

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Struktur Pondasi *Pile Cap*

Karena tidak adanya tanah yang ekspansif, tumpukan penutup untuk konstruksi lepas pantai sering kali dibuat dari baja. Biasanya, tiang pancang dibuat dari beton bertulang dan disuntikkan langsung ke dalam tanah. Bagian atas tumpukan mengalami reaksi (Hadi & Yasin, 2023).

2.2 Elemen Struktur

Komponen struktur utama suatu pondasi adalah gaya-gaya internal yang bekerja di dalam elemen struktur (Rani Anggraeni et al., 2020)

2.2.1 Gaya Lintang

Gaya lintang adalah gaya yang tegak lurus terhadap arah panjang batang pada suatu penampang, sehingga menyebabkan suatu bagian berpindah ke atas atau ke bawah terhadap bagian lainnya.

2.2.2 Momen

Gaya dalam yang menahan deformasi sumbu batang. Jika suatu gaya diterapkan pada jarak tertentu dari suatu titik, maka timbul hambatan terhadap momen, maka akan terjadi momen. Nilai momen dikalikan dengan jarak.

2.2.3 Gaya Normal

Gaya normal adalah gaya dalam yang mempunyai garis kerja yang sejajar dengan penampang batang atau yang bekerja secara konsisten dengan batang.

2.3 Bangunan Tahan Gempa

SNI gempa Indonesia ini didasarkan pada SNI gempa yang berlaku, SNI 1726-2019 (BSN, 2002a), dan menganggap pembebanan gempa kuat. Pada prinsipnya struktur bangunan tahan gempa dapat dirancang untuk Struktur dirancang untuk menahan beban gempa, yang dimitigasi oleh faktor modifikasi respons struktur (faktor R). Faktor R adalah metrik yang mengukur keuletan struktural, dalam tata cara perencanaan gempa yang berpedoman pada SNI. Elemen spesifik ini biasanya merupakan elemen struktur yang menunjukkan perilaku plastifikasi ulet dan tidak rentan terhadap keruntuhan.

Faktor kekuatan berlebih harus diterapkan ketika merancang komponen struktur yang diharapkan dapat mempertahankan elastisitasnya. Untuk mencegahantisipasi keruntuhan struktur bangunan pada saat terjadi gempa bumi yang hebat, Untuk menjaga stabilitas, perlu diberikan perkuatan yang cukup pada komponen struktur bangunan yang mengalami plastifikasi, bahkan setelah mengalami inelastisitas yang parah. Distorsi. SNI 1726-2019 memberikan spesifikasi kebutuhan spesifik konstruksi beton (BSN, 2002 b) pada dasarnya dibedakan berdasarkan tingkat risiko gempa di wilayah dimana struktur tersebut berada. Persyaratan detail perkuatan yang harus dipenuhi pada struktur bangunan di suatu kawasan semakin ketat seiring dengan meningkatnya risiko gempa bumi (Iswandi Imran ITB-2020).

Tabel 2. 1 Ketentuan Pasal 23.2 SNI 1726-2019

| Resiko Gempa | Jenis Struktur yang Dapat Digunakan | Faktor Modifikasi Respons (R) |
|---------------------|--|--------------------------------------|
| Rendah | Sistem Rangka Pemikul Momen | |
| | - SRPMB (Bab 3 – Bab 20) | 3-3,5 |
| | - SRPMM (Pasal 23.10) | 5-5,5 |
| | - SRPMK (Pasal 23.3 - 23.5) | 8-8,5 |
| | Sistem Dinding Struktural | |
| | - SDSB (Bab 3 – Bab 20) | 4-4,5 |
| - SDSK (Pasal 23.6) | 5,5-6,5 | |
| Menengah | Sistem Rangka Pemikul Momen | |
| | - SRPMM | 5-5,5 |
| | - SRPMK | 8-8,5 |
| | Sistem Rangka Dinding Struktural | |
| | - SDSB | 4-4,5 |
| | - SDSK | 5,5-6,5 |

Sumber : SNI 03-1726-2019

2.3.1 Faktor Prioritas Struktur Bangunan dan Kategori Risiko

SNI 1726-2019, juga dikenal sebagai "perencanaan ketahanan gempa", mengatur cara merancang bangunan untuk tahan gempa. Proyeksi dampak gempa bumi terhadap berbagai kategori risiko struktural dan non-

struktural harus dikalikan dengan faktor-faktor prioritas yang diberikan pada Tabel 2.2. Jika terdapat struktur bangunan dengan kategori risiko IV, struktur bangunan di sekitarnya harus direncanakan dengan tepat jika diperlukan untuk mengoperasikan bangunan yang berdekatan (Budiono et al., 2016).

