

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Muhammad Dzikri Ridwanulloh Annur (2020) melakukan penelitian terkait Analisis Fondasi Tower Tipe AA SUTT 150 kV PLTMG Kupang Peaker - Gardu Induk Bolok. Sebagai perusahaan yang bergerak di bidang bisnis ketenagalistrikan, PT PLN (Persero) terus melakukan pembangunan sistem ketenagalistrikan di seluruh wilayah Indonesia. Pada proyek SUTT 150 kV PLTMG Kupang Peaker – Gardu Induk Bolok yang terletak di Pulau Timor, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Pada proyek ini terdapat Fondasi yang tidak memenuhi syarat mutu beton K-225 pada saat kuat tekan mutu beton Fondasi tower usia 28 hari (100% kekuatan beton), sementara kondisi tower sudah ter-erection.

Pada penelitian ini, dilakukan analisis perhitungan struktur Fondasi terhadap nilai kuat tekan mutu beton aktual. Setelah itu, dilakukan perbandingan dengan perhitungan struktur Fondasi rencana. Analisis yang dilakukan pada perhitungan struktur Fondasi antara lain stabilitas terhadap daya dukung tanah, stabilitas terhadap gaya angkat, stabilitas terhadap gaya guling, stabilitas terhadap gaya geser, kontrol kekuatan geser satu arah dan kontrol kekuatan geser dua arah.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan stabilitas terhadap daya dukung tanah, stabilitas terhadap gaya angkat, stabilitas terhadap gaya guling, stabilitas terhadap gaya geser pada Fondasi Leg B, Leg C dan Leg D di lapangan masih memiliki nilai yang sama dengan perhitungan struktur Fondasi rencana dan memenuhi syarat. Kemudian untuk nilai kontrol kekuatan geser satu arah dan kontrol kekuatan geser dua arah pada Fondasi Leg B, Leg C dan Leg D di lapangan berada di bawah nilai perhitungan struktur Fondasi rencana namun masih memenuhi syarat.

Annisa Rizqi (2016) melakukan penelitian terkait Perencanaan Fondasi dan Analisa Stabilitas Tanah pada Rencana T.534 – T.536 dan T.540 – T.542

Jalur Transmisi 500 kV Ungaran – Mandirancan. Sebagai pemasok listrik utama, PT PLN (Perusahaan Listrik Negara) terus mengembangkan jaringan transmisi sebagai bentuk pengembangan sistem kelistrikan di Indonesia. Kebutuhan listrik yang meningkat menyebabkan perlunya penambahan kapasitas listrik oleh PT PLN dengan adanya kebutuhan listrik tersebut, PT PLN telah merencanakan jalur-jalur transmisi *overhead line* baru di berbagai daerah di Indonesia. Diantara jalur-jalur transmisi yang direncanakan, salah satu jalur yang sedang dikembangkan adalah Jalur Transmisi (SUTET 500 kV) Jalur Ungaran - Mandirancan II. Jalur ini dimulai dari Ungaran, Kabupaten Semarang hingga Mandirancan, Kabupaten Kuningan. Pengembangan jaringan transmisi tersebut merupakan wujud dari pengembangan kelistrikan jangka panjang 2010 - 2019.

Pada tower-tower yang sudah dibangun sebelumnya, pernah terjadi kasus sliding pada salah satu kaki tower. Hal ini menyebabkan diperlukannya perbaikan struktural tower maupun Fondasinya. Selain itu, ada beberapa tower pada Jalur Transmisi Ungaran - Mandirancan II yang memiliki kondisi tanah yang kritis. Tower-tower rencana tersebut berada di daerah dengan kerentanan menengah, tingkat kerawanan gempa tinggi, juga berada di daerah dengan jenis tanah *clay shale*.

Untuk perencanaan Fondasi tower transmisi ini bergantung pada tipe tower dan data pengujian tanah. Tipe tower akan mempengaruhi beban pada masing-masing Fondasi. Seluruh tower rencana menggunakan Fondasi *Straus Pile/Bore Pile* tipe AA. Seluruh titik tower memiliki stabilitas tanah yang cukup stabil. Stabilitas ini ditunjukkan dari hasil pemodelan stabilitas tanah yang menunjukkan angka keamanan lebih dari 1,5 dan pergerakan horizontal yang masih memenuhi syarat.

Pada pekerjaan konstruksi terdapat berbagai jenis Fondasi yang dapat digunakan, dengan bergantung pada kondisi tanah pada lokasi konstruksi tersebut memungkinkan atau tidak. Salah satunya yaitu Fondasi telapak, Fondasi ini digunakan untuk mendukung beban konstruksi bagian atas. Jenis Fondasi ini biasanya terdiri dari konstruksi beton bertulang, sehingga tebal pelat pada Fondasi telapak menerus mempengaruhi kapasitas daya dukung tanah.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pengertian/ Definisi

2.2.1.1 Fondasi

Fondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang berfungsi untuk menempatkan bangunan dan meneruskan beban yang disalurkan dari struktur atas ke tanah dasar fondasi yang cukup kuat menahannya tanpa terjadinya differential settlement pada sistem strukturnya.

