Terbit *online* pada laman web jurnal :

https://ejournal.sttp-yds.ac.id/index.php/js

SAINSTEK

(e-Journal)

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |

Pengaruh Kombinasi Pembebanan Terhadap Pemilihan Pondasi Borepile Pada Bangunan Gedung

Ahmad Hamidi [a], *Ulfa Jusi* [b], *Beny Setiawan* [c]

[a,b] *Dosen Teknik Sipil Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru, Jl. Dirgantara No.4 Pekanbaru Riau, Indonesia*

[c] *Dosen Teknik Sipil Universitas Pahlawan Tuanku Tambusai, Jl. Tuanku Tambusai No.23 Bangkinang Kota Riau, Indonesia*

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:
Diterima Redaksi: 14 November 2022
Revisi Akhir: 14 Desember 2022
Diterbitkan *Online*: 30 Desember 2022

KATA KUNCI

Pembebanan,

Pondasi,

Borepile,

Massa.

KORESPONDENSI

Telepon: HP. +6281276428987

E-mail: ahmadhamidi@sttp-yds.ac.id

ABSTRACT

Indonesia juga menjadi salah satu negara yang berada pada pertemuan 3 lempeng tektonik utama dunia yaitu Lempeng Australia, Lempeng Eurasia dan Lempeng Pasifik. Peristiwa gempa yang terjadi memberikan pengaruh terhadap kondisi bangunan baik saat terjadi gempa maupun pasca terjadinya gempa. Gempa merupakan peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi dalam bumi secara tiba-tiba dan sering kali merusak bangunan-bangunan yang berada disekitar lokasi pusat gempa. Berdasarkan SNI 1726-2012 Indonesia memiliki beberapa kondisi tanah yang terdiri dari batuan, tanah keras, tanah sedang dan tanah lunak. Bangunan yang menjadi tinjauan dalam penelitian adalah bangunan 2 lantai yang difungsikan sebagai hunian. Dalam perencanaan struktur menggunakan pondasi *borepile* diameter 30 cm dengan membandingkan kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 03-1726-2002 dengan hanya menggunakan kombinasi beban mati dan hidup saja menggunakan *software* elemen hingga. Berdasarkan perhitungan maka dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan kombinasi pembebanan sesuai SNI maka pembebanan massa menjadi lebih besar pada bagian tumpuan (pondasi) dibandingkan dengan hanya menggunakan kombinasi pembebenan berupa beban hidup dan mati hingga mencapai 43,62%. Dengan besarnya pembebanan pada tumpuan maka jumlah titik *borepile* yang dibutuhkan juga berbeda. Berdasarkan perhitungan bangunan yang menjadi tinjauan, untuk kombinasi pembebanan sesuai SNI dengan hasil daya dukung satuan pondasi (Qu) sebesar 31,27 ton maka diperlukan 12 titik *borepile* dan untuk kombinasi pembebanan dengan beban mati dan hidup dibutuhkan 7 titik *borepile* atau lebih kecil sebesar 41,67%.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan kondisi alam yang majemuk. Masing-masing daerah memiliki kondisi alam yang berbeda sehingga berpengaruh terhadap kondisi tanah. Dengan kondisi tanah yang bervariasi tersebut diperlukan metode dan hitungan tertentu dalam merencanakan elemen struktur bangunan terutama untuk pekerjaan pondasi.

https://doi.org/10.35583/js.v10i2.153

Attribution-NonCommercial 4.0 International. Some rights reserved

Indonesia juga menjadi salah satu negara yang berada pada pertemuan 3 lempeng tektonik utama dunia yaitu Lempeng Australia, Lempeng Eurasia dan Lempeng Pasifik. Peristiwa gempa yang terjadi memberikan pengaruh terhadap kondisi bangunan baik saat terjadi gempa maupun pasca terjadinya gempa. Menurut Pirwanti (2016), gempa adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi dalam bumi secara tiba-tiba dan sering kali merusak bangunan-bangunan yang berada disekitar lokasi pusat gempa.
Berdasarkan SNI 1726-2012 Indonesia memiliki beberapa kondisi tanah yang terdiri dari batuan, tanah keras, tanah sedang dan tanah lunak.Perbedaan kondisi lapisan tanah tersebut menghasil nilai spektrum yang berbeda sehingga akan berpengaruh terhadap perencanaan elemen struktur, baik berupa material yang digunakan atau bentuk yang penampang yang tepat.