Tabel 2. 2 Kategori Risiko Beban Gempa Bangunan dan Non Bangunan

| Jenis Pemanfaatan | Kategori Risiko |
|--|-----------------|
| <p>Konstruksi Struktur dan non-struktur berikut, antara lain, memberikan ancaman paling kecil terhadap kehidupan manusia jika terjadi kegagalan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas yang berkaitan dengan pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Infrastruktur sementara - Fasilitas penyimpanan - Pos penjaga dan bangunan kecil lainnya | I |
| <p>Setiap struktur, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, II, III, dan IV, terdiri antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kawasan Perumahan - Bangunan komersial yang terdiri dari ruko dan rukan - Istilah "pasar" mengacu pada sistem ekonomi di mana barang dan jasa diperjualbelikan. <p>Struktur komersial</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kompleks perumahan yang terdiri dari beberapa unit, sering disebut juga dengan gedung apartemen atau rumah susun. - Kompleks ritel - Struktur komersial/industri - Fasilitas produksi - Pabrik adalah suatu bangunan atau kompleks tempat barang diproduksi atau diproses dalam skala besar. | II |

Struktur dan non struktur yang memberikan ancaman berarti terhadap kehidupan manusia jika terjadi kegagalan antara lain:

- Pusat konferensi
- Arena
- Fasilitas medis tanpa operasi atau gawat darurat
- Tempat penitipan anak
- Fasilitas pemasyarakatan - Fasilitas tempat tinggal senior

Kerugian bangunan dan fasilitas lain yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV dapat menyebabkan kerugian finansial yang signifikan dan/atau gangguan yang signifikan terhadap rutinitas sehari-hari seseorang. Di antaranya, tetapi tidak terbatas pada:

- Fasilitas pembangkit listrik konvensional
- Infrastruktur pengelolaan air
- Fasilitas untuk pengelolaan dan pembuangan limbah
- Pusat telekomunikasi

Struktur dan non-struktur yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, seperti fasilitas produksi, metode, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia, limbah, atau bahan peledak, termasuk senyawa beracun atau bahan peledak yang mudah meledak. dibuat oleh pemerintah dan sangat membahayakan masyarakat jika terjadi kebocoran.

Istilah "fasilitas penting" mengacu pada struktur fisik dan entitas non-fisik, yang mencakup berbagai macam barang, seperti bangunan dan struktur terkait lainnya.

- Institusi pendidikan dan gedung sekolah - Bangunan megah
- Perusahaan medis dan rumah sakit yang dilengkapi dengan unit gawat darurat dan ruang operasi
- Fasilitas kantor pemadam kebakaran, ambulans, dan polisi, serta garasi untuk kendaraan darurat lainnya
- Penyediaan perumahan sementara dalam keadaan darurat seperti gempa bumi, angin topan, dan kejadian bencana lainnya - Pembentukan fasilitas kesiapan darurat, sistem komunikasi, pusat operasional, dan infrastruktur lainnya yang didedikasikan untuk tanggap darurat
- Infrastruktur penting dan fasilitas pembangkit listrik yang diperlukan pada saat krisis
- Dalam keadaan darurat, bangunan tambahan seperti menara telepon, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, gedung pembangkit listrik, dan tangki air pemadam kebakaran atau bangunan perumahan, bangunan pendukung air, dan barang atau peralatan pemadam kebakaran harus dipertahankan secara efektif.

Kategori risiko IV mencakup bangunan dan non-bangunan yang penting bagi fungsinya struktur

IV

| | |
|-------------------|--|
| bangunan lainnya. | |
|-------------------|--|

Sumber : SNI 1726-2019

Tabel 2. 3 Faktor Keutamaan I untuk Berbagai Kategori Gedung SNI 1726-2019

| Kategori Risiko | Faktor Keutamaan Gempa, I_e |
|-----------------|-------------------------------|
| I atau II | 1,0 |
| III | 1,25 |
| IV | 1,50 |

Sumber : SNI 1726-2019

Tabel 2. 4 Faktor R, Cd, dan Ω_0 Untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

| Sistem Penahan Gaya Seismik | Koefisien Modifikasi Respons, R | Faktor kuat lebih sistem, Ω_0 | Faktor pembesaran defleksi, Cd | Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, hn (m) | | | | |
|--|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|---|----|----|----|----|
| | | | | Kategori Desain Seismik | | | | |
| | | | | B | C | D | E | F |
| A. Sistem dinding penumpu | | | | | | | | |
| 1. Dinding geser beton bertulang khusus | 5 | 2,5 | 5 | TB | TB | 48 | 48 | 30 |
| 2. Dinding geser beton bertulang biasa | 4 | 2,5 | 4 | TB | TB | TI | TI | TI |
| 3. Dinding geser beton polos didetail | 2 | 2,5 | 2 | TB | TI | TI | TI | TI |
| 4. Dinding geser beton polos biasa | 1,5 | 2,5 | 1,5 | TB | TI | TI | TI | TI |
| B. Sistem rangka bangunan | | | | | | | | |
| 1. Dinding geser beton bertulang khusus | 6 | 2,5 | 5 | TB | TB | 48 | 48 | 30 |
| 2. Dinding geser beton bertulang biasa | 5 | 2,5 | 4,5 | TB | TB | TI | TI | TI |
| 3. Dinding geser beton polos didetail | 2 | 2,5 | 2 | TB | TI | TI | TI | TI |
| 4. Dinding geser beton polos biasa | 1,5 | 2,5 | 1,5 | TB | TI | TI | TI | TI |
| C. Sistem rangka pemikul momen | | | | | | | | |
| 1. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus | 8 | 3 | 5,5 | TB | TB | TB | TB | TB |
| 2. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah | 5 | 3 | 4,5 | TB | TB | TI | TI | TI |
| 3. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa | 3 | 3 | 2,5 | TB | TI | TI | TI | TI |
| D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya gempa yang ditetapkan | | | | | | | | |
| 1. Dinding geser beton bertulang khusus | 7 | 2,5 | 4 | TB | TB | TB | TB | TB |
| 2. Dinding geser beton bertulang biasa | 6 | 2,5 | 5 | TB | TB | TI | TI | TI |
| E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya gempa yang ditetapkan | | | | | | | | |
| 1. Dinding geser beton bertulang khusus | 6,5 | 2,5 | 5 | TB | TB | 48 | 30 | 30 |
| 2. Dinding geser beton bertulang biasa | 3 | 3 | 2,5 | TB | 48 | TI | TI | TI |

