

**STUDI ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG BETON DENGAN
MENGUNAKAN DATA GETARAN**

(Skripsi)

Oleh

**M ALHIMNI RUSDI
NPM 1755011008**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

STUDI ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG BETON DENGAN MENGUNAKAN DATA GETARAN

Oleh

M ALHIMNI RUSDI

Fondasi merupakan salah satu elemen struktur yang sangat penting mengingat fungsinya, dan perlu diketahui juga kekuatan daya dukungnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya dukung pondasi yang terpasang dengan menggunakan data getaran berbasis *low strain* dan alat yang digunakan bernama *3-axis accelerometer*. Pada penelitian ini terdapat 2 variasi benda uji beton, yaitu berupa beton polos dan beton bertulang dengan ukuran 20 cm x 20 cm x 100 cm. Benda uji ditanam dalam tanah sedalam 90 cm yang setelah itu diangkurkan alat bernama *3-axis accelerometer*, lalu diberikan variasi beban dari 0 – 200 kg, sehingga pengujian dapat dilakukan. Setelah pengujian dilakukan data getaran akan diubah ke frekuensi domain, lalu frekuensi alami tersebut akan diplot ke dalam sebuah kurva linear bersamaan dengan beban yang diterapkan sehingga didapat nilai P_{cr} tiang beton tersebut. Setelah itu, nilai P_{cr} yang didapat akan dibandingkan dengan *modelling* SAP 2000 sebagai pembuktian. Hasil dari penelitian ini didapatkan deviasi antara nilai P_{cr} dengan metode eksperimental dan nilai P_{cr} *modelling* SAP 2000 sebesar 0,22% pada beton polos, dan 1,10% pada beton bertulang. Hal ini membuktikan bahwa nilai P_{cr} beton dapat diketahui secara akurat dengan menggunakan data getaran.

Kata kunci : *low strain integrity test*, P_{cr} , frekuensi alami, *3-axis accelerometer*.

ABSTRACT

ANALYSIS STUDY BEARING CAPACITY OF CONCRETE PILES USING VIBRATION DATA

by

M ALHIMNI RUSDI

The foundation is a very important structural element considering its function, and it is necessary to know the strength of its bearing capacity. This study aims to determine the bearing capacity of the installed foundation using vibration data based on low strain and the tool used is called a 3-axis accelerometer. In this study, there are 2 variations of concrete test objects: plain concrete and reinforced concrete with a size of 20 cm x 20 cm x 100 cm. The test object is planted in the soil as deep as 90 cm, after which it is anchored by a tool called the 3-axis accelerometer, then given several variations of the load so that the test can be carried out. After testing, the vibration data will be converted to the frequency domain, then the natural frequency will be plotted into a linear curve along with the applied load so that the P_{cr} value of the concrete pile is obtained. After that, the P_{cr} value obtained will be compared with the SAP 2000 modeling as proof. The results of this study showed that the deviation between the P_{cr} value with the experimental method and the SAP 2000 modeling P_{cr} value was 0.22% in plain concrete, and 1.10% in reinforced concrete. This proves that the bearing capacity of concrete piles (P_{cr}) can be known accurately by using vibration data.

Keywords: low strain integrity test, P_{cr} , natural frequency, 3-axis accelerometer.

**STUDI ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG BETON DENGAN
MENGUNAKAN DATA GETARAN**

Oleh

M ALHIMNI RUSDI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Skripsi : **STUDI ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG
BETON DENGAN MENGGUNAKAN DATA
GETARAN**

Nama Mahasiswa : **M Alhimni Rusdi**

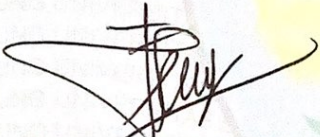
Nomor Pokok Mahasiswa : 1755011008

Program Studi : Teknik Sipil


Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Ir. Fikri Mami, S.T., M.Sc., M.Phil.
NIP 19720308 199802 1 004



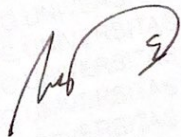
Dr. Eng. Mohd Isneini, M.T.
NIP 19721026 200003 1 001

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil



Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19720829 199802 1 001

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil




Ir. Laksmi Irianti, M.T.
NIP 19620408 198903 2 001

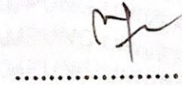
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

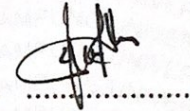
Ketua : **Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.**


.....

Sekretaris : **Dr. Eng. Mohd Isneini, M.T.**


.....

Penguji
Bukan Pembimbing : **Vera A. Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D.**


.....

2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. ♪
NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **08 November 2022**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi saya yang berjudul "*Studi Analisis Daya Dukung Tiang Beton Dengan Menggunakan Data Getaran*" adalah bagian dari penelitian Bapak Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil., yang bertujuan untuk mengetahui daya dukung tiang beton dengan data getaran menggunakan metode *low strain*.
2. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
3. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah berlaku di Universitas Lampung.

Bandar Lampung, 19 Oktober 2022

Mengetahui,
Dosen Pembimbing Skripsi



Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.
NIP 19720308 199802 1 004

Mahasiswa



M Alhimni Rusdi
NPM 1755011008

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Bandar Lampung, 10 Desember 1999. Merupakan anak kedua dari pasangan Bapak Fadri Septa, S.Sos., dan Ibu Dra. Lies Kumara Dewi, M.I.P., M.Si. Penulis mempunyai 3 orang saudara kandung bernama Melista Aulia Nurdina, S.H., M.H., Melista Nadifa Nurdina, Abdurrahman Zidan Rizki.

Penulis menempuh Pendidikan Taman Kanak-Kanak (TK) di Muhammadiyah Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2005, dilanjutkan ke pendidikan tingkat dasar di SDN 2 Labuhan Ratu yang diselesaikan pada tahun 2011, lalu melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2014, serta melanjutkan pendidikan tingkat atas di SMAN 10 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2017.

Pada tahun 2017, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang yang lebih tinggi lagi yaitu Universitas Lampung, Jurusan Teknik Sipil. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam kegiatan organisasi HIMATEKS (Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung), sebagai anggota Departemen Kaderisasi periode 2018/2019 dan sebagai anggota Departemen Advokasi periode 2019/2020. Penulis juga pernah mewakili Universitas Lampung pada kompetisi *Indonesian E-Sport League* kejuaraan dota 2 dan masuk 8 besar.

Pada tahun 2020 penulis mengikuti KKN (Kuliah Kerja Nyata) di kelurahan Gedong Meneng selama 40 hari periode II, Juli – Agustus 2020. Setelah itu, dalam pengaplikasian ilmu di bidang Teknik Sipil, penulis juga melaksanakan Kerja Praktik di Proyek Pembangunan Kantor Kecamatan Tanjung Karang Timur yang berlokasi di Jalan M.J. Sutioso No.26, Kota Baru, Kecamatan Tanjung Karang Timur, Bandar Lampung selama 3 bulan dimulai dari 21 September 2020 hingga

21 Desember 2020. Lalu, penulis mengambil tugas akhir yang berjudul “Studi Analisis Daya Dukung Tiang Beton dengan Menggunakan Data Getaran”.

PERSEMBAHAN

Salam sejahtera untuk kita semua, puja dan puji syukur kehadirat Allah SWT karena berkat-Nya skripsi ini dapat terselesaikan. Semoga skripsi ini dapat memberi manfaat baik bagi penulis sendiri maupun orang lain.

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

Orangtuaku tercinta, Bapak Fadri Septa, S.Sos., dan Ibu Dra. Lies Kumara Dewi, M.I.P., M.Si. serta ketiga saudara kandungku Melista Aulia Nurdina, S.H., M.H., Melista Nadifa Nurdina, Abdurrahman Zidan Rizki yang selalu mendoakan, memberi dukungan, kasih sayang, dan menjadi *support system* dalam keadaan suka maupun duka. Skripsi ini akan penulis jadikan salah satu bukti tanda terima kasih kepada semuanya.

Seluruh dosen yang telah memberikan banyak ilmu baik akademis maupun non-akademis, saya ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya karena telah membimbing selama masa kuliah.

Sahabat-sahabat rekan seperjuangan Teknik Sipil Angkatan 2017, yang selalu ada dalam keadaan lancer maupun kusut, memberikan dukungan moral serta pengalaman-pengalaman yang tak dapat dilupakan selama masa kuliah.

Tak lupa Almamaterku Universitas Lampung, terima kasih telah menjadi wadah bagi semua mahasiswa yang bertujuan untuk mencari ilmu setinggi mungkin.

MOTTO

“Barang siapa yang bersyukur maka akan ku tambah (nikmatmu), akan tetapi barang siapa yang kufur maka sesungguhnya siksa-Ku sangatlah pedih”

(QS. Ibrahim : 7)

“Orang yang berkata jujur mendapatkan 3 hal : Kepercayaan, cinta, dan rasa hormat”

(Ali bin Abi Thalib)

“Duduklah bersama orang-orang yang mencintai Allah SWT. Itu karena bergaul bersama orang seperti mereka akan mencerahkan pikiran”

(Umar bin Khattab)

“Sesungguhnya shalat itu mencegah dari perbuatan-perbuatan keji dan mungkar”

(QS. Al-Ankabut : 45)

“Jagalah shalatmu. Karena ketika kamu kehilangannya, kamu akan kehilangan yang lainnya”

(Umar bin Khattab)

“Barang siapa yang memperbanyak istigfar dosanya akan diampuni, dimudahkan segala urusannya, dan diberikan rezeki dari jalan yang tidak disangka-sangka”

(Riwayat Abu Daud)

SANWACANA

Puja dan puji syukur kepada Allah SWT karena berkat nikmat dan rahmat-Nya penulis bisa menuntaskan skripsi yang berjudul "*Studi Analisis Daya Dukung Tiang Beton dengan Menggunakan Data Getaran*". Skripsi ini dibuat untuk menyelesaikan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik karena bimbingan, bantuan, saran, nasehat, serta perhatian dari banyak pihak. Pada momen ini penulis ingin mengucapkan terima kasih dan apresiasi yang setulus-tulusnya kepada :

1. Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku kepala Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung
3. Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil atas bantuannya dalam bidang akademik selama proses penyelesaian skripsi ini.
4. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil., selaku dosen pembimbing 1 atas segala ilmu, nasehat, saran, serta masukan dari akademis maupun moral yang sangat bermanfaat bagi penulis sehingga skripsi ini lebih bermakna dan berarti.
5. Dr. Eng. Mohd. Isneini, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing 2 atas segala ilmu, nasehat, saran, serta masukannya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
6. Vera Agustriana Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen penguji atas segala masukan, kritik, serta saran yang sangat bermanfaat bagi penulis sehingga skripsi ini menjadi lebih sempurna.

7. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., selaku dosen pembimbing akademik yang telah memotivasi dan memberikan nasehat kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Universitas Lampung.
8. Seluruh dosen Program Studi S1 Teknik Sipil atas segala ilmu yang sudah diberikan.
9. Seluruh teknisi dan karyawan di Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan bantuan demi kelancaran semua proses pembelajaran dan pembuatan skripsi ini.
10. Kedua orangtuaku, Bapak Fadri Septa, S.Sos., dan Ibu Dra. Lies Kumara Dewi, M.I.P., M.Si., yang selalu memberikan dukungan, nasehat, mengajarkan semua hal-hal baik yang dicintai Allah SWT, dan selalu menjadi orang nomor 1 dalam hidupku.
11. Semua saudara kandungku, Melista Aulia Nurdina, Melista Nadifa Nurdina, Abdurrahman Zidan Rizki yang telah memberikan *vibes positive*, kasih sayang, semangat dengan caranya sebagai seorang saudara kandung.
12. Rekan penelitianku Goldyna Septania yang selalu menemaniku disaat menghadapi lelahnya proses-proses penelitian. Terima kasih telah menjadi partner diskusi, bertukar pikiran, hingga hadir dalam setiap tantangan dengan tulus dan sabar dari awal skripsi hingga akhir.
13. Teman-teman Empire Z 3 yang selalu menjadi *moodbooster*-ku dikala sedih dan kurang bersemangat, sangat senang mengenal kalian semua dengan segala kejenakaannya.
14. Keluarga Besar Teknik Sipil Universitas Lampung angkatan 2017, yang berjuang bersama, berbagi pengalaman, dan selalu menghadapi musuh yang sama, terima kasih atas solidaritas kalian.
15. Seluruh keluarga besar HIMATEKS (Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil) Universitas Lampung yang telah mendukung secara moral dalam menyelesaikan skripsi ini.
16. Semua pihak yang telah membantu dengan tulus yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Terakhir, semoga segala kebaikan dan bantuan yang diberikan kepada penulis mendapat balasan dari Allah SWT. Dalam skripsi ini penulis mengetahui bahwa skripsi ini masih belum sempurna akan tetapi harapan terbesarnya skripsi ini dapat membantu dan bermanfaat untuk bidang konstruksi. Amin.

Bandar Lampung, 19 Oktober 2022
Penulis

M Alhimni Rusdi
NPM 1755011008

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Fondasi	4
2.1.1. Fondasi Tiang	4
2.2. Pengertian Gelombang	5
2.2.1. Macam–macam Gelombang.....	5
2.2.2. Perambatan Gelombang Pada Tiang	7
2.3. Frekuensi Alami Struktur	8
2.4. Beban Tekuk (<i>Buckling Load</i>)	9
2.5. Hubungan Antara Frekuensi Alami dan Kapasitas Beban Tekuk.....	10
2.6. Studi Perkiraan Kapasitas Tiang dengan Data Getaran	10
2.6.1. 3 – Axis <i>Accelerometer</i> (<i>Accelerometer 3 Arah</i>)	12
2.7. Pengenalan <i>Software</i> SAP 2000.....	12
III. METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1. Uraian Umum.....	13
3.2. Benda Uji	13
3.3. Alat yang digunakan	14
3.4. Proses Pembuatan Benda Uji	17
3.5. Pengambilan Sampel Tanah.....	23
3.6. Skema Jaringan Penelitian	24
3.7. Persiapan Permukaan Tiang Pondasi	25
3.8. Prosedur Pengumpulan Data	26
3.9. Proses <i>Modelling</i> SAP 2000.....	31
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1. Umum.....	44
4.2. Karakteristik Benda Uji.....	44
4.2.1. Mix Design	45
4.2.2. Kuat Tekan Rencana Benda Uji.....	47
4.3. Hasil Uji Getar Pada Beton di Laboratorium	48

4.4. Hasil Uji Getar Pada Beton di Lapangan	55
4.4.1. Beton Polos (Tanpa Tulangan).....	58
4.4.2. Beton Bertulang.....	66
4.5. Pembahasan.....	69
V. KESIMPULAN DAN SARAN	70
5.1. Kesimpulan	70
5.2. Saran.....	71

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A (HASIL PERHITUNGAN)

LAMPIRAN B (*MIX DESIGN*)

LAMPIRAN C (HASIL LABORATORIUM TANAH)

LAMPIRAN D (FOTO PENELITIAN)

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Tiang langsing yang diberikan beban aksial	9
2.2. Hubungan antara frekuensi dan beban tekuk	10
3.1. Varian benda uji	14
3.2. Data <i>logger labquest 2</i>	15
3.3. <i>3-axis accelerometer</i>	15
3.4. <i>Power supply</i>	16
3.5. <i>Hand hammer</i>	16
3.6. Penimbangan agregat halus	17
3.7. Penimbangan agregat kasar	17
3.8. Penimbangan semen	18
3.9. Proses memasukkan material ke dalam molen	18
3.10. Menuangkan beton segar dari molen ke wadah besar	19
3.11. Tuangkan beton segar ke dalam kerucut <i>abrams</i>	19
3.12. Tumbuk beton segar sebanyak 25 kali dengan tongkat besi	20
3.13. Pengukuran nilai <i>slump test</i>	20
3.14. Menuangkan beton segar ke dalam bekisting tiang.	21
3.15. Menuangkan beton segar ke dalam bekisting kubus	21
3.16. Memadatkan beton segar dengan <i>vibrator</i>	21
3.17. Memadatkan beton segar dengan menggunakan <i>vibrator</i>	22
3.18. Pembukaan bekisting pada benda uji	22
3.19. Tahap <i>curing</i> pada benda uji tiang beton	23
3.20. Tahap <i>curing</i> pada benda uji beton kubus	23
3.21. Skema jaringan penelitian	24
3.22. Meratakan dan menghaluskan permukaan tiang beton	25
3.23. Bor tiang beton untuk pemasangan <i>accelerometer</i>	25
3.24. Angkurkan <i>accelerometer</i> dengan obeng dan baut	26
3.25. Mengangkurkan <i>accelerometer</i> pada sisi samping tiang beton	26

3.26. Menghubungkan sensor dengan data <i>logger</i> sesuai sumbu	27
3.27. Menekan tombol <i>power</i> pada data <i>logger</i>	27
3.28. Tampilan 3 data frekuensi arah x, y, dan z	28
3.29. <i>Setting</i> bagian mode	28
3.30. Atur <i>proving ring</i> agar berada di tengah-tengah tiang	29
3.31. Pemberian beban menggunakan <i>loading frame</i>	29
3.32. <i>Reset</i> data frekuensi ke angka 0	30
3.33. Menekan tombol <i>play</i> (▶) pada data <i>logger</i>	30
3.34. Mengetuk benda uji dengan palu	31
3.35. Pilih <i>new model</i>	31
3.36. Atur <i>default units</i> dan <i>select template</i>	32
3.37. <i>Edit grid data</i>	32
3.38. Tampilan pada SAP 2000 v.22.....	33
3.39. Pilih <i>materials</i>	33
3.40. Pilih <i>add new materials</i>	34
3.41. Atur <i>region</i> dan <i>material type</i>	34
3.42. Masukkan data pada <i>material property data</i>	35
3.43. Pilih <i>frame sections</i>	35
3.44. Pilih <i>concrete</i>	36
3.45. Pilih bentuk <i>rectangular</i>	36
3.46. Isi dimensi tiang sesuai dengan data yang ada.....	36
3.47. Pilih <i>load patterns</i>	37
3.48. Masukkan beban <i>buckling</i>	37
3.49. Pilih <i>load cases</i>	38
3.50. Pilih <i>modify load cases</i>	38
3.51. Pilih <i>buckling</i> pada <i>load cases type</i>	38
3.52. Pilih <i>frame sections</i> pada menu <i>assign</i>	39
3.53. Pilih tiang pada kotak dialog <i>assign frame sections</i>	39
3.54. <i>Select</i> bagian <i>joint</i> yang akan diberi beban	40
3.55. Pilih <i>joint loads</i> dalam bentuk <i>forces</i>	40
3.56. Masukkan beban pada sumbu z sebesar $P = -1$	40
3.57. Simpan pemodelan agar <i>running</i> bisa dilakukan	41

3.58. Pilih <i>menu set analysis options</i>	41
3.59. Pilih <i>XZ plane</i> pada kotak dialog <i>analysis option</i>	42
3.60. Pilih <i>run analysis</i>	42
3.61. Pilih <i>run case</i> pada <i>buckling</i> dan <i>do not run case</i> pada <i>modal</i>	43
4.1. Kurva kapasitas tiang dari analisis non-linear di SAP 2000	48
4.2. Gambar <i>main menu</i> pada <i>software logger pro</i>	49
4.3. Pilih <i>insert, additional graph, FFT graph</i>	50
4.4. Ceklis kotak <i>legend, peak frequency, dan x acceleration</i>	50
4.5. Catat nilai frekuensi yang telah didapat	51
4.6. Ekstrapolasi dengan menggunakan hubungan antara frekuensi alami dan beban yang diterapkan	52
4.7. Kurva hubungan antara $\frac{P}{P_{cr}}$ versus $(\frac{f_m}{f_o})^2$ di laboratorium	53
4.8. Nilai <i>eigen value</i> hasil <i>modelling</i> SAP 2000 v.22.....	54
4.9. Lokasi penimbunan benda uji.....	55
4.10. Pemberian beban pada benda uji yang ditanam	56
4.11. Ilustrasi berupa gambar benda uji pada saat didalam tanah.....	57
4.12. Ekstrapolasi untuk mendapatkan nilai P_{cr} menggunakan kurva linear	58
4.13. Kurva hubungan antara $\frac{P}{P_{cr}}$ versus $(\frac{f_m}{f_o})^2$ di lapangan	59
4.14. <i>Select</i> tiang seperti pada gambar diatas.....	60
4.15. Pada menu <i>edit</i> pilih <i>edit lines</i> lalu <i>divide frames</i>	60
4.16. Isi 0,1 pada <i>distance</i> lalu pada <i>distance type</i> pilih <i>relative</i>	61
4.17. <i>Select</i> tiang yang panjangnya 900 cm	61
4.18. Pilih <i>menu assign</i> , lalu <i>frame</i> , lalu <i>line springs</i>	62
4.19. Isi kotak <i>spring stiffness per unit length</i> sesuai nilai k_{sh}	63
4.20. Isi kotak dialog sesuai dengan nilai k_{sv}	64
4.21. Nilai <i>eigen value</i> dari hasil <i>modelling</i> SAP 2000 v.22 dengan <i>spring</i>	65
4.22. Ekstrapolasi untuk mendapatkan nilai P_{cr} dengan menggunakan kurva linear.....	66
4.23. Kurva hubungan antara $\frac{P}{P_{cr}}$ versus $(\frac{f_m}{f_o})^2$ di lapangan.	67
4.24. Nilai P_{cr} dari <i>modelling</i> SAP 2000	68