Fondasi merupakan struktur bagian bawah bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah dan suatu bagian dari konstruksi yang berfungsi menahan gaya beban di atasnya. Fondasi dibuat menjadi satu kesatuan dasar bangunan yang kuat yang terdapat dibawah konstruksi. Fondasi dapat didefinisikan sebagai bagian paling bawah dari suatu konstruksi yang kuat dan stabil (solid).

Dalam perencanaan fondasi untuk suatu struktur dapat digunakan beberapa macam tipe fondasi. Pemilihan fondasi berdasarkan fungsi bangunan atas (*upper structure*) yang akan dipikul oleh fondasi tersebut, besarnya beban dan beratnya bangunan atas, keadaan tanah dimana bangunan tersebut didirikan dan berdasarkan tinjauan dari segi ekonomi. Semua konstruksi yang direncanakan, keberadaan fondasi sangat penting mengingat fondasi merupakan bagian terbawah dari bangunan yang berfungsi mendukung bangunan serta seluruh beban bangunan tersebut dan meneruskan beban bangunan itu, baik beban mati, beban hidup dan beban gempa ke tanah atau batuan yang berada dibawahnya. Bentuk fondasi tergantung dari macam bangunan yang akan dibangun dan keadaan tanah tempat fondasi tersebut akan diletakkan, biasanya fondasi diletakkan pada tanah yang keras.

Pemilihan jenis struktur bawah (*sub-structure*) yaitu fondasi, menurut Suyono (1984) harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

1. Keadaan tanah fondasi

Keadaan tanah fondasi kaitannya adalah dalam pemilihan tipe fondasi yang sesuai. Hal tersebut meliputi jenis tanah, daya dukung tanah, kedalaman lapisan tanah keras dan sebagainya.

2. Batasan-batasan akibat struktur di atasnya

Keadaan struktur atas akan sangat mempengaruhi pemilihan tipe fondasi. Hal ini meliputi kondisi beban (besar beban, arah beban dan penyebaran beban) dan sifat dinamis bangunan di atasnya (statis tertentu atau tak tentu, kekakuannya, dll).

3. Batasan-batasan keadaan lingkungan di sekitarnya

Yang termasuk dalam batasan ini adalah kondisi lokasi proyek, dimana perlu diingat bahwa pekerjaan fondasi tidak boleh mengganggu ataupun membahayakan bangunan dan lingkungan yang telah ada disekitarnya.

4. Biaya dan waktu pelaksanaan pekerjaan

Sebuah proyek pembangunan akan sangat memperhatikan aspek waktu dan biaya pelaksanaan pekerjaan. Karena hal ini sangat erat hubungannya dengan tujuan pencapaian kondisi yang ekonomis dalam pembangunan.

2.2.1.2 Fondasi Dalam

Fondasi yang memiliki kedalaman lebih dari lebar fondasi serta menggunakan tiang penyangga dengan jenis tiang bor (bored pile) yang digolongkan ke dalam Fondasi kelas 6. (Standar PLN, 2021)

2.2.1.3 Fondasi Tiang Bor

Fondasi dalam berupa tiang beton bertulang yang pemasangannya dilakukan dengan cara pengeboran tanah terlebih dahulu kemudian dilanjutkan pengecoran tiang beton bertulang. (Standar PLN, 2021)

2.2.1.4 Fondasi Dangkal

Fondasi dangkal adalah struktur bangunan paling bawah yang berfungsi meneruskan (mendistribusi) beban bangunan ke lapisan tanah yang berada relatif dekat dengan permukaan tanah. (Gogot Setyo Budi, 2011)

Fondasi yang memiliki kedalaman tidak lebih dari lebar fondasi, yang mana mencakup fondasi kelas 1, 2, 3, 4A, 5, dan 7. (Standar PLN, 2021)

Pembebanan pada fondasi didasarkan pada besaran reaksi dari tower dan konduktor yang telah dibakukan. Desain Fondasi terdiri dari beberapa alternatif desain dengan variasi kedalaman dan lebar sesuai kelas fondasi yang ditetapkan berdasarkan desain fondasi eksisting dan desain baru untuk mengakomodir kemungkinan berbagai parameter sondir di lapangan.

Berdasarkan beban, varian desain dan kriteria desain tersebut di atas maka disusun hubungan antara nilai tahanan ujung dan kedalaman fondasi untuk setiap varian desain fondasi yang kemudian dirangkum dalam bentuk standar template grafik perhitungan fondasi dangkal.

2.2.1.5 Fondasi Telapak (Pad & Chimney)

Fondasi dangkal yang terdiri dari bagian pelat (telapak/pad) dan bagian kolom (chimney) pada setiap kaki tower secara terpisah satu sama lain dengan material berupa beton bertulang yang mencakup Fondasi kelas 1, 2, 3, 4A, dan 7. (Standar PLN, 2021)

2.2.1.6 Sistem Kalendering Sondir

Metode pemilihan desain fondasi tower berdasarkan database dan katalog dimensi fondasi terhadap parameter tanah dari hasil uji sondir dalam bentuk grafik yang dapat dipakai sebagai panduan untuk memilih jenis fondasi pada tower transmisi yang telah dibakukan. (Standar PLN, 2021)

2.2.1.7 Uji Penetrasi Sondir (Cone Penetration Test/CPT)

Pengujian untuk memperoleh parameter-parameter perlawanan penetrasi lapisan tanah dilapangan dengan alat penetrasi konus sondir. Parameter tersebut berupa perlawanan konus (q_c), perlawanan geser (f_s), dan geseran total tanah (T_f), yang dapat digunakan untuk interpretasi perlawanan tanah, parameter fisik dan kekuatan mekanik tanah yang merupakan bagian dari desain fondasi. (Standar PLN, 2021)