(Sumber Table 9, SNI 1726:2019)

2.4 Pembebanan Struktur

Beban vertikal dan beban horizontal dihitung sebagai beban operasional. Beban horizontal, seperti beban angin dan beban gempa, adalah dua contoh yang umum. Struktur portal dirancang untuk menahan beban horizontal akibat gempa semata, karena beban gempa lebih besar dibandingkan beban angin ketika merancang struktur beton bertulang. Beban vertikal mencakup massa aktif dan inert. Analisis beban akan digunakan untuk mengembangkan strategi konstruksi agar dapat menahan beban, sehingga menjamin keamanan penggunaannya (Akbar et al., 2018).

Suatu struktur dikenakan gaya eksternal yang disebut “beban”. Memperkirakan besarnya beban pada suatu struktur adalah proses subjektif, dan menetapkan bagaimana beban didistribusikan memerlukan pembuatan asumsi dan penggunaan metode tertentu. Setelah memperkirakan semua tegangan yang diberikan pada suatu struktur, tugas selanjutnya adalah menentukan kombinasi beban yang mempunyai dampak terbesar pada struktur.

Piling cap bertugas memindahkan beban gaya dari struktur kolom atas ke struktur pondasi terdalam. Selain itu, penutup tiang digunakan untuk menghubungkan kelompok tiang, memastikan bahwa gaya yang dihasilkan oleh kolom didistribusikan secara merata ke seluruh pondasi. Perhatian harus diberikan pada pondasi, termasuk pemasangan tiang pancang, untuk menjamin struktur bangunan kokoh dan tahan lama.

2.4.1 Beban Mati

Istilah "beban mati" mengacu pada beban statis atau tidak berubah yang menetap di lokasi yang sama sepanjang umur bangunan. Beban mati mengacu pada berat struktur itu sendiri, dan dapat dihitung secara akurat dengan mempertimbangkan berat jenis, bentuk, dan ukuran bahan yang digunakan. Oleh karena itu, massa dinding, lantai, pilar, langit-langit, dan komponen struktur lainnya dikategorikan sebagai beban inert. Berat struktur rangka, sambungan mur-baut, dan sambungan pelat membentuk beban inert flyover.

2.4.2 Beban Hidup

Aktivitas suatu bangunan menimbulkan beban hidup. Fungsi bangunan sendiri menjadi penyebab tidak menentunya sifat aktivitas yang timbul pada bangunan. Scheller (1989) menjelaskan dalam bukunya bahwa beban hunian adalah beban yang ditimbulkan oleh isi benda-benda di dalam atau pada suatu bangunan.

2.4.3 Beban Angin

Beban angin, menurut Bab I, Pasal 1, Ayat 3, PPIUG 1983, adalah gaya yang terjadi pada suatu struktur atau komponennya sebagai akibat dari perubahan tekanan udara. Sesuai dengan SNI 1727-2013 tentang Beban Minimum untuk Desain Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya, kecepatan angin dasar, faktor

arah angin, kategori paparan, faktor topografi, faktor pengaruh hembusan angin, koefisien tekanan internal, koefisien tekanan eksternal, dan koefisien paparan adalah beberapa faktor yang menentukan besarnya beban angin pada suatu bangunan.

2.4.4 Beban Gempa

SNI 1726-2019 memberikan gambaran menyeluruh mengenai tahapan analisis gempa untuk struktur. Keamanan struktur dalam menanggapi pembebanan gempa akan ditentukan pada tahap ini dengan membandingkan deviasi horizontal resultan dengan deviasi horizontal yang diijinkan. Sistem struktur yang digunakan pada suatu bangunan juga dinilai untuk mengetahui apakah mampu menahan beban lateral akibat gempa melalui analisis gempa.

2.4.5 Kombinasi Pembebanan

Dalam SNI-1726-2019, bagian 4.2 menetapkan kombinasi beban yang harus dipertimbangkan saat membangun struktur, seperti gedung. Kombinasi beban ini didasarkan pada Kombinasi Beban Metode Ultimate atau Kombinasi Beban Metode Stres yang Diizinkan. Hal ini termasuk menggabungkan beban terfaktor dan beban operasi.

a. Kombinasi Beban Metode Utama atau metode ultimate

Untuk kombinasi tertentu, struktur, komponen struktur, dan elemen pondasi harus dirancang dengan kekuatan rencana yang setara atau lebih besar dari dampak beban yang dihitung.