Indonesia merupakan Negara Maritim yang memiliki lebih dari 17.000 pulau dan terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia yang selalu bergerak satu sama lainnya. Ketiga lempeng tektonik tersebut adalah lempeng Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik. Menurut Pirwanti (2016), gempa adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi dalam bumi secara tiba-tiba. Gempa yang terjadi sering kali merusak bangunan-bangunan yang berada disekitar lokasi pusat gempa. Bangunan yang memiliki resiko paling besar terhadap gempa adalah bangunan bertingkat yang memiliki banyak aktifitas manusia di dalamnya dan akan mengakibatkan banyaknya korban jiwa.

Besarnya frekuensi getaran tanah akan menggambarkan kondisi fisik dari tanah/batuan pada daerah tertentu. Sebagai contoh tanah lunak akan mempunyai periode getaran yang panjang sehingga akan memiliki resiko lebih tinggi saat terjadinya gempa bumi. Tingkat kerusakan yang akan terjadi pada suatu bangunan tergantung dari kekuatan bangunan tersebut, kondisi geologi dan percepatan tanah di lokasi bangunan.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam melakukakan penelitian ini adalah untuk mendapatkan penampang pondisi tiang pancang optimal terhadap penggunaan kombinasi pembebenan yang ada dalam SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012.

Sedangkan yang menjadi Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

a. Bangunan yang menjadi objek adalah bangunan 2 lantai yang difungsikan sebagai hunian dengan menggunakan beton bertulang sebagai mataerialnya.
b. Respon spektrum yang digunakan adalah kondisi tanah yang ada di Pekanbaru.
c. Analisis beban gempa dengan menggunakan SNI 1726-2002 dan 1726-2012.
d. Pada penelitian ini tidak menghitung daya dukung terhadap tanah dan friksi.
e. Berdasarkan data sondir kedalaman tanah keras berada pada kedalaman 15 meter.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bangunan Gedung

Bangunan gedung merupakan kebutuhan primer dalam kehidupan terutama untuk keperluan tempat tinggal (hunian). Bangunan yang ditempati oleh seseorang adalah bangunan yang bisa membuatnya merasa nyaman baik dari sisi keindahan (arsitektur) atau dari segi keamanan struktur (sipil), karena tanpa adanya jaminan 2 hal tersebut sebuah hunian tidak akan menjadi tempat yang nyaman.

Seiring dengan meningkatnya permintaan hunian membuat terbatasnya lahan yang tersedia sehingga banyak pengembang *(developer)* menawarkan hunian vertical dengan berbagai konsep agar bisa menarik banyak orang tinggal di tempat tersebut. Secara struktur, bangunan yang dibangun dengan banyak lantai secara vertikal diperlukan perencanaan yang sangat komplek dari segi strukturnya hal ini untuk memberikan jaminan kepada para konsumen tentang keamanan bangunan yang akan mereka tempati.

Menurut Suartika (2010) Bangunan tinggi membutuhkan *power energy* untuk menggerakkan trasportasi vertikalnya, untuk pengkondisian ruangan, untuk pencahayaan, untuk operasional utilitas gedung, termasuk kemanan akan bahaya kebakaran, gempa bumi, dan lain-lain.

2.2 Respons Spektrum Gempa

Respon spektrum merupakan suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur (T) berdasarkan respon-respon rasio redaman dan gempa tertentu.Respon spektrum disain untuk perencanaan gedung ditentukan berdasarkan wilayah gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan periode ulang 500 tahun.Respon Spektrum tersebut dinyatakan dengan grafik C-T dengan C adalah factor respon gempa dalam g dan T adalah waktu getar alami struktur dalam detik. Nilai koefisien gempa dasar C pada respon spektrum harus dikalikan dengan factor koreksi I/R, dimana I adalah faktor keutamaan dan R adalah faktor reduksi gempa

Analisa elemen hingga dilakukan dengan bantuan *software* elemen hingga untuk memodelkan seluruh komponen. Langkah-langkah analisis rspon spektrum adalah sebagai berikut :