2.2.1.8 Stabilitas Fondasi

Kemampuan fondasi dalam memikul beban aksial tekan, aksial tarik, lateral dan momen guling tanpa mengalami keruntuhan dan tidak menimbulkan deformasi atau penurunan tanah yang berlebihan. (Standar PLN, 2021)

2.2.1.9 Dayang Dukung Tanah

Kemampuan tanah/ fondasi untuk menahan beban aksial tekan, aksial tarik, lateral, dan momen guling yang dinyatakan dalam satuan tekanan atau tegangan tanpa mengalami keruntuhan atau penurunan yang berlebihan. (Standar PLN, 2021)

2.2.1.10 Daya Dukung Ultimit

Kemampuan tanah/ fondasi dalam memikul beban sampai terjadi keruntuhan geser tanah secara menyeluruh (general shear failure). (Standar PLN, 2021)

2.2.1.11 Daya Dukung Ijin

Kemampuan fondasi dalam memikul beban tanpa mengalami keruntuhan tanah yang besarnya adalah daya dukung ultimit dibagi dengan faktor keamanan. (Standar PLN, 2021)

2.2.1.12 Penurunan Tanah

Deformasi vertikal lapisan tanah dasar fondasi akibat beban yang terdiri dari penurunan seketika (immediate settlement), penurunan primer (primary settlement) dan penurunan sekunder/rangkak (secondary settlement/creep). (Standar PLN, 2021)

2.2.1.13 Penurunan Seketika

Deformasi vertikal lapisan tanah dasar fondasi oleh beban yang diakibatkan sifat elastisitas tanah. (Standar PLN, 2021)

2.2.1.14 Gesekan (friction)

Besarnya nilai perlawanan geser (f_s) tanah terhadap fondasi tiang yang dinyatakan dalam kg/cm^2 . (Standar PLN, 2021)

2.2.1.15 Tanah Kohesif

Material tanah berbutir halus yang mempunyai gaya tarik menarik antar butir tanah (kohesi) dan terdiri atas lanau atau lempung. (Standar PLN, 2021)

2.2.1.16 Tanah Tidak Kohesif

Material tanah berbutir kasar dengan ukuran butiran terlihat yang tidak mempunyai kohesi atau adhesi antar butiran pasir, sebagai contoh tanah pasir. (Standar PLN, 2021)

2.2.1.17 Sudut Keruntuhan Geser Akibat Gaya Angkat (frustum angle)

Sudut antara sumbu vertikal terhadap garis pada bidang keruntuhan tanah akibat beban tarik/uplift yang dapat berupa prisma atau kerucut terpancung. (Standar PLN, 2021)

2.2.1.18 Beton

Campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (admixture). (SNI Beton 2002)

2.2.1.19 Beban Aksial Vertikal (compress/uplift)

Beban yang bekerja tegak lurus dengan bidang fondasi yang terdiri dari tekan dan tarik. (Standar PLN, 2021)

2.2.1.20 Beban Lateral Horizontal (geser)

Beban yang bekerja searah dengan bidang fondasi (Standar PLN, 2021)

2.2.1.21 Beban Momen Guling

Beban yang diakibatkan oleh eksentrisitas beban vertikal dan beban lateral terhadap titik berat dasar fondasi. (Standar PLN, 2021)

2.2.1.22 Faktor Keamanan / SF (safety factor)

Perbandingan antara kemampuan ultimit fondasi terhadap kemampuan ijin/kerja fondasi pada metoda desain ijin. (Standar PLN, 2021)

2.2.1.23 Tower Rangka Baja

Struktur rangka bermaterial baja siku bergalvanis untuk menyangga Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET). (Standar PLN, 2021)

2.2.1.24 Tower Transmisi yang dibakukan

Struktur Tower transmisi dengan jumlah sirkit dan jenis konduktor yang desainnya sudah dibakukan, seperti pada tabel dibawah :

No	Konduktor dan Tegangan	Tipe Tower	Jml Sirkit
1	2xACSR/AS 250-A1/SA1A-26/7, 150 kV	AA, BB, CC, DD, EE, DDR	2
2	2xACSR/AS 450-A1/SA1A-54/7, 150 kV	AA, BB, CC, DD, EE, DDR	2
3	2xACSR/AS 450-A1/SA1A-54/7, 275 kV	AA, BB, CC, DD, EE, FF, GG	2
4	4xACSR/AS 450-A1/SA1A-54/7, 500 kV	AA, BB, CC, DD, EE, FF, GG	2

Tabel 2.1 Tipe Tower dan Konduktor

Sumber : Standar PLN, 2021

2.2.2 Klasifikasi Kelas Fondasi

Dalam menentukan kelas fondasi dan jenis tanah (kohesif dan non-kohesif) berdasarkan hasil pengujian sondir menggunakan grafik Schmertmann (1978) sesuai Gambar 1.