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
4.1. Perhitungan <i>Mix Design</i>	46
4.2. Tabel Hasil Perbandingan Material <i>Mix Design</i>	47
4.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	48
4.4. Hasil Uji Getar Menggunakan <i>Loading Frame</i>	51
4.5. Hasil Uji Getar di Lapangan pada Beton Polos	58
4.6. Hasil Uji Getar di Lapangan pada Beton Bertulang.....	66

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara berkembang yang masih banyak membutuhkan peningkatan baik dalam bidang ekonomi, sosial, sumber daya, maupun infrastruktur. Untuk menjadikan Indonesia sebagai negara maju, pemerintah pada era ini lebih memfokuskan pada peningkatan infrastruktur diseluruh wilayah Indonesia. Infrastruktur yang baik tentunya memerlukan perencanaan yang matang dimulai dari desain, hal-hal teknis, material yang digunakan, serta pengujian bangunan secara berkala untuk mengetahui bangunan tersebut layak untuk digunakan atau tidak.

Bangunan memiliki beberapa komponen struktur yang harus di cek secara berkala untuk diketahui kelayakannya salah satunya yaitu pondasi. Untuk mengetahui kelayakan tiang pondasi tunggal yang terpasang di lapangan ada beberapa cara, diantaranya adalah *Pile Driving Analysis (PDA) test*, *static loading test*, maupun *low strain integrity test*. *PDA test* merupakan sebuah pengujian dinamik yang memakai metode *wave analysis* untuk menghitung kapasitas daya dukung tiang pondasi, biasanya pengujian *PDA test* menggunakan cara uji dengan menjatuhkan *hammer* (beban) dari ketinggian tertentu. *Static loading test* merupakan suatu pengujian yang paling dapat dipercaya akan tetapi memiliki banyak kekurangan diantara lain membutuhkan waktu yang relatif lama, biaya yang besar, serta bahaya bagi pekerja karena pengujian ini menggunakan beban skala penuh. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa *PDA test (high strain PDA test)* dan *static loading test* lebih susah pelaksanaannya dibandingkan dengan *low strain integrity test* dan dari segi pembiayaannya juga kedua *test* ini lebih mahal.

Low strain integrity test adalah pengujian beton dengan menggunakan metode *non-destructive test* untuk memeriksa nilai daya dukung pondasi tiang yang terpasang. Adapun beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengenai *low strain integrity test*. Alami (2000), yang berjudul *Relationship Between Natural Frequency and Buckling Load of a Structure*, meneliti tentang kapasitas tiang baja dalam bentuk *single frame* dengan menggunakan metode *low strain integrity test* yang hasilnya dapat disimpulkan bahwa hubungan antara kapasitas beban tekuk dan frekuensi alami adalah 99,1% linear.

Dalam beberapa studi yang pernah dilakukan oleh beberapa peneliti, data getaran dapat digunakan untuk mengetahui kapasitas dari beberapa elemen struktur seperti balok, pelat, kolom maupun struktur lain seperti silinder (Alami, 2000). Jadi untuk mengetahui daya dukung suatu tiang pancang dapat dilakukan analisisnya dengan menggunakan data getaran, sehingga pelaksanaan PDA *test* yang selama ini mahal dapat dicarikan alternatifnya dengan cara ini.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dapat diambil dari latar belakang diatas adalah sebagai berikut :

1. Apakah daya dukung tiang pancang dapat diketahui hanya dengan data getaran?
2. Apakah daya dukung tiang yang didapat dari perhitungan dengan data getaran akan sama hasilnya dengan hasil *modelling* dari aplikasi SAP 2000?
3. Apakah rumus pada penelitian sebelumnya dapat digunakan pada kondisi tiang uji yang ditanam didalam tanah?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis apakah daya dukung bisa didapatkan dengan cara perhitungan menggunakan data getaran.
2. Membandingkan hasil perhitungan daya dukung tiang yang dibantu dengan data getaran dengan daya dukung tiang yang didapat dari aplikasi SAP 2000.
3. Mengevaluasi apakah rumus pada penelitian sebelumnya yang menggunakan benda uji baja, bisa digunakan juga untuk tiang beton yang ditanam dalam tanah.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang diharapkan dari penelitian ini yaitu :

1. Untuk mencari alternatif lain dalam mengetahui daya dukung tiang pancang yang selama ini dilakukan dengan PDA Test
2. Untuk menyumbangkan ilmu di bidang konstruksi agar konstruksi bisa berjalan dengan efektif.

1.5. Batasan Masalah

Adapun beberapa batasan masalah dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Benda uji yang digunakan dibuat dalam dua variasi yaitu :
 - a. Beton murni tanpa tulangan
 - b. Beton dengan menggunakan tulangan diameter 10 mm.
2. Beton yang digunakan merupakan beton dengan mutu standar yaitu 25 Mpa.
3. Pada pengujian ini, daya dukung yang dimaksud adalah nilai P_{cr} (beban tekuk/beban kritis) yaitu pada saat beton mengalami retak pertama.
4. Ukuran tiang beton dalam penelitian ini 200 mm x 200 mm dan dengan kedalaman 1000 mm.
5. Pada penelitian yang akan dilakukan, hasil akhir yang akan didapatkan merupakan perbandingan hasil kapasitas tiang dengan menggunakan *software* SAP 2000 dan pengujian langsung di laboratorium.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Fondasi

Fondasi dapat didefinisikan sebagai bangunan yang berada dalam tanah yaitu bagian yang berdekatan dengan elemen bagian bawah tanah, serta setiap bangunan sipil seperti gedung, jembatan, jalan raya, terowongan, menara, dan sebagainya harus mempunyai pondasi. Pondasi digunakan dalam suatu konstruksi sebagai penopang bangunan untuk meneruskan gaya dari bangunan di atasnya ke lapisan tanah yang memiliki daya dukung yang kuat. Pondasi adalah bangunan yang dapat menahan beban baik horizontal maupun vertikal dalam kondisi stabil (Salmani, 2020).

2.1.1. Fondasi Tiang

Fondasi tiang adalah salah satu jenis pondasi yang sering dipakai dalam dunia konstruksi yang dimasukkan ke dalam tanah dengan menggunakan mesin pemancang sehingga mencapai kedalaman yang menyentuh tanah keras. Fondasi ini akan mendukung struktur bangunan dengan cara kerja yang cukup sederhana yaitu memindahkan beban yang dihasilkan dari struktur di atasnya kepada lapisan tanah sehingga struktur bangunan di atasnya akan lebih kokoh. Menurut Christady, 2008 fondasi tiang unggul digunakan di beberapa situasi antara lain :

1. Fondasi tiang dapat meneruskan beban bangunan walaupun dibawahnya adalah air atau tanah lempung, ke tanah dengan kedalaman yang lebih tinggi dengan kekuatan yang lebih tinggi juga.

2. Dapat meneruskan beban dari tanah lempung ke tanah keras yang kemudian fondasi memiliki daya dukung yang cukup untuk dapat mendukung beban oleh gesekan antara selimut tiang dengan tanah di sekelilingnya.
3. Fondasi tiang dapat mengangkur bangunan yang memiliki gaya angkat keatas akibat tekanan hidrostatik atau momen *buckling*.
4. Dapat menahan gaya-gaya horizontal atau gaya-gaya dari arah miring.
5. Dapat memadatkan tanah pasir, sehingga kapasitas tiang bertambah.

2.2. Pengertian Gelombang

Gelombang adalah gejala rambatan dari suatu getaran/usikan yang akan terus menerus terjadi apabila sumber dari getaran ini senantiasa bergetar, dan ketika merambat gelombang akan memindahkan energi dari satu tempat ke tempat lainnya tanpa memindahkan medium yang dilaluinya. (Julianto, Suryanti, dan Hidayati, 2019). Gelombang juga bisa bergerak tanpa menggunakan sarana seperti pada ruang hampa, contoh kecil dari gelombang apabila seutas tali dibentangkan lalu diikatkan pada tiang setelah itu salah satu ujung talinya diberikan goyangan maka akan terbentuk bukit dan lembah pada tali yang telah digoyangkan tadi, kumpulan bukit dan lembah itulah yang disebut gelombang. Contoh kecil lainnya dari gelombang yaitu pada ombak laut, gelombang ombak laut pada dasarnya dimulai dari energi yang merambat melalui air tanpa halangan dan melintasi seluruh lautan, biasanya gelombang ombak laut dapat menjadi besar dikarenakan angin yang bergerak diatas permukaan air yang memberikan energi kepada gelombang ombak laut.

2.2.1. Macam-macam Gelombang

Gelombang bisa disimpulkan sebagai suatu usikan yang terjadi pada suatu media yang merambat melalui media tersebut akan tetapi

medianya sendiri tidak ikut bergerak bersama dengan gelombangnya. Gelombang dapat dibedakan menjadi tiga apabila dilihat dari arah getarannya :

1. Gelombang Longitudinal, adalah gelombang yang arah rambatnya sejajar dengan dengan arah getar partikel-partikel media yang biasanya gelombang bergetar bersamaan dengan media itu sendiri. Jenis gelombang ini dapat merambat pada semua wujud zat (cair, padat, maupun gas).
2. Gelombang Transversal, adalah gelombang yang arah rambatnya tegak lurus dengan arah getar partikel-partikel medium, berbeda dengan gelombang longitudinal gelombang ini hanya merambat pada zat padat saja.
3. Gelombang torsional, adalah gelombang yang arah rambatnya mengikuti media yang berputar, gelombang ini dibangkitkan oleh gaya *shear* yang merupakan kombinasi dari kompresi – tension.