1. Memodelkan elemen struktur bangunan dengan mendefenisikan terlebih dahulu material dan dimensi elemen struktur beserta dengan pembebanannya.

https://doi.org/10.35583/js.v10i2.153

2. Melakukan analisis ragam hingga partisipasi massa ragam komulatif sudah melebihi 90%. Kemudian lakukan pendefenisian fungsi respon spektrum ($c_{sm} vs\ T$) berdasarkan grafik respon spektrum untuk tanah lunak kabupaten/kota yang ada di Riau.
3. Melakukan analisis respon spektrum untuk mendapatkan keluaran berupa respon struktur diantaranya perpindahan (*displacement*) dalam satuan meter, percepatan (*drift story*) dalam satuan meter/detik dan gaya geser (*shear story*) dalam satuan kilogram

2.3 Beban Gempa Statik Ekuivalen

Analisis perancangan struktur bangunan terhadap pengaruh beban gempa secara static, pada prinsipnya adalah menggantikan gaya-gaya horizontal yang bekerja pada struktur bangunan akibat pengaruh pergerakan tanah yang diakibatkan gempa, dengan gaya-gaya statis yang ekuivalen. Pada struktur gedung beraturan akan berlaku sebagai struktur 2D, respon dinamik ragam fundamentalnya adalah sangat dominan sehingga respon dinamik ragam-ragam lainnya diangap dapat diabaikan.

Bangunan yang tidak terlalu tinggi (kurang dari 40 m) maka ragam fundamental dapat dianggap mengikuti garus lurus. Sehingga bisa diasumsikan respon dinamik dari struktur bangunan gedung beraturan dapat ditampilkan seolah-olah sebagai akibat dari suatu beban gempa static ekuivalen. Analisis perancangan struktur bangunan terhadap pengaruh beban gempa secara static adalah menggantikan beban-beban horizontal yang bekerja pada struktur banguna akibat pengaruh dinamik pergerakan tanah yang diakibatkan gempa dengan beban-beban static yang ekuivalen tujuannya untuk menyederhanakan prosedur perhitungan.

Analisis beban gempa nominal static ekuivalen merupakan pendekatan dari sifat-sifat dinamik yang sebenarnya dari beban gempa yang bekerja pada struktur. Struktur-struktur yang tidak begitu mudah untuk diperkirakan perilakunya terhadap beban gempa, struktur-struktur dengan tinggi tingkat lebih dari 40 meter atau struktur-struktur gedung yang tidak beraturan dengan ketinggain tingkat kurang dari 40 meter maka harus dianalisis dengan prosedur analisis dinamik.

Besarnya beban gempa nomimal static ekuivalen yang digunakan untuk perencanaan struktur ditentukan oleh tiga hal yaitu oleh besarnya gempa rencana, tingkat daktalitas yang dimilikistruktur dan nilai factor tahanan lebih yang terkandung di dalam struktur. Besarnya pedoman gempa yang berlaku di Indonesia yaitu Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI 03-1726-2002).

Pada proses pembebanan dengan menggunakan *software* dengan menambahkan beban maksimum pada system struktur bangunan maka dapat dilihat beban masksimum keruntuhan bangunan tersebut dan menganalisis *joint* kolom dan balok yang memenuhi struktur tahan gempa (Fadillah, 2020)

2.4 Struktur Bangunan Tahun Gempa

Bangunan tahan gempa merupakan besaran gaya gempa yang diterima oleh struktur bangunan yang dipengaruhi oleh karakteristik gempa yang terjadi, karakteristik tanah dan karakterisitk struktur bangunan yang didasari oleh bentuk struktur bangunan dan massa bangunan sebagai karakteristik bangunan yang bekerja.

Perancangan dan pelaksanaan struktur bangunan tahan gempa sehingga dapat mengurangi kegagalan dalam perencanaannya yang memiliki system struktur, aspek kontunuitas juga integritas struktur bangunan, konsistensi sistem struktur material yang digunakan, unsur arsitektural, dan metode pelaksanaannya.