Dari pengambilan data tanah menggunakan sondir, didapat data-data sebagai berikut:

- a. Cone End Resistance (tahanan ujung konus) = q_c (kg/cm²)
- b. Local Side Friction (hambatan pelekat) = L_{sf} (kg/cm²)
- c. Friction Ratio = f_r (%)

Berdasarkan nilai q_c dan f_r pada grafik Schmertmann dapat ditentukan asumsi jenis tanah apakah termasuk tanah kohesif, non-kohesif atau diantaranya. Untuk penentuan kelas fondasi berdasarkan nilai daya dukung izin (q_a) dapat digunakan persamaan berikut:

$$q_a = \frac{q_c}{f} \dots \dots \dots (1)$$

dimana:

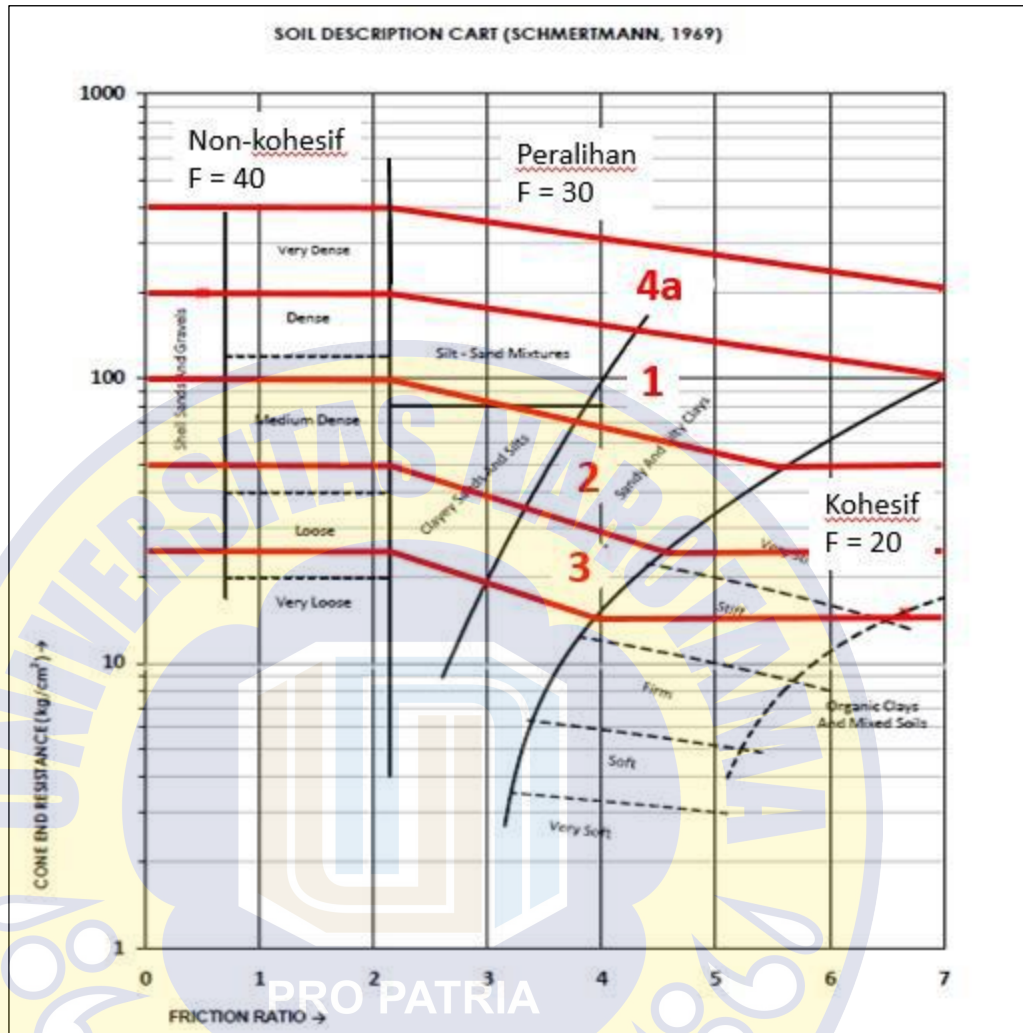
q_a = Daya dukung izin (kg/cm²)

q_c = Perlawanan ujung konus (kg/cm²), q_c diambil nilai rata-rata nilai sondir mulai dari 0,6 m di atas tapak Fondasi hingga 1,0 m di bawah tapak Fondasi.

F = Faktor pembagi, nilainya 20 sampai 40 ditentukan berdasarkan jenis tanahnya.

Faktor pembagi (F) menurut jenis tanah adalah sebagai berikut (lihat gambar 2.1):

1. Tanah Kohesif menggunakan faktor pembagi 20
2. Tanah peralihan Kohesif ke Non-Kohesif memakai faktor pembagi 30
3. Tanah Non-Kohesif menggunakan faktor pembagi 40.