Selain dapat dibedakan dari arah getarannya gelombang pun dapat dibedakan dari mekanisme dan cepat rambatnya juga, diantaranya adalah :

1. Gelombang mekanis, adalah sebuah gelombang yang dalam proses perambatannya membutuhkan media yang nantinya melabuhkan energi dalam proses rambatan sebuah gelombang. Salah satu contoh dari gelombang mekanis adalah gelombang bunyi dengan cara kerjanya gelombang merambat melalui udara sebagai medianya sehingga music atau suara dapat terdengar hingga sampai ke telinga.
2. Gelombang elastis, yaitu gelombang yang merambat pada media yang elastis contohnya regangan dan tegangan pada karet.

3. Gelombang permukaan, adalah gelombang yang rambatannya hanya terjadi pada permukaan media. Gelombang ini juga dapat diklasifikasikan sebagai salah satu gelombang seismik.
4. Gelombang elektromagnetik, adalah gelombang yang cepat rambatnya berbanding lurus dengan besaran-besaran magnet dan listrik.

Jika suatu media diberikan usikan pada salah satu ujungnya, maka usikan itu akan merambat sepanjang media dan dapat terasa pada ujung media lainnya. Dapat disimpulkan bahwa suatu gelombang longitudinal elastis menjaral sepanjang media tersebut. Gelombang yang disebabkan oleh tumbukan (*impact*) yang diberikan secara vertikal pada permukaan tiang pondasi merupakan gelombang longitudinal elastis, gelombang ini juga dapat disebut sebagai *P-wave* atau *Primary Wave*. (Kartika, 2010).

2.2.2. Perambatan Gelombang Pada Tiang

Usikan *hammer hand* yang diberikan pada permukaan tiang akan menimbulkan tekanan sekilas yang mengakibatkan partikel pada permukaan tiang tersebut bergerak. Tekanan itu dikarenakan oleh pengaruh gaya F (*Force*), gaya ini menimbulkan getaran yang terjadi pada partikel dalam tiang yang merambat dengan kecepatan v tertentu. Pada tiang beton yang modulus elastisitasnya lebih besar dibandingkan dengan kayu dan kerapatan yang jauh lebih besar juga akan mengakibatkan gelombang tegangan merambat dengan kecepatan yang lebih rendah yaitu berkisar antara 2500 – 3000 m/s, sementara itu pada kayu yang modulus elastisitasnya lebih kecil daripada beton dan juga dengan kerapatan massa yang berbeda jauh daripada beton akan menimbulkan gelombang tegangan merambat dengan kecepatan mencapai 4500 m/s. Kecepatan rambat gelombang ini dipengaruhi oleh modulus elastisitas dan properti material. (Kartika, 2010).

$$V_c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \dots\dots\dots(2.1)$$

V_c = Kecepatan rambat gelombang

E = Modulus Elastisitas

ρ = Kerapatan massa (*mass density*)

Usikan yang diberikan pada permukaan tiang menimbulkan gelombang tegangan (*stress wave*) yang akan menjalar ke seluruh bagian tiang dengan kecepatan yang tetap dan akan dipantulkan kembali keatas permukaan. Saat pemantulan gelombang itu kembali ke atas permukaan tiang, gelombang tersebut dapat diukur dengan hasil pengukurannya berupa suatu kurva percepatan yang setelah itu akan diubah sebagai suatu fungsi waktu. Dan gelombang yang memantul tersebut juga dapat disebabkan oleh ketahanan tanah yang akan memberikan pengaruh terhadap hasil dari pengukuran berupa kurva percepatan. Semakin besar kekuatan tanah, semakin kuat gelombang perlawanan yang timbul, sehingga gelombang aksi maupun reaksi yang muncul akibat perlawanan tanah akan direkam dan rekaman inilah yang dapat dianalisa untuk mendapatkan daya dukung tiang yang diuji. (Hardjasaputra, Ibrahim, dan Tampubolon, 2006).

2.3. Frekuensi Alami Struktur

Frekuensi alami struktur adalah frekuensi dari struktur yang secara alami cenderung untuk bergetar jika struktur tersebut terkena usikan/gangguan. Struktur pada kondisi yang terlihat diam ternyata tetap memiliki gelombang yang berjalan didalamnya. Jika sebuah struktur bergetar pada suatu frekuensi yang sesuai dengan frekuensi alami, maka struktur tersebut akan memberikan respon berupa amplitudo yang terus meningkat seiring bertambahnya waktu dan membutuhkan energi yang sangat sedikit, sampai pada suatu waktu

struktur itu menjadi kelebihan tegangan dan runtuh. (Helmi, Alami, dan Agustriana, 2019). Menurut Alami dkk, frekuensi alami balok dapat diperkirakan menggunakan rumus :

$$Fn = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

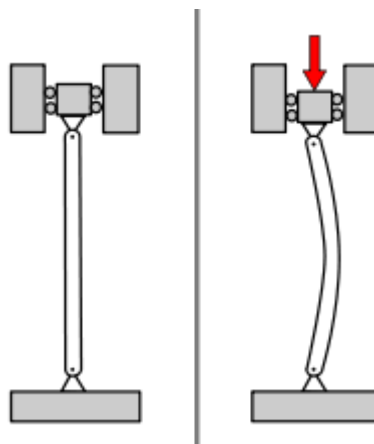
Fn : Frekuensi Alami (Hz)

k : Kekakuan (N/m)

m : Massa (kg)

2.4. Beban Tekuk (*Buckling Load*)

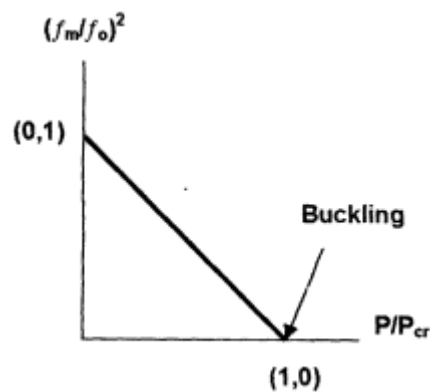
Beban tekuk adalah beban aksial yang terjadi pada struktur yang tipis atau langsing sehingga struktur tersebut tidak dapat mempertahankan bentuk aslinya dikarenakan terjadi lendutan besar yang akan mengubah struktur. *Buckling* merupakan salah satu jenis kegagalan struktur dimana hal ini terjadi akibat pembebanan secara aksial pada struktur yang tipis atau langsing sehingga tiang tersebut akan membengkok dan terdeteksi secara lateral sehingga dapat dikatakan struktur tersebut mengalami *buckling*. (Bakhtiar, 2015). Gambar 2.1. di bawah ini merupakan ilustrasi kolom langsing yang mengalami *buckling*.



Gambar 2.1. Tiang langsing yang diberikan beban aksial

2.5. Hubungan Antara Frekuensi Alami dan Kapasitas Beban Tekuk

Salah satu aspek utama dari *non-destructive test* yaitu dapat memprediksi secara akurat berapa besarnya beban yang dapat diterima oleh tiang tanpa merusak sampel yang diuji, hal ini sangatlah menguntungkan mengingat pengujian dapat dilakukan berkali-kali tanpa harus mengganti sampel. Cara kerja *non-destructive test* ini adalah dengan memberikan usikan pada tiang sehingga getaran akan merambat pada tiang dan secara otomatis getaran akan terekam oleh alat bernama *labquest 3*, sehingga didapat hasil akhir berupa data getaran. Data getaran yang didapat dikonversi menjadi satuan hertz (frekuensi). Setelah frekuensi didapatkan dilanjutkan dengan menggunakan persamaan dari penelitian sebelumnya yang dibuat berdasarkan hubungan antara frekuensi alami dan besarnya beban tekuk. Berdasarkan hasil penelitiannya, Alami (2004) menyatakan bahwa saat tiang dalam kondisi tekuk (*buckling*), frekuensi dari struktur menjadi nol seperti pada Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2. Hubungan antara frekuensi dan beban tekuk.
(Sumber : Alami, 2004)

2.6. Studi Perkiraan Kapasitas Tiang dengan Data Getaran

Fondasi adalah salah satu struktur bagian bawah bangunan yang bersentuhan langsung dengan tanah yang berfungsi untuk menahan beban bagian lainnya yang berada di atasnya (Joseph E. Bowles, 1997). Jenis-jenis fondasi ada beberapa macam yaitu diantaranya adalah fondasi *bore pile*, fondasi telapak,

fondasi menerus, fondasi rakit, dan fondasi tiang . Fondasi tiang pancang merupakan salah satu tipe fondasi favorit yang sering digunakan dalam dunia konstruksi karena fondasi jenis tiang pancang bisa digunakan untuk pembangunan dengan ukuran yang kecil contohnya seperti proyek rumah ataupun proyek *medium* seperti perkantoran, dengan posisi fondasi tiang pancang yang bisa ditata dengan mudah dalam rancangan pembangunan dan juga ukuran fondasi tiang yang bervariasi sehingga hal itulah yang membuat fondasi tiang juga disebut-sebut sebagai salah satu tipe fondasi terbaik untuk membangun bangunan kecil hingga *medium*. Fondasi tiang memiliki kapasitas atau dalam beberapa literatur biasa digunakan istilah *pile carrying* atau *pile capacity*, yang dimaksud *pile carrying* atau *pile capacity* adalah kemampuan tiang untuk menerima beban.