- 1) $1,4D$
- 2) $1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
- 3) $1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
- 4) $1,2D + 1,0W + L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$
- 5) $1,2D + 1,0E + L$
- 6) $0,9D + 1,0W$
- 7) $0,9D + 1,0E$

b. Kombinasi Beban untuk Metode Tegangan yang Diizinkan

Tegangan-tegangan yang disebutkan di bawah ini akan dihitung dalam kombinasi selanjutnya untuk desain struktur, komponen struktur, dan elemen pondasi, sebagaimana ditentukan dengan metode tegangan

yang diizinkan:

- 1) D
- 2) D + L 3
- 3) D + (Lr atau R)
- 4) D + 0,75L + 0,75(Lr atau R)
- 5) D + (0,6W atau 0,7E)
- 6) D + 0,75 (0,6W atau 0,7E) + 0,75L + 0,75 (Lr atau R) 0,6D + 0,6W
- 7) 0,6D + 0,7E

Untuk beban tidak aktif D, nilai faktor yang sama dengan faktor beban digunakan pada kombinasi 1-6 atau 8.

Pengaruh beban H pada struktur perlu diperhatikan dengan cara sebagai berikut:

- 1) Dalam kasus di mana beban H meningkatkan tumbukan vertikal beban utama, besar tumbukan H ditentukan dengan menggunakan faktor beban 1,0.
- 2) Dalam kasus lain, faktor beban digunakan sebesar 0,6 (jika beban bersifat permanen) atau 0 dalam kasus lain.

Tekanan angin dan seismik merupakan faktor paling penting yang memerlukan evaluasi; namun, hal tersebut tidak memerlukan evaluasi secara simultan. Definisi khusus mengenai pengaruh pembebanan gempa E dapat dilihat pada pasal 10.4 SNI 1726:2019.

2.5 Pengaruh Beban Gempa

Penting untuk mengkaji dampak paling penting dari beban angin dan gempa, meskipun kedua beban ini tidak perlu dianalisis pada saat yang bersamaan. Dengan mencermati SNI 1726:2019 pasal 10.4 yang menguraikan definisi pasti pengaruh pembebanan seismik E. Kondisi berikut harus digunakan untuk menentukan dampak beban gempa E:

1. Penggunaan untuk kombinasi beban 5, maka ditentukan E sebagai berikut:

$$E = E_h + E_v \text{ (Pers.22 SNI 1726:2019)}$$

2. Penggunaan untuk kombinasi 7, maka ditentukan E sebagai berikut:

$$E = E_h - E_v \text{ (Pers. 23 SNI 1726:2019)}$$

Dimana:

E_h = pengaruh beban gempa horizontal = ρQ_E (Pers. 23 SNI 1726:2019)

E_v = pengaruh beban gempa horizontal = $0,2S_{DS}D$ (Pers. 23 SNI 1726:2019)

ρ = factor redundansi dan dapat diambil dengan nilai 1,0 untuk KDS A, B, C. sedangkan untuk KDS D, E, dan F adalah 1,3. Tidak perlu diambil lebih besar 1,3.

S_{DS} = parameter percepatan spektru, yang merupakan tanggapan desain selama periode waktu yang singkat.

Terkecuali pengaruh beban gempa vertical E diijinkan untuk ditetapkan = 0 dengan melihat kondisi berikut:

1. Pada persamaan 22 dan 23 dimana $SDS \leq 0,125$
2. Dalam persamaan 23, persyaratan permukaan kontak tanah-struktur untuk pondasi ditentukan.

Maka kombinasi dasar guna desain kekuatan:

1. $(1,2 + 0,2 SDS) D + \rho Q_E + L$
2. $(0,9 - 0,2 SDS) D + \rho Q_E + 1,6 H$

Kombinasi dasar untuk desain tegangan ijin:

1. $(1,0 + 0,14 SDS) D + H + F + 0,7 \rho Q_E$
2. $(1,0 + 0,10 SDS) D + H + F + 0,525 \rho Q_E + 0,75L + 0,75 (Lr \text{ atau } R)$
3. $(0,6 - 0,14 SDS) D + 0,7 \rho Q_E + H$

2.6 Menentukan Klasifikasi Situs

Tujuannya adalah untuk menetapkan standar desain gempa suatu struktur atau memastikan amplifikasi percepatan gempa maksimum dengan menetapkan klasifikasi tanah sesuai SNI 1726:2019 pasal 5.1. Profesional desain geoteknik harus memiliki kemampuan untuk membedakan kelas lokasi tanah dan memiliki pemahaman mendasar tentang penyelidikan tanah yang dilakukan baik di lapangan maupun di laboratorium. Jika tidak ada data tanah spesifik lokasi yang dapat diakses hingga kedalaman 30 meter, disarankan untuk meminta insinyur geoteknik yang berkualifikasi untuk memperkirakan parameter tanah. Klasifikasi lokasi SA (batuan keras) dan SB (batuan) tidak dapat ditentukan apabila ketebalan lapisan tanah alami ditambah lapisan permukaan buatan pada pondasi melebihi 3 meter. Tabel berikut menyajikan matriks kategorisasi situs berdasarkan spesifikasi yang dituangkan dalam pasal 5.3 SNI 1726:2019.