Gambar 2.1 Grafik hubungan antara tekanan konus (q_c), Friction Ratio (FR) dan jenis tanah untuk menentukan Pembagian Kelas Fondasi (Sumber : Schmertmann, 1978)

Tabel 2.2 Spesifikasi Teknis Kelas Fondasi

KELAS FONDASI	1	2	3	4a	4b	5	6	7
Tipe Fondasi	Fondasi Telapak	Fondasi Telapak	Fondasi Telapak	Fondasi Telapak	Fondasi Blok dengan atau tanpa angkur	Fondasi Telapak atau Fondasi Rakit	Fondasi Tiang	Fondasi Telapak
Perkiraan deskripsi tanah/batu	Tanah sangat baik	Tanah baik	Tanah kondisi normal	Kondisi batuan lunak (batuan non homogen)	Kondisi batuan keras (batuan homogen)	Kondisi tanah buruk ada air tanah	Kondisi tanah sangat buruk, ada air tanah	Kondisi tanah normal dengan air tanah
Kapasitas bearing yang diijinkan (kg/cm ²)	$2,51 \leq \sigma \leq 5,00$	$1,21 \leq \sigma \leq 2,50$	$0,71 \leq \sigma \leq 1,20$	$5,01 \leq \sigma \leq 8,01$	$\sigma > 8,01$	$0,51 \leq \sigma \leq 0,70$	$\sigma \leq 0,5$	$0,70 \leq \sigma \leq 5,00$
Desain <i>Uplift</i> sudut frustrum	20°	15°	10°	30°	0°	0°	0°	0°
Parameter tanah	Perlu ada penyelidikan tanah lebih rinci	Perlu ada penyelidikan tanah lebih rinci	Perlu ada penyelidikan tanah lebih rinci	Perlu ada penyelidikan tanah lebih rinci	Perlu ada penyelidikan tanah lebih rinci	Perlu ada penyelidikan tanah lebih rinci	Perlu ada penyelidikan tanah lebih rinci	Perlu ada penyelidikan tanah lebih rinci
Berat jenis tanah/batu kg/m ³	1600	1600	1600	2000 **)	2500 **)	1950 / 950 *)	1950 / 950 *)	950 *)
Permukaan air	Di bawah dasar Fondasi	Di bawah dasar Fondasi	Di bawah dasar Fondasi	Di bawah dasar Fondasi	Di bawah dasar Fondasi	Variasi	Variasi	Variasi
Berat jenis beton unit weight kg/m ³	2400	2400	2400	2400	2400	2400 / 1400 *)	2400 / 1400 *)	2400 / 1400 *)
Catatan : <ol style="list-style-type: none"> *) Digunakan saat menghitung counter weight melawan gaya <i>Uplift</i>. **) Fondasi 4a dan 4b harus digunakan untuk melawan gaya angkat. Berlaku untuk data investigasi tanah yang diperoleh dari Dutch Cone Penetrometer Test, Akan dikurangkan dengan menggunakan faktor reduksi 20 (asumsi), sesuai dengan persetujuan <i>Engineer</i> 								

a. Fondasi kelas 1

Fondasi kelas 1 adalah fondasi telapak, digunakan untuk kondisi tanah yang sangat baik, muka air tanah dibawah dasar fondasi, dengan daya dukung tanah yang diijinkan adalah lebih dari 2,51 kg/cm² sampai 5,00 kg/cm², sudut frustum 20° dan berat jenis tanah sekitar 1600 kg/m³.

b. Fondasi kelas 2

Fondasi kelas 2 adalah fondasi telapak, digunakan untuk kondisi tanah baik, muka air tanah dibawah dasar fondasi, dengan daya dukung tanah yang diijinkan adalah lebih dari 1,21 kg/cm² sampai 2,50 kg/cm², sudut frustum 15° dan berat jenis tanah sekitar 1600 kg/m³.

c. Fondasi kelas 3

Fondasi kelas 3, adalah fondasi telapak, digunakan untuk kondisi tanah normal, muka air tanah dibawah dasar fondasi, dengan daya dukung tanah yang diijinkan adalah lebih dari 0,71 kg/cm² sampai 1,20 kg/cm², sudut frustum 10° dan berat jenis tanah sekitar 1600 kg/m³.

d. Fondasi kelas 4a

Fondasi kelas 4a adalah fondasi telapak, digunakan untuk kondisi tanah batuan lunak (batuan non homogen), muka air tanah dibawah dasar fondasi, dengan daya dukung tanah yang diijinkan adalah lebih dari 5,01 kg/cm² sampai 8,01 kg/cm², sudut frustum 30°, berat jenis tanah 2000 kg/m³.

e. Fondasi kelas 4b

Fondasi kelas 4b adalah fondasi blok dengan atau tanpa ankur, digunakan untuk kondisi batuan keras (batuan homogen), muka air tanah dibawah dasar fondasi, dengan daya dukung tanah yang diijinkan lebih dari 8,01 kg/cm², sudut frustum 0°, berat jenis tanah 2500 kg/m³.

f. Fondasi kelas 5

Fondasi kelas 5 adalah fondasi telapak atau fondasi rakit, digunakan untuk kondisi tanah yang buruk, muka air tanah bervariasi, dengan daya dukung tanah yang diijinkan lebih dari 0,51 kg/cm² sampai 0,70 kg/cm², sudut frustum 0°, berat jenis tanah 1950 kg/m³ (kondisi basah) untuk perhitungan kompresi dan 950 kg/m³ untuk perhitungan Uplift.

g. Fondasi kelas 6

Fondasi kelas 6 adalah fondasi tiang, digunakan untuk kondisi tanah sangat buruk, muka air tanah bervariasi, dengan daya dukung tanah yang diijinkan kurang dari atau sama dengan 0,50 kg/cm², sudut frustum 0°, berat jenis tanah 1950 kg/m³ (kondisi basah) untuk perhitungan kompresi dan 950 kg/m³ untuk perhitungan uplift.