Ada beberapa cara untuk menguji kapasitas dari suatu tiang yaitu yang pertama dengan PDA (*pile driving analysis*) yang bisa digolongkan ke *high strain test*, yang kedua yaitu dengan cara memperkirakan kapasitas tiang dengan data getaran yang bisa digolongkan ke *low strain integrity test*. *Low strain integrity test* lebih mudah dalam pelaksanaannya dan karena pelaksanaannya yang tidak rumit inilah yang membuat cara ini otomatis lebih ekonomis. Yaitu dengan hanya memasang alat yang bernama *3-axis accelerometer* pada tiang yang akan diuji, setelah itu pukul tiang dengan *hammer* yang bertujuan untuk memberikan usikan lalu data yang dibutuhkan akan langsung diperoleh dengan cepat. Data hasil regangan percepatan gelombang itu akan otomatis terekam. Hasil data yang didapat dari *3-axis accelerometer* tersebut berupa grafik *time domain* yang akan diubah ke grafik frekuensi domain dengan menggunakan metode FFT (*fast fourier transform*) yang bertujuan untuk mendapatkan nilai frekuensi. Setelah nilai frekuensi didapatkan dapat digunakan persamaan dari beberapa literatur salah satunya (Alami, 2000) yang berkaitan tentang hubungan antara frekuensi alami dan besarnya beban tekuk, persamaan tersebut dapat ditulis sebagai berikut :

$$\frac{P}{P_{cr}} + \left(\frac{F_m}{F_o}\right)^2 = 1 \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

- P : Beban (Newton)
 P_{cr} : Beban Tekuk / Beban Critical (Newton)
 F_m : Frekuensi pada saat beban P (Hertz)
 F_o : Frekuensi alami (Hertz)

2.6.1. 3 – Axis Accelerometer (Accelerometer 3 Arah)

Accelerometer adalah sebuah alat yang akan dipasang pada permukaan tiang yang berfungsi untuk merekam hasil dari percepatan dinamis dari partikel-partikel tiang yang telah dipukul dengan *hammer* sebelumnya. *Accelerometer* adalah suatu sensor yang dipakai untuk mengukur percepatan suatu benda atau objek baik percepatan dinamis maupun statis. (Haryanti, dan Kusumaningrum, 2008). Terdapat 2 jenis pengukuran yang dapat dilakukan dengan menggunakan *accelerometer* yaitu pengukuran dinamis dan pengukuran statis, pengukuran dinamis merupakan pengukuran yang dilakukan terhadap suatu objek yang mengalami pergerakan sedangkan pengukuran statis adalah pengukuran terhadap gravitasi bumi.

2.7. Pengenalan Software SAP 2000

SAP 2000 merupakan salah satu program analisis struktur dengan tujuan untuk memudahkan dalam pemodelan struktur, implementasi analisis, *checking* desain atau optimalisasi desain yang semuanya ditampilkan dalam satu tampilan. Dengan output yang dihasilkan dapat ditampilkan sesuai dengan keinginan dimulai dari bentuk model struktur, grafik, maupun *spreadsheet*. Dalam kasus ini SAP 2000 akan digunakan sebagai alat bantu pemeriksaan kapasitas tiang yang sebelumnya telah diuji dalam laboratorium.

III. METODOLOGI PENELITIAN

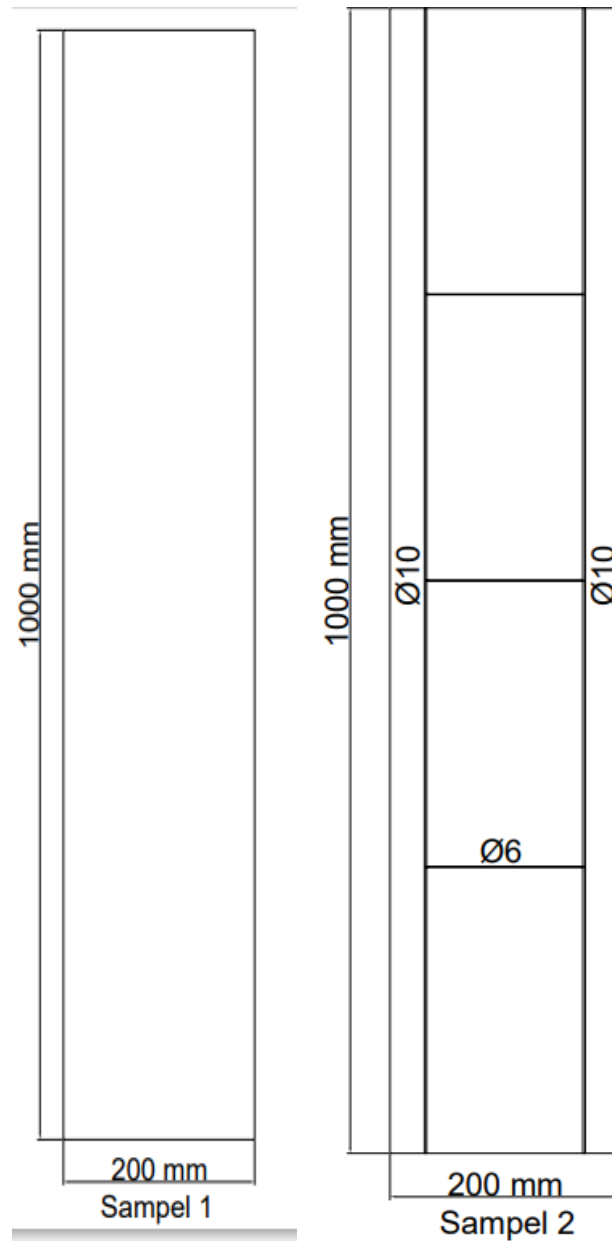
3.1. Uraian Umum

Pada penelitian ini digunakan metode eksperimental di laboratorium. Penelitian secara eksperimental berarti penelitian tersebut dilakukan secara langsung untuk mendapatkan data yang diinginkan kemudian diolah untuk ditarik sebuah kesimpulan. Pengujian eksperimental ini dilakukan di laboratorium bahan dan konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung. Pengujian dibagi ke dua tempat, yaitu di laboratorium dan di lapangan. Pengujian di laboratorium menggunakan *loading frame* untuk memberikan beban dan *proving ring* untuk mengukur besar beban, sedangkan pengujian di lapangan menggunakan karung berisi pasir sebagai bebannya. Pembebanan pada tiang beton di laboratorium antara 0 – 2000 kg, sedangkan pembebanan pada tiang beton yang di lapangan antara 0 – 200 kg. Keadaan tiang beton di laboratorium yaitu *standing free*, namun untuk tiang beton di lapangan ditanam sedalam 90 cm.

3.2. Benda Uji

Penelitian ini menggunakan benda uji dengan ukuran alas 20 x 20 cm² yang berbentuk persegi panjang dengan kedalaman 100 cm dan dibutuhkan sebanyak 2 (dua) sampel. Berikut adalah spesifikasi buah benda uji dalam penelitian serta gambar tampak sampingnya bisa dilihat pada Gambar 3.1. :

1. Benda uji berukuran 20 x 20 cm² dengan kedalaman 100 cm.
2. Benda uji berukuran 20 x 20 cm² dengan kedalaman 100 cm, dan menggunakan 4 buah tulangan memanjang berdiameter 10 mm.



Gambar 3.1. Varian benda uji.

3.3. Alat yang digunakan

1. Alat *Labquest 2*

Labquest 2 adalah alat berupa layar yang dapat dihubungkan langsung dengan *accelerometer* sehingga dapat memudahkan penguji dalam mengumpulkan data dan melihat hasil dari penelitian eksperimental tersebut. *Labquest 2* merupakan salah satu alat dengan sistem

touchscreen yang dilengkapi dengan *high resolution color screen*, dapat dicas kembali dengan kapasitas baterai yang besar sehingga pengambilan data dengan jangka waktu yang panjang dapat dilakukan dengan tanpa adanya hambatan terhadap daya. *Labquest 2* dapat dilihat pada Gambar 3.2. di bawah ini.



Gambar 3.2. Data logger *labquest 2*.

2. 3- Axis Accelerometer

Alat ini berperan sebagai sensor yang akan dipasang langsung dibawah kepala tiang yang akan diuji. *Accelerometer* terintegrasi dengan data logger *Labquest 2* yang berfungsi untuk menentukan gaya dan kecepatan dalam bentuk grafik pada saat tiang yang diuji diberi usikan dengan *hammer*, data akan langsung dicatat oleh data *logger*. *3- Axis Accelerometer* dapat dilihat pada Gambar 3.3. di bawah ini.



Gambar 3.3. *3-axis accelerometer*.

3. *Power Supply*

Power Supply digunakan sebagai alat pengisi daya data logger *labquest*

2. *Power Supply* dapat dilihat pada Gambar 3.4. di bawah ini.



Gambar 3.4. *Power supply*.

4. *Hand Hammer*

Hand Hammer adalah alat yang digunakan untuk memberikan usikan diatas permukaan tiang yang bertujuan untuk menghasilkan gelombang longitudinal elastis (*Primary Wave*) yang akan diukur kecepatan dan percepatannya oleh *accelerometer* dan dicatat hasilnya dengan *data logger*. *Hand hammer* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.5. di bawah ini.



Gambar 3.5. *Hand hammer*.

3.4. Proses Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dimulai dari tahap persiapan pengecoran diantaranya adalah menimbang agregat halus, agregat kasar, air dan semen sesuai dengan perhitungan *mix design* yang telah dilakukan. Gambar 3.6. – 3.8. di bawah ini merupakan gambar proses penimbangan material :



Gambar 3.6. Penimbangan agregat halus.



Gambar 3.7. Penimbangan agregat kasar.



Gambar 3.8. Penimbangan semen.

Setelah semua material ditimbang sesuai dengan perhitungan *mix design*, campurkan semua material ke dalam molen yang dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9. Proses memasukkan material ke dalam molen.

Setelah semua material masuk ke dalam molen, biarkan beberapa saat hingga semua material tercampur rata. Setelah itu tumpahkan beton segar dalam wadah besar yang bisa dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10. Menuangkan beton segar dari molen ke wadah besar.

Tahap selanjutnya adalah pengujian *slump* menggunakan kerucut *abrams*, meteran, dan tongkat besi. Pengujian *slump* test dapat dilihat pada Gambar 3.11. – 3.13. di bawah ini.



Gambar 3.11. Tuangkan beton segar ke dalam kerucut *abrams*.



Gambar 3.12. Tumbuk beton segar sebanyak 25 kali dengan tongkat besi.

Setelah kerucut *abrams* terisi penuh oleh beton segar, angkat secara perlahan kemudian ukur nilai *slump* dengan meteran. Pada pengujian ini didapatkan nilai *slump test* sebesar 15,5 cm seperti pada Gambar 3.13. di bawah ini.



Gambar 3.13. Pengukuran nilai *slump test*.

Langkah selanjutnya yaitu memasukkan semua beton segar kedalam bekisting yang telah disiapkan sebelumnya yaitu 1 buah bekisting untuk tiang dan 1 buah bekisting untuk kubus seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.14. – 3.15.



Gambar 3.14. Menuangkan beton segar ke dalam bekisting tiang.



Gambar 3.15. Menuangkan beton segar ke dalam bekisting kubus.

