pengujian beban.

Tabel 2.9. Evaluasi posisi Model NN_{S_i} terhadap penelitian yang terkait

Rumus Konvensional				
No	Rumus / Penelitian	Input yang terlibat	Ouput / Hasil	Keterangan
1	Poulos and Davis (1980)	P, I, Es, d	-	Rumus 2.4, 2.4a, 2,5 dan 2.5a
		Nilai I fungsi dari : $L/d, h/L$ atau $L/h, v_s, K, Ep, Es, d_b/d$	-	Lihat grafik di Gambar 2.2 s/d Gambar 2.6
Rumus dengan Pendekatan JST (Jaringan Syaraf)				
1	Goh (1994)	$Es/G, G, v_s, L, R$	Persamaan MEH Randolph dan Wroth	-
2	NN_{S_i} (Niken (2012))	$L, d, N_{shaft}, N_{tip}, P$	Uji Beban Statik dilakukan hanya pada lapisan tanah pasir	Uji beban statik dipilih sebagai output target dengan tujuan hasil penelitian yang <i>realible</i>

Dengan mengembangkan penelitian sebelumnya Niken (2012), penelitian ini menganalisa tentang perilaku pondasi *bored pile* untuk mengetahui daya dukung tiang dan penurunan elastik di tanah kohesif, non kohesif dan berlapis dengan pendekatan pemodelan jaringan syaraf tiruan. Adapun input data yang terlihat adalah properties tiang bored berupa luas penampang tiang, keliling tiang, panjang tertanam tiang tertanam dan nilai standart penetration test yang dilakukan.

Metode jaringan algoritma yang digunakan pada jaringan tersebut dengan metode *back-propagation*, dan diharapkan hasil yang dapat memberikan kontribusi nilai sebagai pendekatan dari metode konvensional yang sudah ada. Hasil yang didapatkan dalam pendekatan model jaringan syaraf tiruan kemudian dicocokkan atau divalidasikan dengan dengan pengujian dinamik test (PDA) dan rumus empirik.

2.16. Problem Statement

Dengan mengurai maupun mereview tentang metode jaringan syaraf tiruan pada sub bab-sub bab sebelumnya, maka ada beberapa acuan yang dapat dimasukkan dalam problem statement pada penelitian ini antara lain:

- Dasar model jaringan syaraf tiruan dapat digunakan sebagai perhitungan daya dukung batas dan penurunan elastic pada pondasi tiang bor dikarenakan sifat yang terdapat pada model jaringan syaraf tiruan sesuai dengan karakteristik rekayasa geoteknik.
- Studi – studi peneliti terdahulu mengenai jaringan syaraf tiruan pada pondasi dalam banyak dilakukan pada pondasi tiang pancang. Alkroosh dan Nikraz (2012) melakukan studi mengenai kapasitas beban aksial pada pondasi tiang pancang dengan menggunakan variabel korelasi nilai CPT.
- Niken (2012) tentang jaringan syaraf tiruan mengenai kapasitas daya dukung batas (ultimate) dan penurunan elastik pada pondasi tiang pancang dengan menggunakan beban statik pada lapisan tanah pasir, memperoleh Nilai Rank Indek sebesar 2,802 yaitu masih jauh dari 1, Angka 1 merupakan angka dengan nilai pemodelan yang sempurna, semakin mendekati nilai 1 maka pemodelan tersebut adalah baik. Sehingga pemodelan yang dibuat dalam analisa tersebut kurang baik.
- Melihat sering terjadi kesalahan pada pengujian PDA yaitu kesalahan maupun tidak telitinya penguji dalam pemasangan sensor (*tranduser dan accelometer*) maupun ketidakterpatan Berat *Hammer*, yang mana menyebabkan hasil yang kurang baik pada daya dukung ultimate tiang (Q_{ult}) maupun Penurunan (*Settlement*) maka diharapkan dalam pemodelan ini dapat melihat seberapa besar pengaruh kesalahan tersebut terhadap daya dukung ultimate tiang bor.
- Tidak berpengalaman SDM (sumber daya manusia) *engineer* khususnya dalam pengawasan pelaksanaan pondasi *bored pile*, yang mana sering terjadinya kerusakan tiang bor, maka diharapkan dengan pemodelan ini dapat melihat seberapa besar tingkat pengaruh yang ada.