Fondasi Tiang dapat berupa material beton bertulang atau material lainnya namun harus mendapat persetujuan dari Direksi Pekerjaan. Fondasi tiang digunakan pada muka air tanah yang rendah (fondasi pada kondisi terendam air)

h. Fondasi Kelas 7

Fondasi kelas 7 adalah fondasi telapak, digunakan untuk kondisi tanah normal, muka air tanah bervariasi, dengan daya dukung tanah yang diijinkan adalah lebih dari 0,70 kg/cm² sampai 5,00 kg/cm², sudut frustum 0°, berat jenis tanah 1600 kg/m³ (kondisi basah) untuk perhitungan kompresi dan 950 kg/m³ untuk perhitungan uplift.

Tie beam digunakan pada Fondasi dangkal dan dalam guna mengurangi penurunan antara kaki tower dimana inersia tie beam harus sama atau lebih besar dibanding inersia chimney.

2.2.3 Stabilitas Fondasi

2.2.3.1 Stabilitas Tarik

Kebutuhan kapasitas tarik ditentukan berdasarkan dari berat Fondasi (W_f), berat dari tanah yang terangkat di atas fondasi (W_s), dan beban tarik (V_u), serta faktor keamanan (S_{Fu}).

$$S_{Fu} \cdot V_u \leq W_f + W_s \dots \dots \dots (2)$$

Di mana besaran W_f and W_s adalah merupakan fungsi dari D dan B , sehingga nilai B dapat diambil berdasarkan varian dari nilai D .

2.2.3.2 Kapasitas Daya Dukung

Kebutuhan Tekanan maksimum dan minimum dari tanah secara desain bentuk persegi (bujur sangkar) adalah sebagai berikut:

$$q_{max} = \frac{Vc}{1 + \frac{6e}{B}} \leq q_{ult \text{ or } q_{all}} \dots \dots \dots (3)$$

$$q_{min} = \frac{Vc}{1 - \frac{6e}{B}} \geq 0 \dots \dots \dots (4)$$

Dimana beban tekan Vc bergantung pada rentang dari nilai kedalaman fondasi (D) dan lebar Fondasi (B). Dengan nilai q.ult atau q.all yang diketahui, dan dengan nilai rentang D, lebar Fondasi yang bersangkutan dapat diperoleh dan e adalah jarak dari permukaan tanah.

Nilai qc untuk nilai rentang D yang diketahui dapat dihitung pada rumus berikut:

$$q_c = 1,5 q_{all} N_k + \sigma_{ov} \dots \dots \dots (5)$$

Atau

$$q_c = 0,5 q_{ult} N_k + \sigma_{ov} \dots \dots \dots (6)$$

Pada persamaan (5) dan (6), faktor keamanan dapat diambil sebesar 3, σ_{ov} adalah tekanan tanah di atas elevasi tanah dan nilai Nk dapat diambil berdasarkan pengalaman.

2.2.3.3 Stabilitas Momen Guling

Kondisi pembebanan tarik merupakan kondisi yang menentukan untuk stabilitas momen guling.

$$SF_m D H_u \leq \frac{1}{2} B V_{tu} + \frac{1}{6} \gamma_s b c D^3 K_e \dots \dots \dots (7)$$

Di mana besaran Wf and Ws adalah merupakan fungsi dari D dan B, sehingga Di mana SFm adalah faktor keamanan untuk stabilitas momen guling dan γ_s adalah berat jenis tanah.

2.2.3.4 Stabilitas Gelincir

Secara umum, stabilitas gelincir ditentukan oleh beban tarik, di mana beban tekan vertikal (Vtu) adalah minimum. Maka dari itu, tahanan gelincir terhadap beban lateral (Hu) diberikan oleh friksi antara dasar fondasi dengan tanah, dan juga tahanan lateral dari tekanan tanah pasif.

$$SF_s H_u \leq f V_{tu} + 0,5 \gamma_s b c D^2 K_e \dots \dots \dots (8)$$

Di mana b_c adalah lebar dari fondasi chimney, dengan K_e adalah tekanan tanah efektif = $K_p - K_a$, dan SF_s adalah faktor keamanan untuk gelincir. V_{tu} merupakan fungsi dari B dan D . Koefisien friksi (f) dan sudut geser dalam diambil dengan suatu nilai yang ditentukan sebelumnya.

2.2.3.5 Diagram Interaksi

Secara Diagram interaksi adalah kurva yang merepresentasikan kemungkinan kombinasi dari momen dan beban aksial, di mana dapat menyebabkan kegagalan pada suatu penampang. Hampir seluruh elemen tekan pada struktur beton mengalami momen dan beban aksial secara bersamaan. Hal ini dapat disebabkan oleh pergeseran beban pada kolom, atau dapat dihasilkan oleh momen tak seimbang pada ujung balok yang ditahan oleh kolom. Untuk mengembangkan diagram interaksi pada kolom beton, ada beberapa titik kontrol yang perlu diperhitungkan. Titik-titik tersebut ditunjukkan pada bagian berikut ini.