2.5 Pondasi

Fondasi merupakan bagian dari struktur bangunan yang memikul beban bangunan diatasnya. [4] Fondasi direncanakan berdasarkan jenis, kekuatan, dan daya dukung tanah tempat berdirinya karena jika kekuatan tanah tidak mampu memikul beban fondasi, maka akan terjadi penurunan yang berlebihan atau keruntuhan pada tanah dan mengakibatkan kerusakan konstruksi yang berada diatasnya.[5] Sebelum dilakukan pekerjaan konstruksi perlu dilakukan penyelidikan tanah (*soil investigation*) [6]. Dimana dalam penyelidikan tanah ini diperlukan beberapa data teknis berupa data uji *Cone Penetration Test* (CPT), uji *Standard Penetration Test* (SPT) dan pengujian laboratorium yang digunakan untuk mengetahui dan mengevaluasi kondisi lapisan tanah[7][8]

Daya dukung fondasi tiang pancang dibagi menjadi dua yaitu daya dukung tiang tunggal dan daya dukung tiang kelompok. [9]Perhitungan daya dukung tiang tunggal dapat digunakan beberapa metode yaitu metode statis dan metode dinamis. Metode statis merupakan metode perhitungan daya dukung menggunakan teori-teori mekanika tanah dengan korelasi yang digunakan adalah hasil penyelidikan laboratorium dan hasil pembacaan dari penetrasi suatu alat penetrometer seperti *Cone Penetration Test* (CPT) atau *Standard Penetration Test* (SPT). [10] Metode dinamis merupakan metode perhitungan daya dukung yang didasarkan pada analisa data rekaman getaran gelombang yang terjadi pada waktu tiang dipukul dengan *hammer* (*callendering test*).[11]

https://doi.org/10.35583/js.v10i2.153

Berdasarkan data yang diambil pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Ruas Pekanbaru–Padang Seksi Padang–Lubuk Alung Sicincin Zona 2, maka dilakukan penelitian tentang seberapa besar daya dukung dan penurunan tiang tunggal pada fondasi tiang pancang menggunakan data *Cone Penetration Test* (CPT), *Standard Penetration Test* (SPT) dan uji laboratorium dengan menggunakan metode *Mayerhof* dan perhitungan penurunan tiang tunggal pada fondasi menggunakan Metode Empiris (Vesic,1970) dan metode Semi Empiris (Vesic, 1977).

Untuk menghitung daya dukung *boredpile* dinyatakan dengan rumus metode Schmertmann dan Nottingham dengan persamaan :

$$Q_u = A_b \cdot f_b + A_s \cdot f_s \quad (1)$$

atau

$$Q_u = A_b \cdot \omega\, q_{ca} + A_s \cdot K_s\, q_f \quad (2)$$

Keterangan :

A_b = Luas penampang tiang (cm^2)
A_s = Luas selimut tiang (cm^2)
f_b = Tahanan ujung satuan (kg/cm^2)
f_s = Tahanan gesek satuan (kg/cm^2)
q_{ca} = Tahanan konus rata-sata (kg/cm^2)
q_f = Tahanan gesej isi konus (kg/cm^2)
K_f = Koefisien tak berdimensi
ω = Koefisien korelasi

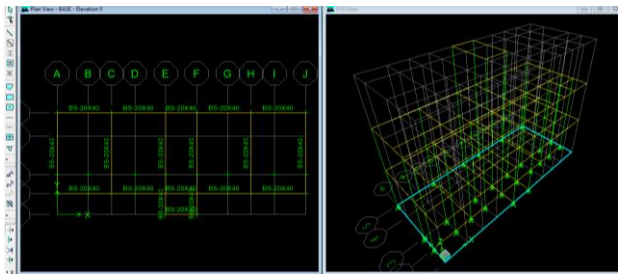
3. METODOLOGI

Pengujian besaran gaya dalam yang terjadi pada bangunan yang ditinjau adalah dengan menggunakan *software* elemen hingga dan mengacu SNI 03-1726-2002 dan 03-1726-2012. Model sruktur didesain 2 lantai dan menggunakan struktur beton bertulang dengan asumsi Sistem Pemikul Rangka Momen Khusus (SPRMK) pemodelan berupa portal 3 dimensi.