Tabel 2. 5 klasifikasi tanah

| Kelas Situs | Vs (m/detik) | N atau Nch | Su (Kpa) |
|--|---|--------------|---------------|
| SA (batuan keras) | >1500 | N/A | N/A |
| SB (batuan) | 750 sampai 1500 | N/A | N/A |
| SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak) | 350 sampai 750 | >50 | ≥100 |
| SD (tanah sedang) | 175 sampai 350 | 15 sampai 50 | 50 sampai 100 |
| SE (tanah lunak) | < 175 | < 15 | < 50 |
| | atau profil tanah apa pun yang memuat tanah dengan ukuran minimal tiga meter dan memiliki salah satu karakteristik berikut: | | |
| | 1 Indeks plastisitas, $PI > 20$, | | |
| | 2 Kadar air, $w \geq 40\%$, | | |
| | 3 Kuat geser niralir $\bar{u} < 25$ kPa | | |
| SF (tanah khusus, yang sesuai dengan 6.10.1, memerlukan studi geoteknik tertentu dan analisis respons spesifik lokasi) | Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih fitur berikut: | | |
| | - Rawan kegagalan atau bencana akibat pembebanan gempa, seperti potensi likuifaksi dan sensitifitas tanah liat. | | |
| | - tanah tersedimentasi lemah | | |
| | - Lempung dengan ketebalan H lebih dari 3m biasanya sangat organik dan gambut. | | |
| | - m) | | |
| | - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan H > 7,5 m dengan Indeks Plastisitas $PI \geq 75$) | | |
| | - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan H > 35 m dengan $\bar{u} < 50$ kPa | | |

2.6.1 Menentukan Koefisien Situs Tanah

Untuk menghitung parameter respon spektral percepatan gempa (MCER) di permukaan tanah, faktor amplifikasi getaran periode pendek (F_e) dan faktor amplifikasi getaran periode satu detik (F_v) diperlukan dengan interval 0,2 dan 1 detik. Tabel 3.2 dan 3.3 memberikan penjelasan rinci tentang kedua faktor amplifikasi. Interpolasi linier dapat dilakukan jika ada nilai perantara antara S_s dan S_l .

Tabel 2. 6 Koefisien situs, F_a

| Kelas Situs | Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER), dengan $T = 0,2$ detik dan S_s , digambarkan pada interval pendek. | | | | |
|-------------|--|-------------|--------------|-------------|-----------------|
| | $S_s \leq 0,25$ | $S_s = 0,5$ | $S_s = 0,75$ | $S_s = 1,0$ | $S_s \geq 1,25$ |
| SA | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SB | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| SC | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| SD | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 |
| SE | 2,5 | 1,7 | 1,2 | 0,9 | 0,9 |
| SF | | | SS^b | | |

(Sumber: SNI 1726:2019 tabel 6)

Tabel 2. 7 Koefisien situs, F_v

| Kelas Situs | Parameter respons spektral percepatan gempa (MCER) digambarkan pada periode $T = 1$ detik, S_t | | | | |
|-------------|--|-------------|-------------|-------------|----------------|
| | $S_t \leq 0,1$ | $S_t = 0,2$ | $S_t = 0,3$ | $S_t = 0,4$ | $S_t \geq 0,5$ |
| SA | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SB | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| SC | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 |
| SD | 2,4 | 2 | 1,8 | 1,6 | 1,5 |
| SE | 3,5 | 3,2 | 2,8 | 2,4 | 2,4 |
| SF | | | SS^b | | |

Faktor amplifikasi diekstraksi dari tabel 2.6 dan 2.7 untuk mendapatkan nilai spektrum respons untuk percepatan singkat (S_{ms}) dan periode 1 detik (S_{ml}) dan kemudian dikoreksi untuk dampak kategorisasi lokasi. Perhitungan parameter respon spektrum didasarkan pada persamaan (2.6) dan (2.7).

$$- S_{ms} = F_a S_s \quad (2.6)$$

$$- S_{ml} = F_v S_l \quad (2.7)$$

2.7 Stabilitas Struktur

Konstruksi yang stabil biasanya mengalami sedikit deformasi akibat beban, dan ketika beban dihilangkan, gaya dalam di dalam struktur cenderung kembali ke konfigurasi awalnya. Ketika beban diterapkan pada struktur yang tidak stabil, deformasi yang dihasilkan seringkali cenderung menjadi lebih buruk jika semakin lama struktur tersebut dibebani. Saat dibebani, bangunan yang tidak stabil dengan cepat dan mudah runtuh total. Selain itu, kelemahan kolom yang disebabkan oleh tekuk atau efek P-Delta dapat mengakibatkan ketidakstabilan struktural.

Stabilitas struktur yang memadai merupakan prasyarat agar suatu struktur dapat mematuhi peraturan dan dianggap dapat diterima untuk dihuni. Stabilitas adalah kemampuan suatu struktur untuk menahan tekanan eksternal tanpa mengalami keruntuhan.

Untuk membangun kerangka kerja yang stabil, ada tiga hal yang dapat dilakukan:

1. Memasang penyangga diagonal struktur (diagonal bracing)
2. Membangun diafragma, atau bidang rangka kaku (diaphragm)
3. Pemasangan koneksi yang kaku (rigid)

Sejumlah kecil potongan harus dimasukkan ke dalam struktur untuk menghasilkan sistem struktur yang stabil. Hal ini dimaksudkan bahwa dengan mendirikan konstruksi yang kokoh dan sesuai, maka akan mampu menahan keruntuhan, mematuhi tingkat deformasi yang disyaratkan, dan memberikan kekuatan pelayanan yang dapat diterima selama pengoperasian.