Tuangkan beton segar setiap $\frac{1}{3}$ bagian bekisting, lalu gunakan *vibrator* untuk memadatkan beton segar seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.16. dan 3.17. di bawah ini.

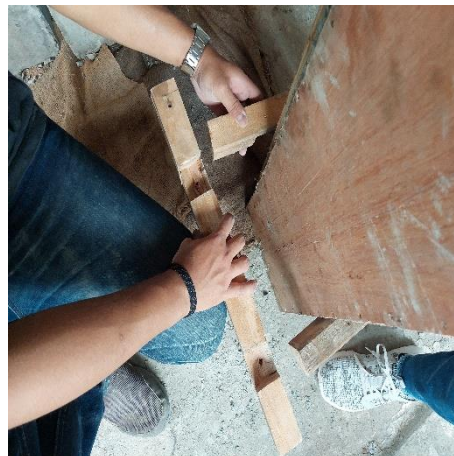


Gambar 3.16. Memadatkan beton segar dengan *vibrator*.



Gambar 3.17. Memadatkan beton segar dengan menggunakan *vibrator*.

Langkah selanjutnya yaitu biarkan beton hingga kering kurang lebih selama 24 jam. Setelah beton mengering bekisting pada benda uji dapat dilepas seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18. Pembukaan bekisting pada benda uji.

Setelah semua bekisting dilepaskan, benda uji tiang 1 meter dapat di-*curing* dengan menggunakan karung goni yang disiram oleh air. Dan untuk benda uji kubus proses *curing* dengan cara merendamnya dalam bak air. Proses *curing* pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.19. dan 3.20.



Gambar 3.19. Tahap *curing* pada benda uji tiang beton.



Gambar 3.20. Tahap *curing* pada benda uji beton kubus.

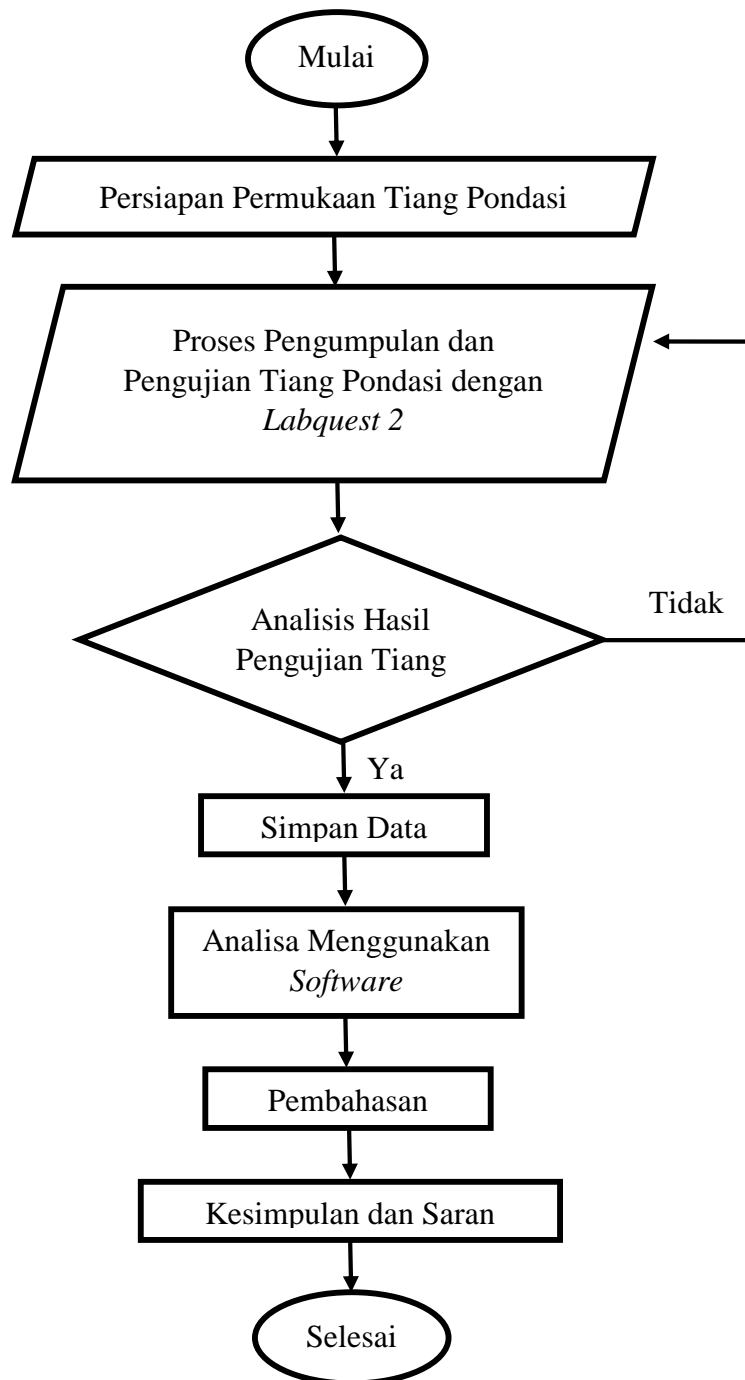
Curing pada beton dilakukan selama 28 hari, setelah beton selesai di-*curing* dapat dilakukan pengujian getar pada benda uji tiang untuk diketahui frekuensi alaminya, dan uji kuat tekan pada benda uji kubus untuk diketahui kuat tekannya.

3.5. Pengambilan Sampel Tanah

Proses pengambilan sampel tanah menggunakan alat *hand bore* dilanjutkan dengan proses pengambilan tanahnya menggunakan tabung, agar tanah yang didapat merupakan kondisi saat tanah tidak terganggu apapun (*undisturbed*).

Sampel tanah yang telah diambil kemudian di uji di laboratorium untuk mendapatkan sifat-sifat tanah (*index properties*).

3.6. Skema Jaringan Penelitian



Gambar 3.21. Skema jaringan penelitian

3.7. Persiapan Permukaan Tiang Pondasi

Accelerometer merupakan alat yang berfungsi sebagai penangkap data getar, dengan fungsinya tersebut *accelerometer* membutuhkan permukaan tiang beton yang rata dan halus agar permukaan *accelerometer* dapat menyentuh secara sempurna pada tiang beton. Gambar 3.22. merupakan tahap meratakan dan menghaluskan permukaan beton :



Gambar 3.22. Meratakan dan menghaluskan permukaan tiang beton.

Setelah permukaan tiang beton rata dan halus, tiang beton akan di bor terlebih dahulu agar *accelerometer* dapat di angkurkan. Berikut ini pada Gambar 3.23. dan 3.24. adalah proses pengangkuran *accelerometer* terhadap tiang beton.



Gambar 3.23. Bor tiang beton untuk pemasangan *accelerometer*.

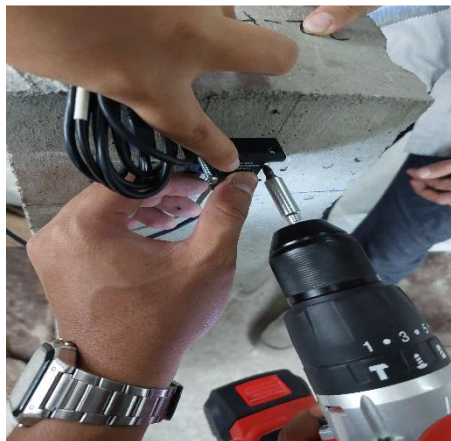


Gambar 3.24. Angkurkan *accelerometer* dengan obeng dan baut.

3.8. Prosedur Pengumpulan Data

Terdapat beberapa langkah-langkah dalam proses pengumpulan data dengan alat bernama *3-axial accelerometer* yang dibantu juga dengan data logger bernama *labquest 2*, adapun langkah-langkahnya sebagai berikut :

1. Angkurkan sensor (*accelerometer*) pada benda uji lalu hubungkan ujung lain pada sensor dengan data logger *labquest 2*. Terdapat 3 buah *connector* pada *labquest 2* yaitu *connector x*, *connector y*, dan *connector z*. Hubungkan *accelerometer* pada *labquest 2* sesuai dengan masing-masing arah (x/y/z) seperti pada Gambar 3.25. dan 3.26.



Gambar 3.25. Mengangkur *accelerometer* pada sisi samping tiang beton.



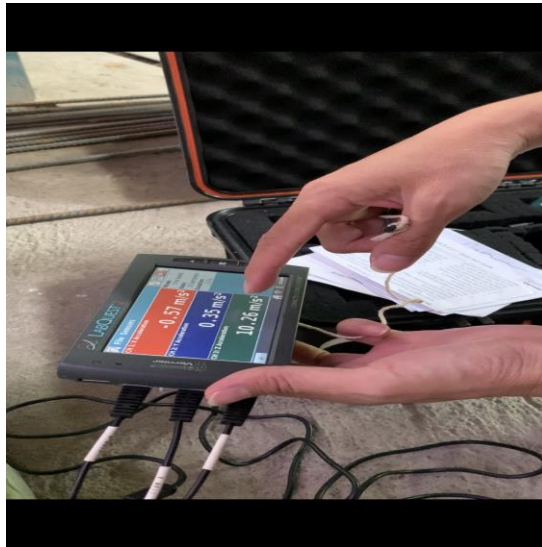
Gambar 3.26. Menghubungkan sensor dengan data *logger* sesuai sumbu.

2. Tekan tombol power pada pojok kiri atas data logger *labquest 2* dan tunggu proses loading beberapa menit seperti pada Gambar 3.27. di bawah ini.



Gambar 3.27. Menekan tombol *power* pada data *logger*.

3. Pada data logger akan tampil 3 data frekuensi yaitu dari arah x, y, dan z seperti pada Gambar 3.28. di bawah ini.



Gambar 3.28. Tampilan 3 data frekuensi arah x, y, dan z.

4. Pada sebelah kanan layar terdapat 3 pilihan yaitu *mode*, *rate*, dan *duration*.
5. *Setting* bagian mode pilih *time based*, setelah itu pada bagian rate tuliskan 50 sampels, dan pada bagian duration tuliskan 30 second. Lalu setelah itu klik tombol done seperti pada Gambar 3.29. di bawah ini.



Gambar 3.29. *Setting* bagian mode.

- Setelah *accelerometer* dan *labquest 2* siap, atur *proving ring* agar berada ditengah-tengah tiang beton seperti pada Gambar 3.30. di bawah ini.