Berdasarkan pemodelan yang dilakukan pada *software* elemen hingga akan menghasilkan besaran gaya dalam yang terjadi termasuk besaran massa yang terjadi pada masing-masing titik tumpuan, pada bangunan yang menjadi objek penelitian menggunakan tumpuan jepit karena bangunan menggunakan pondasi tipe *borepile* yang akan mampu menghasilkan 3 gaya dalam.

Elemen struktur pada bangunan tersebut adalah :

a. Balok B1 (25 x 40 cm), B2 (20 x 25 cm), B3 (15 x 60 cm) dan ring balok (13 x 13 cm).
b. K1 (20 x 30 cm), K2 (30 x 30 cm) dan kolom praktis (13 x 13 cm).
c. Pelat lantai dengan ketebalan 12 cm



Gambar 1. Pemodelan elemen struktur

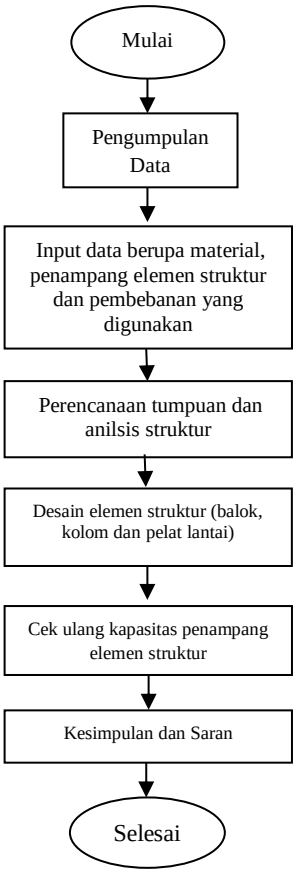
Struktur utama rumah kos ini terdiri atas 2 level elevasi lantai dan 1 level elevasi dak atap. Bangunan ini memiliki struktur dengan tipe portal penahan momen (momen frame) sistem balok-kolom konvensional. Struktur gedung model ini berfungsi untuk menahan beban gravitasi maupun beban gempa, sesuai dengan kekakuan dari masing-masing sistem.

Sementara struktur sekunder seperti pelat dan tangga dimodelkan secara parsial sebagai elemen sheel, hal ini dimaksudkan untuk mendekati perilaku asli elemen struktur tersebut yang selain mengalami momen dalam dua arah juga mengalami tarik-tekan dalam 2 arah dalam waktu yang bersamaan.

Pada dasarnya sistem struktur atas terbuat dari beton bertulang dan moment frame (OMF/SRPMB). Dalam hal ini, seluruh struktur menggunakan sistem pelat dengan balok dan kolom. Secara keseluruhan sistem struktur ini simetris dalam 2 arah (arah X dan arah Y) dan termasuk beraturan, namun tetap dilakukan analisis respon dinamis secara 3D sesuai dengan ketentuan SNI 03-1726-2002 Pasal 7.1.1. Kekakuan unsur-unsur struktur beton bertulang dihitung dengan mengabaikan pengaruh peretakan beton sesuai dengan ketentuan SNI 03-1726-2002 Pasal 5.5.1. Untuk itu, momen inersia penampang unsur struktur dapat ditentukan sebesar momen inersia penampang utuh tanpa dikalikan dengan suatu persentase efektifitas penampang.

Adapun tahapan dalam melakukan penelitian ini seperti yang ditunjukkan Gambar 2 berikut :

https://doi.org/10.35583/js.v10i2.153

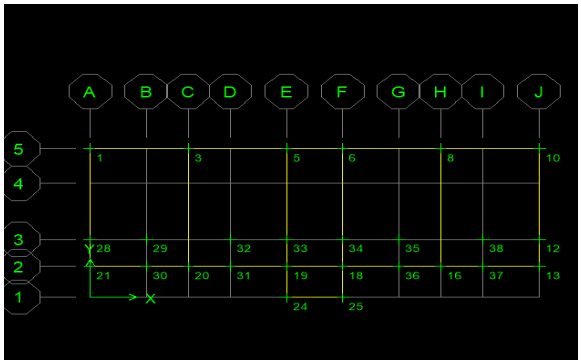


Gambar 2. Bagan alir

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Besaran nilai gaya pada masing-masing titik tumpuan

Posisi titik tumpuan yang menjadi tinjaun pada bangunan yang ditliti adalah seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Titik tumpuan

Perhitungan hasil besaran gaya/massa yang ada pada masing-masing tumpuan pondasi dihitung berdasarkan hasil *running software*. Perhitungan menggunakan 2 variasi pembeda kombinasi yaitu 10 kombinasi sesuai dengan SNI 2002 dan 2 kombinasi (hanya menghitung beban mati dan hidup). Hasil dari beban/massa seperti dirunjukkan pada Tabel 1.