2.8 Kajian Nilai N-SPT Berdasarkan Data Tanah Sondir (CPT)

Terzaghi (1943) yang dikutip oleh Bowles (1982) menyatakan bahwa persamaan berikut mewakili daya dukung tanah untuk pondasi dangkal:

1. Untuk pondasi berbentuk persegi atau kaki:

$$q_{ult} = 1,3 \cdot c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,4 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

2. Untuk pondasi pijakan (strip) menerus (continous footing)

$$q_{ult} = c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma, \text{ dimana:}$$

c = kohesi tanah (kg/cm²)

q_{ult} = daya dukung tanah pada kondisi “ultimate” atau batas

$$N_c = \text{ctg } \emptyset \left(\frac{a^2}{2 \cos^2(\pi/4 + \emptyset/2)} - 1 \right)$$

$$N_q = \left(\frac{a^2}{2 \cos^2(45^\circ + \emptyset/2)} \right)$$

$$N_\gamma = \frac{1}{2} \text{tg } \emptyset \cdot \left(\frac{K_p \gamma}{\cos^2 \emptyset} - 1 \right)$$

K_p = elemen yang mempengaruhi tekanan tanah pasif.

$$a = e^{(3/4\pi - \emptyset/2) \text{tg } \emptyset}$$

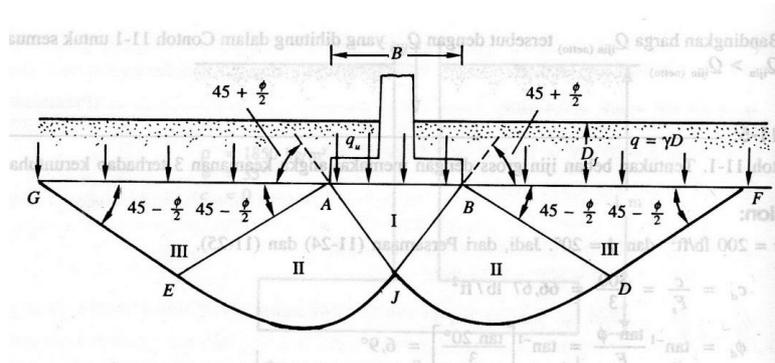
\emptyset = sudut geser tanah (“angle of internal friction”)

$$q = \gamma D_f$$

D_f = kedalaman pondasi

γ = berat volume (“unit weight”) tanah

B = lebar pondasi



Gambar 2. 1 Faktor Daya Dukung Tanah

Bowles (1982) created a table relating the values of N_γ and ϕ . Terzaghi's initial values for ϕ are 34° and 48° (Table 2.8):

Tabel 2. 8 Faktor daya dukung persamaan Terzaghi

| ϕ ,derajad | N_c | N_q | N_γ | $K_{\gamma\gamma}$ |
|-----------------|-------|-------|------------|--------------------|
| 0 | 5,7 | 1,0 | 0,0 | 10,8 |
| 5 | 7,3 | 1,6 | 0,5 | 12,3 |
| 10 | 9,6 | 2,7 | 1,2 | 14,7 |
| 15 | 12,9 | 4,4 | 2,5 | 18,6 |
| 20 | 17,7 | 7,4 | 5,0 | 25,0 |
| 25 | 25,1 | 12,7 | 9,7 | 35,0 |
| 30 | 37,2 | 22,5 | 19,7 | 52,0 |
| 34 | 52,6 | 36,5 | 36,0 | |
| 35 | 57,8 | 41,4 | 42,4 | 82,0 |
| 40 | 95,7 | 81,3 | 100,4 | 141,0 |
| 45 | 172,3 | 173,3 | 297,5 | 298,0 |
| 48 | 258,3 | 287,9 | 780,1 | |
| 50 | 347,5 | 415,1 | 1153,1 | 800,0 |

Das (1985) menyatakan bahwa lanau organik dan tanah berpasir mempunyai nilai nol untuk c . Nilai c berpotensi menjadi 0 untuk tanah lempung yang biasanya terkonsolidasi. Nilai $c > 0$ menunjukkan tanah lempung terkonsolidasi berlebihan. Sudut gesekan terkuras, atau ϕ , adalah nama lain dari sudut gesekan internal. Nilai tanah ϕ disediakan. dalam Das (1985) menyatakan bahwa lanau organik dan tanah berpasir mempunyai nilai nol untuk c . Nilai c berpotensi menjadi 0 untuk tanah lempung yang biasanya terkonsolidasi. Nilai $c > 0$ menunjukkan tanah lempung terkonsolidasi berlebihan. Sudut gesekan terkuras, atau ϕ , adalah nama lain dari sudut gesekan internal. Di bawah ini, pada tabel 2.9, adalah ϕ harga tanah:

Tabel 2. 9 Nilai umum sudut gesek internal untuk situasi pengeringan pada pasir dan lanau

| Tipe tanah | ϕ (derajad) |
|-------------------------------|------------------|
| Pasir:butiran bulat | |
| Renggang/lepas | 27-30 |
| Menengah | 30-35 |
| Padat | 35-38 |
| Pasir:butiran bersudut | |
| Renggang/lepas | 30-35 |
| Menengah | 35-40 |
| Padat | 40-45 |
| Kerikil bercampur pasir | 34-48 |
| Lanau | 26-35 |