Gambar 3.30. Atur *proving ring* agar berada di tengah-tengah tiang.

- Setelah *proving ring* berada di tengah-tengah tiang, langkah selanjutnya adalah menekan tuas pada *loading frame* sesuai dengan beban yang sudah direncanakan sebelumnya seperti pada Gambar 3.31. di bawah ini.



Gambar 3.31. Pemberian beban menggunakan *loading frame*.

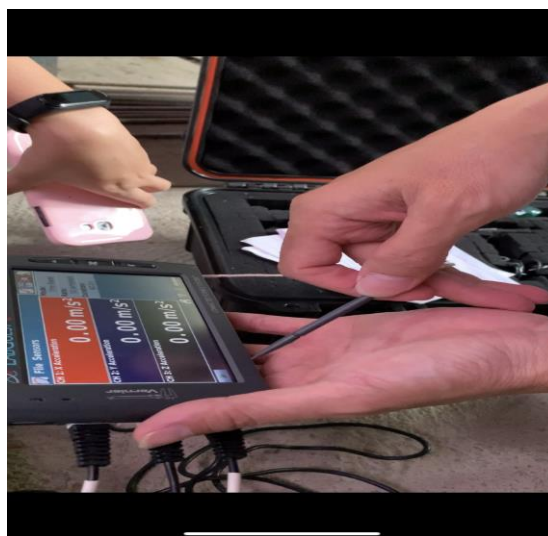
- Beban yang akan diberikan terdiri dari 7 variasi beban diantaranya 0, 250, 500, 750, 1000, 1500, dan 2000 kg.

- Setelah itu nol-kan semua data frekuensi (x,y,z) di setiap perubahan beban, dengan cara tekan dan tahan pada masing-masing arah (x,y,z) lalu tekan “zero” seperti pada Gambar 3.32. di bawah ini.



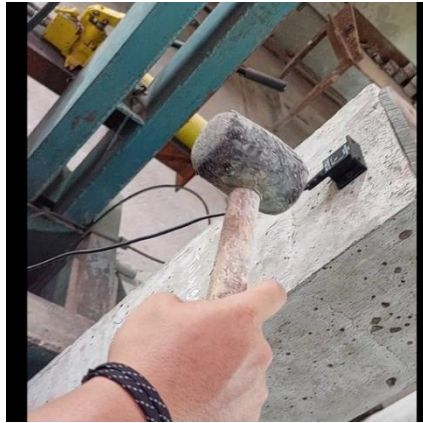
Gambar 3.32. *Reset* data frekuensi ke angka 0.

- Setelah itu pada pojok kiri bawah layar terdapat tombol dengan gambar (▶). Tekan tombol tersebut seperti pada Gambar 3.33. di bawah ini.



Gambar 3.33. Menekan tombol *play* (▶) pada data *logger*.

11. Ketuk benda uji dengan menggunakan palu secara bertahap sampai dengan waktu 60 *second* yang telah diatur sebelumnya habis seperti pada Gambar 3.34. di bawah ini.



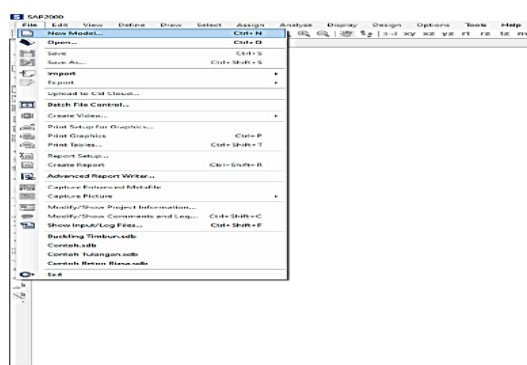
Gambar 3.34. Mengetuk benda uji dengan palu.

12. Setelah itu biarkan benda uji bergetar sesuai dengan waktu yang telah di *setting* sebelumnya yaitu 60 *second*. Langkah selanjutnya adalah menyimpan data getaran, dan menganalisis data getaran tersebut dengan menggunakan *software logger pro v.3.16.2*.

3.9. Proses *Modelling* SAP 2000

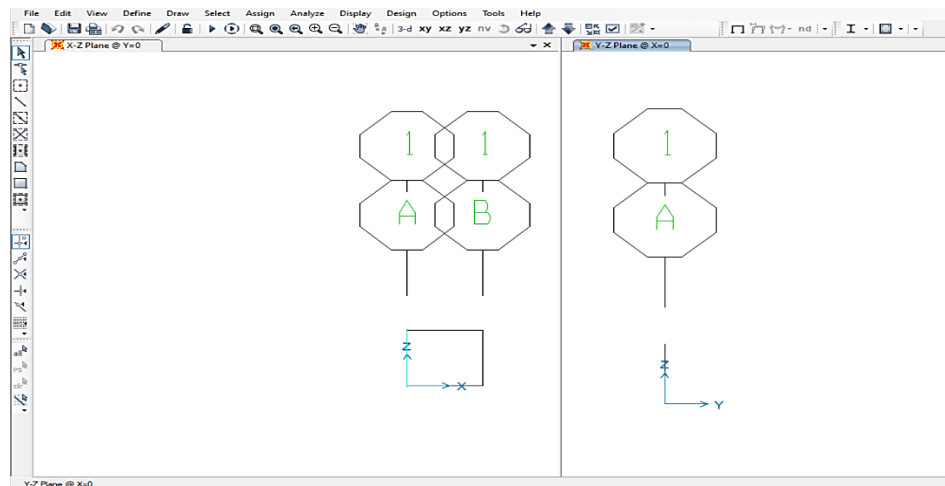
Adapun langkah-langkah untuk mendapatkan nilai P_{cr} dari *modelling* SAP 2000 v.22 dapat dilihat dibawah ini.

1. Buka *software* SAP 2000 v.22 kemudian pilih *new model*.



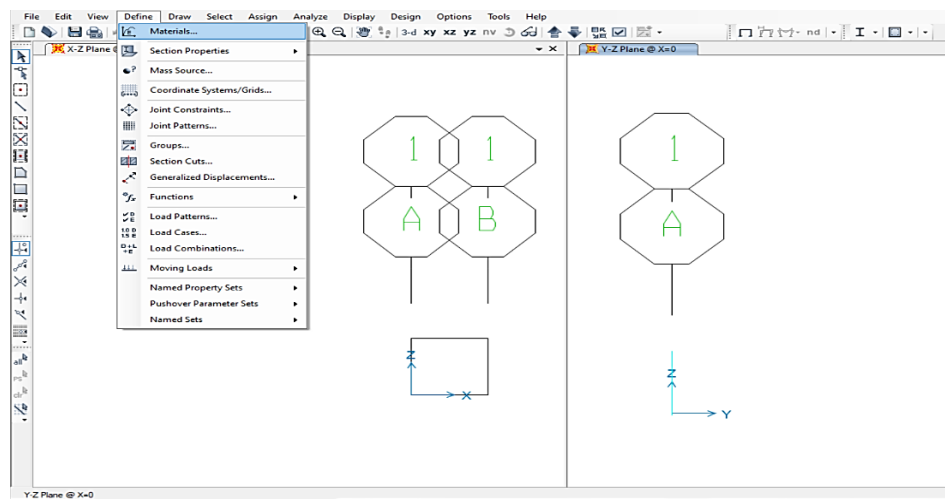
Gambar 3.35. Pilih *new model*.

4. Maka tampilan pada layar SAP 2000 v.22 akan menjadi seperti Gambar 3.38. di bawah ini.



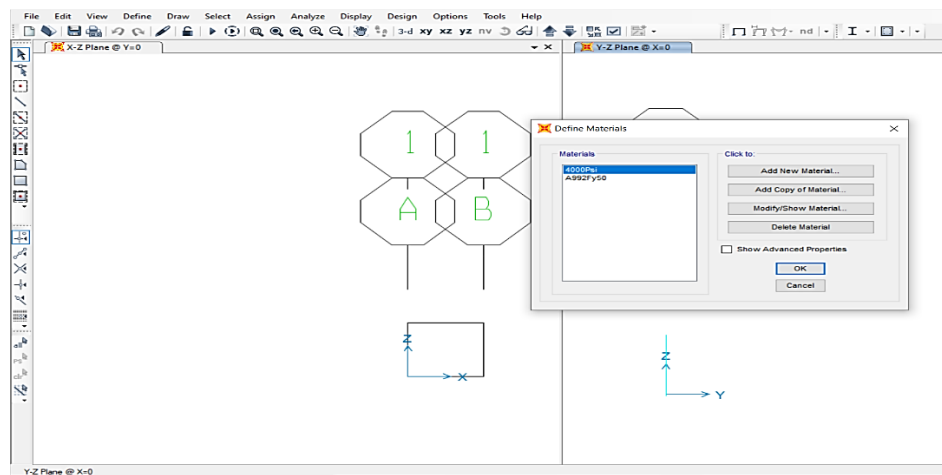
Gambar 3.38. Tampilan pada SAP 2000 v.22.

5. Langkah selanjutnya adalah memilih material yang akan digunakan dengan memilih menu *define* lalu pilih *materials* dan *add new materials*. Seperti pada Gambar 3.39. dan 3.40.



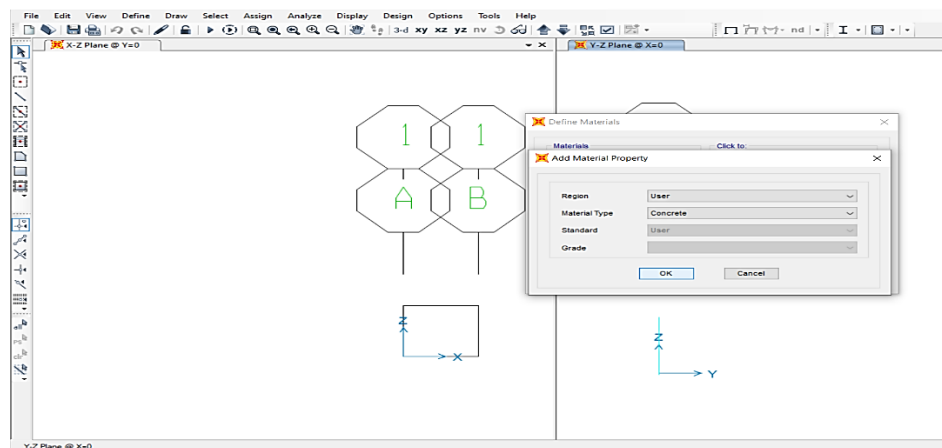
Gambar 3.39. Pilih *materials*.