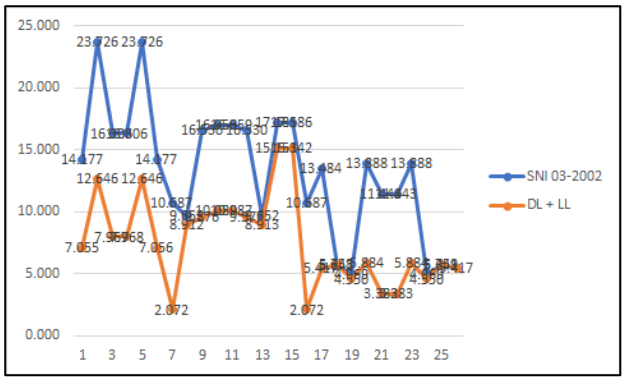
Tabel 1. Tabel distribusi massa pada tumpuan

Story	Point	DL+LL (T)	SNI 2002 (T)
BASE	1	7.055	14.177
BASE	3	12.646	23.726
BASE	5	7.967	16.306
BASE	6	7.968	16.306
BASE	8	12.646	23.726
BASE	10	7.056	14.177
BASE	12	2.072	10.687
BASE	13	8.912	9.652
BASE	16	9.576	16.530
BASE	18	10.089	16.958
BASE	19	10.087	16.959
BASE	20	9.577	16.530
BASE	21	8.913	9.652
BASE	24	15.153	17.185
BASE	25	15.142	17.186
BASE	28	2.072	10.687
BASE	29	5.417	13.484
BASE	30	5.758	5.642
BASE	31	4.550	4.969
BASE	32	5.884	13.888
BASE	33	3.382	11.443
BASE	34	3.383	11.443
BASE	35	5.884	13.888
BASE	36	4.550	4.969
BASE	37	5.759	5.641
BASE	38	5.417	13.484
		196.916	**349.296**

Berdasarkan Tabel 1 terdapat 26 titik tumpuan pondasi dengan asumsi tumpuan yang digunakan adalah tumpuan jepit dengan memilki 3 gaya dalam yang terjadi pada masing-masing titik tumpuan. Dengan menggunakan kombinasi pembebanan yang sesuai dengan SNI 03-1726-2002 maka total massa yang akan menumpu pada pondasi adalah sebesar 349,296 ton, sedangkan dengan menggunakan 2 kombinasi saja yaitu beban mati dan beban hidup total massa yang akan menumpu adalah sebesar 196,916 ton atau dengan persentase 43,62%.

Bentuk perbedaan grafik dengan menggunakan 2 variasi pembebanan seperti dtunjukkan oleh gambar 4.

https://doi.org/10.35583/js.v10i2.153



Gambar 4. Diagram perbandingan variasi kombinasi yang digunakan

Berdasarkan gambar 3, dapat dilihat bahwa perbedaan besaran massa/gaya yang terjadi pada tumpuan mencapai 43,62%. Massa bangunan dengan menggunakan kombinasi sesuai dengan SNI menjadi lebih berat dibandingkan dengan yang hanya menggunakan 2 kombinasi pembebenan saja.

4.2 Kebutuhan penampang pondasi borepile

Daya dukung yang dihasilkan berdasarkan data sondir adalah sebagai berikut :

Tahanan Ujung persatuan luas (f_b)

Q_u = 75,18 kg/cm^2

f_b = ω . q_{ca}

= 1 x 37,59

= 37,59 kg/cm^2 < 150 kg/m^2

Tahanan ujung

Q_b = A_b . f_b

= ¼ π (30)^2 x 37,59

= 706,5 x 37,59

= 26,557 kg

= 2655,73 Kn

Tahanan gesek

Q_s = A_s . f_s

= (π x d x L) x (k_f x Q_f)

= (π x 0,3 x 15) x (0,9 x 0,37)