2.8.1 Kapasitas Dukung Dari SPT

Uji Penetrasi Standar (SPT) sering digunakan untuk menentukan secara langsung kemampuan menahan beban tanah. Menurut Bowles (1982), diperoleh:

$$q_a = \frac{N}{F_1} K_d ; B \leq F_4$$

$$q_a = \frac{N}{F_2} \left(\frac{B+F_3}{B} \right)^2 ; B > F_4$$

H_p menyatakan jumlah berat maksimum yang dapat ditopang oleh suatu material tanpa melebihi defleksi kompresi sebesar 25 mm. Itu diukur dalam kilopascal (kPa).

$$K_d = 1 + 0,33 \frac{D_f}{B} \leq 1,33$$

Faktor F tercantum sebagai berikut: (Bowles, 1982)

$$F_1 = 0,05 \text{ m}$$

$$F_2 = 0,08 \text{ m}$$

$$F_3 = 0,3 \text{ m}$$

$$F_4 = 1,2 \text{ m}$$

Menurut Perry (1977) yang dikutip oleh Bowles (1982), mengusulkan metode untuk menentukan daya dukung tanah tanpa kohesi sebagai berikut:

$$q_{ult} = 30 N \text{ (kPa) untuk } D_f \leq B$$

N adalah hasil rata-rata dari Uji Penetrasi Standar (SPT) yang dilakukan pada kedalaman yang 0,75 kali lebih besar dari pondasi. Hubungan N_q dan N_γ dihitung ulang menggunakan sudut gesekan internal ϕ yang diberikan oleh N. Persamaan ini kira-kira:

$$\phi = 25 + 28 \sqrt{\frac{N}{\bar{q}}}$$

Simbol \bar{q} menunjukkan kelebihan tekanan yang dihitung pada lokasi tertentu dimana N diperoleh dari Uji Penetrasi Standar (SPT). Das (1985) mengidentifikasi hubungan antara laju penetrasi standar yang disesuaikan, sudut geser internal, dan kepadatan relatif tanah berpasir.

Tabel 2. 10 Estimasi korelasi antara laju penetrasi standar yang dikoreksi, sudut geser internal, dan kepadatan relatif tanah berpasir.

| Angka penetrasi standar yang sudah dikoreksi, N | Kepadatan relative, D_r (%) | Sudut geser dalam, ϕ (derajad) |
|---|-------------------------------|-------------------------------------|
| 0-5 | 0-5 | 26-30 |
| 5-10 | 5-30 | 28-35 |
| 10-30 | 30-60 | 35-42 |
| 30-50 | 60-65 | 38-46 |

Das (1985) telah menyusun sebuah tabel yang menunjukkan hubungan antara kecepatan penetrasi suatu zat dan tingkat kekerasan pada tanah lempung.

Tabel 2. 11 Perhitungan hubungan antara angka penetrasi standar dan kekerasan tanah lempung

| Angka penetrasi standar, N | Kekerasan | Kekuatan unconfined compression, q_u (ton/ft ²) |
|----------------------------|---------------|---|
| 0 | _____ | 0 |
| | Sangat lembek | |
| 2 | _____ | 0,25 |
| | Lembek | |
| 4 | _____ | 0,5 |
| | Agak kaku | |
| 8 | _____ | 1 |
| | Kaku | |
| 16 | _____ | 2 |
| | Sangat kaku | |
| 32 | _____ | 4 |
| >32 | Keras | >4 |

Kishida (1974), sebagaimana dikutip oleh Hardiyatmo (2008), menemukan korelasi antara ϕ dan N untuk tanah berpasir.

$$\phi = \sqrt{20N} + 15^\circ$$

2.8.2 Kapasitas Dukung Dari CPT

Penentuan secara tidak langsung daya dukung sol pada pasir dapat dilakukan dengan menggunakan data CPT (Schmertmann, 1975), sebagaimana dikutip oleh Bowles (1982), yang digunakan untuk memperoleh:

$$N_\gamma = \frac{q_c}{80}$$

Dimana: q_c = tahanan titik kerucut (kPa)

N_γ = faktor daya dukung tercantum pada Tabel 2.8 atau Tabel 2.11 (Bowles, 1982)

Mengingat nilai N_γ , ϕ dapat dihitung ulang.

Meyerhof (1956, 1965) mengemukakan, sebagaimana dikutip oleh Bowles (1982), bahwa daya dukung untuk defleksi kompresi sebesar 25 mm dapat ditentukan dengan mudah menggunakan rumus berikut:

$$q_a = \frac{q_c}{30} \text{ untuk } B \leq F_4$$

$$q_a = \frac{q_c}{50} \left(\frac{B+F_3}{B} \right)^2 \text{ untuk } B > F_4$$

Das (1985) telah membuat tabel, Tabel 2.12, yang menampilkan korelasi antara resistansi ujung kerucut dan angka penetrasi standar (N).