2.2.3.6 Tekan Murni

Kondisi tekan murni dihitung berdasarkan kuat tekan nominal pada eksentrisitas nol.

$$P_o = 0,85f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \dots \dots \dots (9)$$

2.2.3.7 Tarik Murni

Kondisi tarik murni dihitung berdasarkan kekuatan dalam tarik murni dengan asumsi bahwapenampang mengalami *crack* total, dan mengalami regangan setidaknya sama dengan regangan leleh tarik.

$$P_{nt} = f_y A_{st} \dots \dots \dots (10)$$

2.2.3.8 Kondisi Seimbang

Distribusi regangan akan dikatakan seimbang dan dibatasi oleh batasan regangan tekan. Titik ini menandakan perubahan dari kegagalan tekan, berasal dari serat tekan hancur pada penampang, hingga kegagalan tarik yang diawali oleh kelelahan pada tulangan longitudinal. Titik ini juga menandakan mulainya zona transisi untuk ϕ (faktor reduksi) pada kolom di mana ϕ meningkat dari 0,65 (atau 0,75 untuk kolom spiral) hingga 0,90.

2.2.3.9 Lentur Murni

Titik ini berkaitan dengan kondisi di mana kapasitas aksial nominal, P_n , adalah sama dengan nol. Prosedur iteratif digunakan untuk menentukan kapasitas momen nominal.

2.2.3.10 Regangan Tulangan pada Serat Tarik = 0 ($\epsilon_s = f_s = 0$)

Regangan ϵ_s adalah nol pada lapisan tarik baja yang paling besar. Kondisi ini dipertimbangkan saat menghitung diagram interaksi karena titik ini menandakan perubahan dari diperbolehkannya lap splices (sambungan lewatan) pada seluruh tulangan longitudinal, hingga kebutuhan yang lebih ketat untuk lap splices tarik.

2.2.3.11 Regangan Tulangan pada Serat Tarik = 0,005 ($\epsilon_s = 0,005$)

Titik ini berkaitan dengan batasan regangan tarik sebesar 0,005. Batasan ini merupakan regangan pada batas tarik dari zona transisi untuk ϕ , di mana digunakan untuk menentukan penampang yang dikontrol oleh tarik.

2.2.3.12 Analisis Lentur Biaksial

Desain dan analisis kolom beton bertulang dengan lentur biaksial merupakan hal yang sulit. Hal ini dikarenakan perlu adanya prosedur penyesuaian untuk menentukan kemiringan dan kedalaman dari garis normal yang memenuhi kondisi kesetimbangan.

Metode pendekatan untuk analisis dan desain biaksial lentur yang paling populer adalah yang diungkapkan Bresler (1960). Metode yang diusulkan Bresler menyederhanakan permasalahan lentur biaksial ke dalam *Reciprocal Load Method* dan *Load Contour Method*.

Bresler's Reciprocal Load Method adalah persamaan yang diturunkan dari geometri bidangpersamaan. Prosedur ini dapat digunakan dengan akurat untuk desain jikalau $P_n \geq 0,1 P_o$.

$$\frac{1}{P_n} = \frac{1}{P_{ux}} + \frac{1}{P_{uy}} - \frac{1}{P_o} \dots \dots \dots (11)$$

Dengan:

P_n : Beban lentur biaksial terfaktor

P_{nx} : Beban terfaktor *uniaksial load* saat beban eksentrisitas e_y dan $e_x = 0$

P_{ny} : Beban terfaktor *uniaksial load* saat beban eksentrisitas e_x dan $e_y = 0$

P_n : Beban aksial terfaktor $e_x = e_y = 0$

Bresler's Load Contour Method adalah persamaan yang menggambarkan kurva kegagalan permukaan pada nilai gaya aksial konstan. Bentuk umum kurva ini didekati dengan persamaan interaksi tak berdimensi. Jika $P_n < 0,1 P_o$, maka lebih akurat dengan mengabaikan gaya aksial seluruhnya dan menghitung lentur biaksial saja. (*Bresler's Load Contour Method*)

$$\frac{M_{ux}}{M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ny}} \leq 1 \dots \dots \dots (12)$$

Dengan:

M_{ux} = P_{uey} : Momen terfaktor pada sumbu x

M_{uy} = P_{uex} : Momen terfaktor pada sumbu y

M_{nx} : Kekuatan momen *uniaksial* pada sumbu x

M_{ny} : Kekuatan momen *uniaksial* pada sumbu y

2.2.3.13 Penurunan Fondasi Dangkal

Batasan penurunan total berdasarkan diambil sebesar 5 cm dan perbedaan penurunannya diambil sebesar jarak antara kaki tower dibagi 150. Penurunan Fondasi tapak dapat dibedakan menurut jenis tanah dasarnya, yaitu tanah (1) kohesif dan (2) non-kohesif. Pada tanah kohesif dapat terjadi dua (2) kemungkinan penurunan, yaitu penurunan elastis dan penurunan konsolidasi. Penurunan elastis adalah penurunan segera akibat pembebanan pada tanah, sedangkan penurunan konsolidasi terjadi dalam jangka waktu yang lebih lama, disebabkan oleh proses kompresi (pemampatan) volume tanah.

a. Tanah Non-Kohesif

Pada tanah non-kohesif, maka total penurunan tanah dapat diperhitungkan dengan menggunakan penurunan segera berdasarkan Meyerhoff (1965) sebagai berikut:

$$S_t = \frac{\Delta p H}{2q_c} \dots \dots \dots (13)$$

Dengan:

Δp = besar tekanan pada dasar fondasi akibat beban vertikal

H = tebal lapisan di bawah fondasi hingga 2B

q_c = tahanan ujung konus

b. Tanah Kohesif

- Penurunan elastis (penurunan segera/ *immediate settlement*)

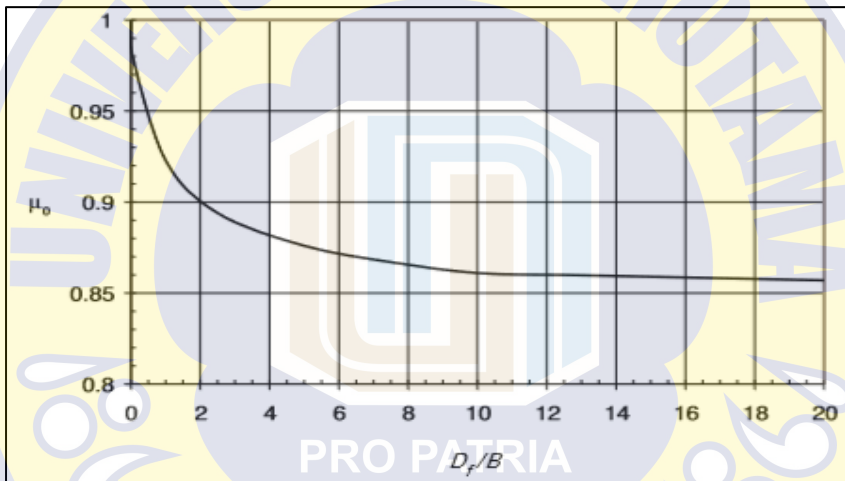
Penurunan elastis (s_i) dapat dihitung dengan menggunakan teori elastisitas umum dan faktor pengaruh berdasarkan Janbu (1963), Christian and Carrier (1978), dan Tomlinson (1977), di mana:

$$s_i = \mu_0 \cdot \mu_1 \frac{\Delta p H}{2q_c} \dots \dots \dots (14)$$

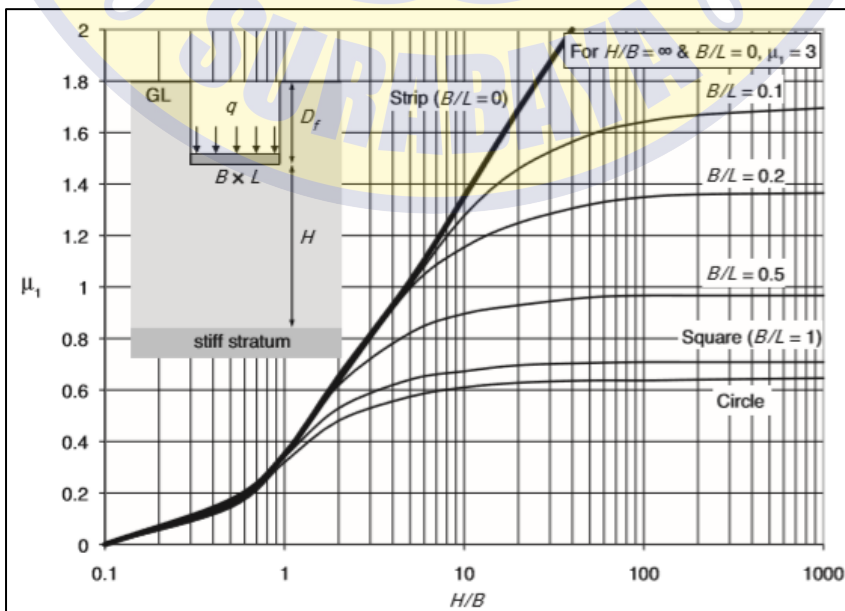
Dengan:

$\mu_0 = 0,93-0,94$ untuk D/B mendekati 1, seperti pada Gambar 2.2

$\mu_1 = 0,5$ untuk $H/B = 2$, seperti pada Gambar 2.3



Gambar 2.2 Besar Nilai Faktor Pengaruh μ_0 (Christian and Carrier, 1978)



Gambar 2.3 Besar Nilai Faktor Pengaruh μ_1 (Christian and Carrier, 1978)

• **Penurunan Konsolidasi**

Penurunan konsolidasi (s_c) diperhitungkan dengan menggunakan teori konsolidasi 1 dimensi berdasarkan Terzaghi (1967), dengan perumusan sebagai berikut:

$$S_c = mv \Delta p H \dots \dots \dots (15)$$

Dengan:

mv = koefisien perubahan volume = $1/\alpha q_c$

α = 5, cukup konservatif (CPT Guide Fugro, 2004)

H = tebal lapisan di bawah Fondasi hingga $2B$

2.2.3.14 Varian Fondasi Dangkal

Varian desain fondasi untuk tower transmisi 150 kV, 275 kV dan 500 kV yang telah dibakukan adalah beberapa atau seluruh konfigurasi desain seperti pada tabel dibawah yang dapat memenuhi persyaratan kriteria desain fondasi.

Tabel 2.3 Varian Fondasi

No	Kelas Fondasi	Kedalaman Fondasi (m)
1	1A	2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0
2	1B	2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0
3	2A	2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0
4	2B	2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0
5	3A	2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0
6	3B	2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0
7	4A	2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0
8	7	2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0

(Sumber: Standar PLN, 2021)