= 14,13 x 0,33

= 4,71 kg/m^2

= 471 kn/m^2

Kuat dukung ultimit

Q_b = Q_b + Q_s

= 2655,73 + 471

= 3126,73 Kn

= 31,27 T

Berdasarkan perhitungan daya dukung pondasi *borepile*, didapatkan sebesar 31,27 ton sehingga pada kombinasi dengan kombinasi sesuai SNI (2002) maka dibutuhkan sebanyak 11,17 (12) titik *borepile* sedangkan untuk kombinasi yang hanya menggunakan beban mati dan beban hidup dibutuhkan sebanyak 6,29 (7) titik *borepile* dengan diameter 30 cm.

5. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan maka dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan kombinasi pembebanan sesuai SNI maka pembebanan massa menjadi lebih besar pada tumpuan (pondasi) dibandingkan dengan hanya menggunakan kombinasi pembebenan beban hidup dan mati hingga mencapai 43,62%. Dengan besarnya pembebanan pada tumpuan maka jumlah titik *borepile* yang dibutuhkan juga berbeda. Berdasarkan perhitungan bangunan tinjauan untuk kombinasi sesuai SNI maka diperlukan 12 titik *borepile* dan untuk kombinasi pembebanan beban mati dan hidup dibutuhkan 7 titik *borepile* atau sebesar 41,67%.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Fadillah, M. R. (2020). METODE ANALISIS PERHITUNGAN STRUKTUR BANGUNAN TAHAN GEMPA (Studi Kasus Gedung E, F Universitas Muhammadiyah Sukabumi). *Jurnal Student Teknik Sipil Edisi*, *2*.

[2] Pirwanti, A. (2016). *Analisa Tingkat Resiko Dari Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) Berdasarkan Data Mikroseismik Disekitar jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul Yogyakarta*. UIN Sunan Kalijaga.

[3] Suartika, G. A. M. (2010). *Pengaturan batas ketinggian bangunan dalam menjaga keberlanjutan bentang alam dan lingkungan terbangun*. 146–158.

[4] E. Yuliawan and T. Rahayu, “Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Tiang Berdasarkan Pengujian Spt Dan Cyclic Load Test,” *J. Konstr.*, vol. 9, no. 2, pp. 1–13, 2018.

[5] H. C. Hardiyatmo, *Teknik Fondasi 2*, 4th ed. Yokyakarta, Indonesia: Beta Offset, 2008.

[6] H. C. Hardiyatmo, *Teknik Pondasi 1*, 2nd ed. Yokyakarta, Indonesia: PT. Gramedia Pustaka Utama, 1996.

[7] V. A. Sakleshpur, M. Prezzi, R. Salgado, and M. Zaheer, “CPT-Based Geotechnical Design Manual, Volume 3: CPT-Based Design of Foundations—Example Problems (Joint Transportation Research Program Publication),”

https://doi.org/10.35583/js.v10i2.153

Jt. Transp. Res. Progr. INDIANA Dep. Transp. PURDUE Univ. CPT-Ba, 2021.

[8] V. A. Sakleshpur, M. Prezzi, R. Salgado, and M. Zaheer, "CPT-based geotechnical design manual," *Jt. Transp. Res. PROGRAM, INDIANA Dep. Transp. PURDUE Univ.*, 2021.

[9] A. Yusti and F. Fahriani, "Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Diverifikasi Dengan Hasil Uji Pile Driving Analyzer Test Dan CAPWAP," *J. Fropil*, 2014.

[10] U. Jusi, "Analisa Kuat Dukung Pondasi Bored Pile Berdasarkan Data Pengujian Lapangan (Cone Dan N-Standard Penetration Test)," *SIKLUS J. Tek. Sipil*, 2018.

[11] T. Yufitra Rus and F. Eka Nur Aprilla Irwaniansyah, "Analisa Perbandingan Daya Dukung Tiang Pancang Mengunakan Data Uji Laboratorium, N-SPT, Dan CPT Terhadap Nilai Uji Pile Driving Analyzer (Studi Kasus Pada Proyek Pembangunan Pt. Kaltim Amonium Nitrat Di Kota Bontang)," in *Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan*, 2021.

https://doi.org/10.35583/js.v10i2.153