Tabel 2. 12 Hubungan antara resistansi ujung konus (q_c) dan angka penetrasi standar (N) diperkirakan secara kasar

| Bentuk tanah | q_c/N | |
|---------------------------|----------------------------|------------------------------|
| | q_c (kN/m ²) | q_c (ton/ft ²) |
| Pasir halus dan lanau | 150-350 | 1,5-3,5 |
| Pasir halus sampai dengan | 350-500 | 3,5-5,0 |
| Pasir kasar | 500-750 | 5,0-7.5 |
| Kerikil | 750-1500 | 7,5-15,0 |

Dalam kasus tanah kohesif, tahanan berbentuk kerucut (q_c) sering dikaitkan dengan kohesi tak terdrainase (c_u) menggunakan persamaan: $c_u N_c = q_c$ (kg/cm²). Dalam perhitungan, nilai N_c biasanya dipilih antara 15 dan 18, seperti yang dinyatakan oleh Bagemann pada tahun 1965 dan dikutip oleh Hardiyatmo pada tahun 2008.

2.9 Penelitian Terdahulu

| No. | Judul Penelitian, Nama (Peneliti, Publikasi) | Tujuan Penelitian | Metode Penelitian | Hasil Penelitian |
|-----|---|--|---|---|
| 1. | “Deformasi Struktur Bangunan Rumah Toko Di Medan Akibat Gempa Berulang”, (Tondi Amirsyah putera,2018) | Tujuannya adalah menganalisis struktur bangunan ruko sesuai dengan standar konstruksi tahan gempa, yaitu SNI 1726:2012, dan menilai ketahanannya terhadap berbagai kejadian gempa. | Analisis dengan menggunakan tiga model rumah toko yaitu ruko A, ruko B, dan C yang berada pada tempat yang berbeda dan dianalisis dengan menggunakan software analisis struktur dengan pengamatan dalam 2 kondisi yaitu kondisi respon spectrum linier. | Tujuannya adalah menganalisis struktur bangunan ruko sesuai dengan standar konstruksi tahan gempa, yaitu SNI 1726:2012, dan menilai ketahanannya terhadap berbagai kejadian gempa, ditemukan bahwa ruko C memiliki simpangan atap terbesar. Persyaratan daktilitas untuk semua model ruko meningkat 23,4% saat gempa berulang dua kali dan 42% saat gempa berulang tiga kali (Putera et al., 2018). |

| No. | Judul Penelitian, Nama (Peneliti, Publikasi) | Tujuan Penelitian | Metode Penelitian | Hasil Penelitian |
|-----|--|---|--|--|
| 2. | <p>“Perencanaan Gedung Tahan Gempa Sekolah Tahan Gempa Cabang Muhammadiyah Wedi Klaten”, (Sri Widodo, MSPriyono, Budi Setiawan, 2007)</p> | <p>Memberikan desain bangunan sekolah yang tahan gempa dan hemat biaya, serta efisien dalam waktu konstruksi dan menggunakan teknik teknik canggih.</p> | <p>Perencanaan dengan menggunakan sistem tahan gempa.</p> | <p>Menghasilkan satu unit kelas berukuran 6m × 8m dengan rangka bangunan tersebut dari beton bertulang, dinding dari kayu dan atap dari seng melambai. Satu unit kelas biaya kontruksi sebesar Rp 13.786.213,00 dengan durasi pengerjaan satu bulan (Widodo et al., 2007).</p> |
| 3. | <p>“Analisa Struktur Tahan gempa Hotel Santika Tasikmalaya Dengan Metode Analisa Statik Dan Dinamik Time History” (Rani Anggraeni, 2020)</p> | <p>Memberikan desain bangunan sekolah tahan gempa dan hemat biaya yang mengutamakan efisiensi konstruksi dan menggunakan teknik teknik baru.</p> | <p>Rekaman seismik yang digunakan antara lain gempa Elcentro, tebas, dan Loma.</p> | <p>Temuan penelitian menunjukkan bahwa analisis perpindahan drift dan geser dasar statis ekuivalen A menghasilkan nilai yang berkurang, namun gaya dalam A komponen struktur tetap dalam kondisi aman dan memenuhi parameter yang ditentukan (Rani Anggraeni dkk.,</p> |

| No. | Judul Penelitian, Nama (Peneliti, Publikasi) | Tujuan Penelitian | Metode Penelitian | Hasil Penelitian |
|-----|--|---|--|---|
| | | | | 2020). |
| 4. | “Kontruksi Rumah Tahan Gempa Pada KPR Komersil (Non Subsidi) Perumahan Daerah Miruk”, (Mery Silviana,2021) | Untuk mendapatkan informasi lebih lanjut mengenai pembangunan rumah tahan gempa untuk KPR usaha (tanpa subsidi) di wilayah Miruk. | Menggunakan metode kualitatif berupa studi pustaka dan observasi lapangan. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluasi desain lantai, tapak, pondasi, dan rangka yang digunakan pada perumahan hipotek, sesuai dengan pedoman hunian tahan gempa. 2. Beberapa desain struktur tidak mematuhi kaidah hunian tahan gempa, yaitu jarak antar sengkang melebihi batas maksimum yang dianjurkan yaitu 15 cm, dengan perkiraan jarak antar sanggurdi 20 cm. Jarak antar sengkang beton yang |

| No. | Judul Penelitian, Nama (Peneliti, Publikasi) | Tujuan Penelitian | Metode Penelitian | Hasil Penelitian |
|-----|---|-------------------|-------------------|---|
| | | | | mengelilinginya akan berdampak pada kekakuan, karena jarak yang semakin rapat akan menghasilkan efek yang lebih besar. Terkurung dengan aman (Mery & Silviana, 2021). |

Tabel 2. 13 Penelitian Terdahulu