6. Pilih *add new materials*.



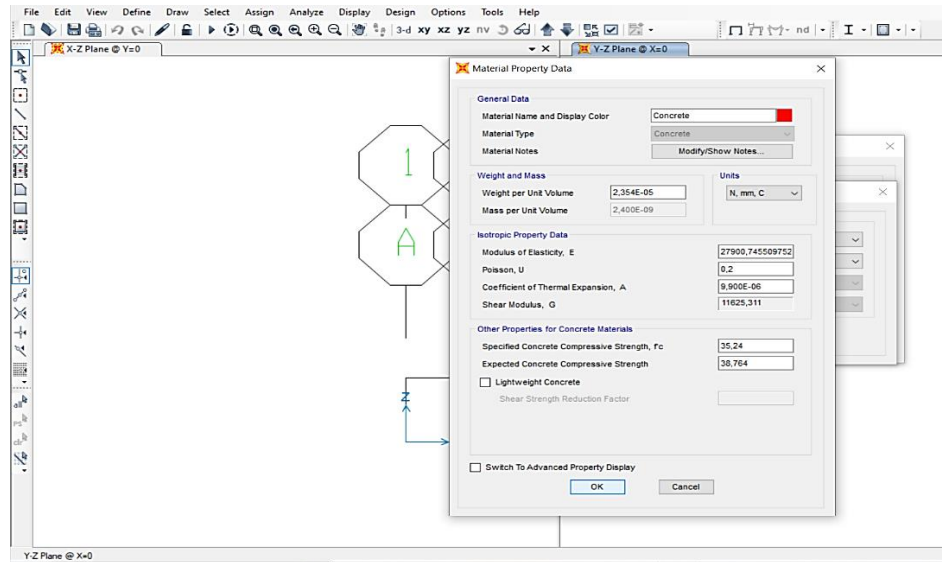
Gambar 3.40. Pilih *add new materials*.

7. Pada *materials property* pilih *region* sesuai dengan tempat pengguna dan pilih *concrete* pada *material type* yang dapat dilihat pada gambar 3.41.



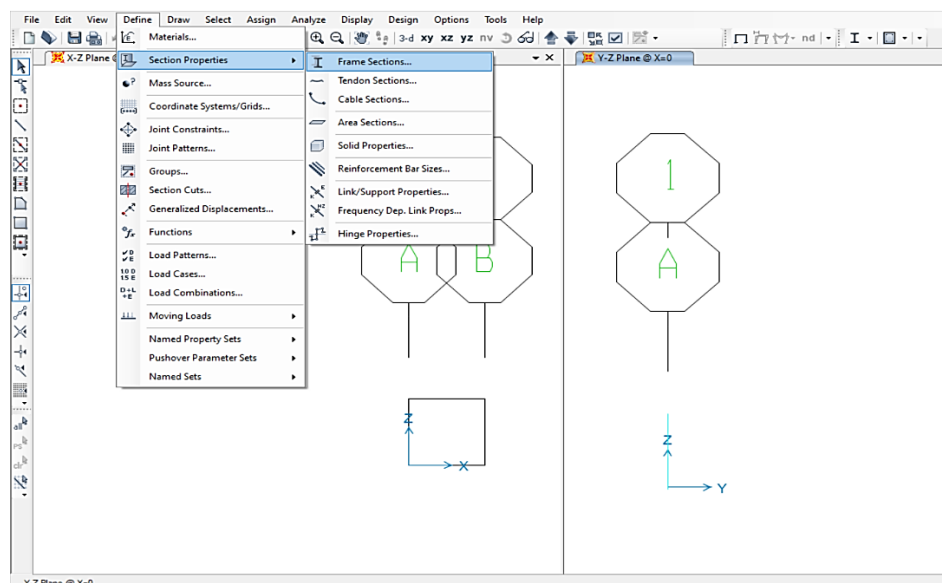
Gambar 3.41. Atur *region* dan *material type*.

8. Pada *box dialog material property data* pengisian disesuaikan dengan gambar dibawah ini dengan menggunakan massa jenis beton 2400 kg/m^3 dan f'_c sebesar $35,24 \text{ MPa}$ yang didapat dari hasil pengujian kuat tekan yang bisa dilihat pada Gambar 3.42. di bawah ini.



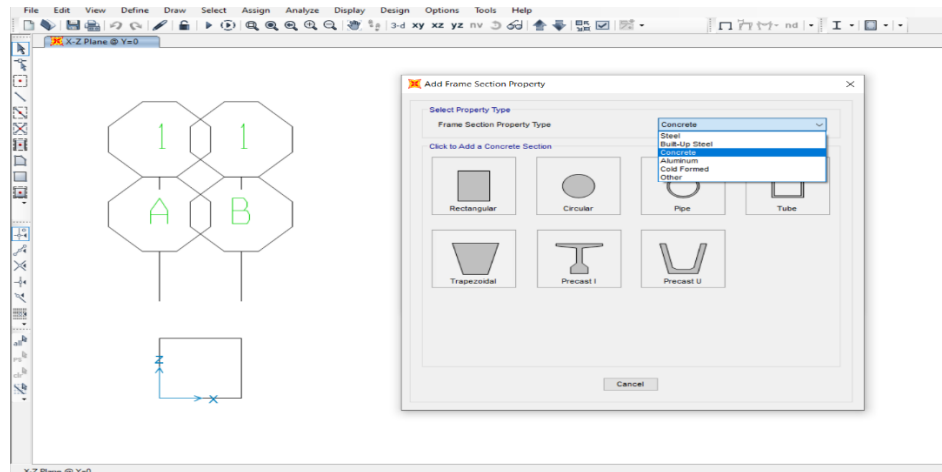
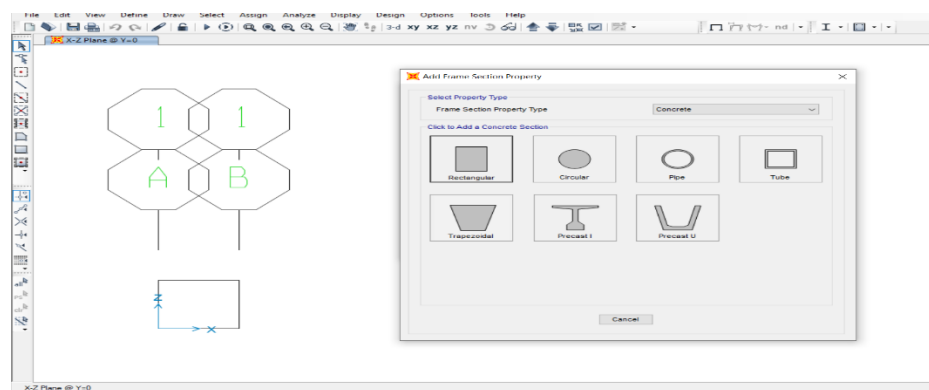
Gambar 3.42. Masukkan data pada *material property data*.

9. Langkah berikutnya adalah membuat *frame sections* dengan memilih menu *define* kemudian pilih *section properties* seperti pada gambar 3.43.

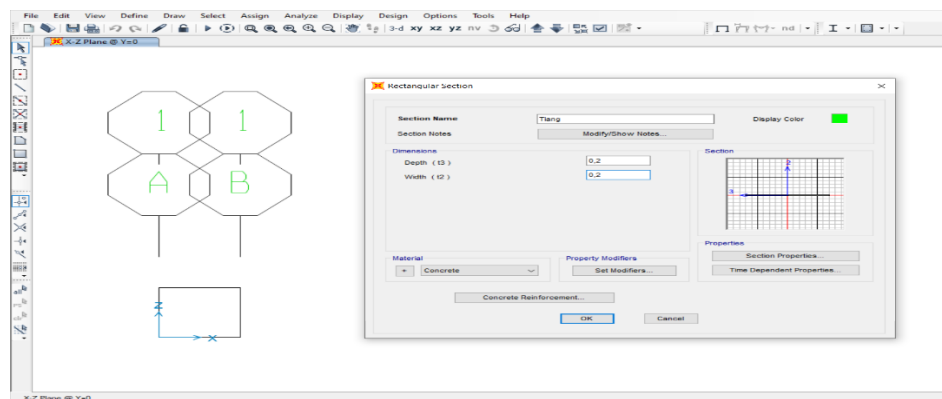


Gambar 3.43. Pilih *frame sections*.

10. Selanjutnya pilih *add new property* lalu pilih *concrete* pada bagian *frame section property type* kemudian pilih bentuk *rectangular* seperti pada Gambar 3.44. dan 3.45.

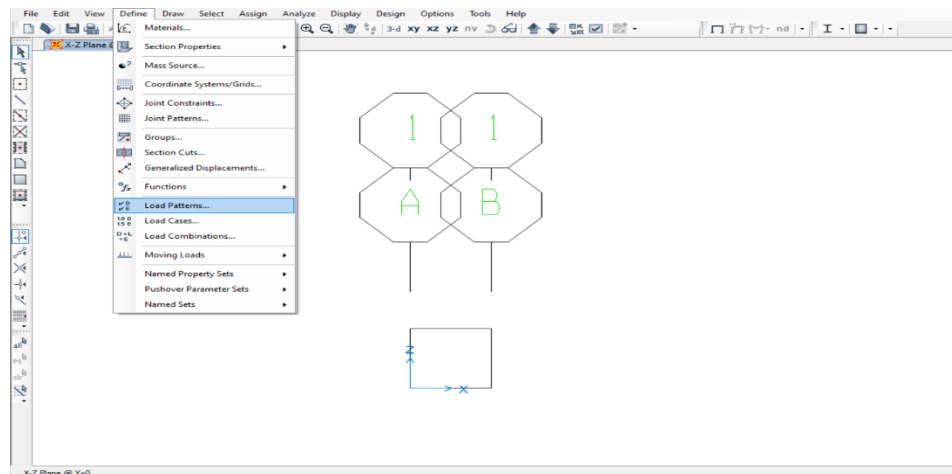
Gambar 3.44. Pilih *concrete*.Gambar 3.45. Pilih bentuk *rectangular*.

11. Pada bagian kotak *dialog rectangular section* atur dimensi beton sesuai dengan data yang ada dapat dilihat pada Gambar 3.46. di bawah ini.

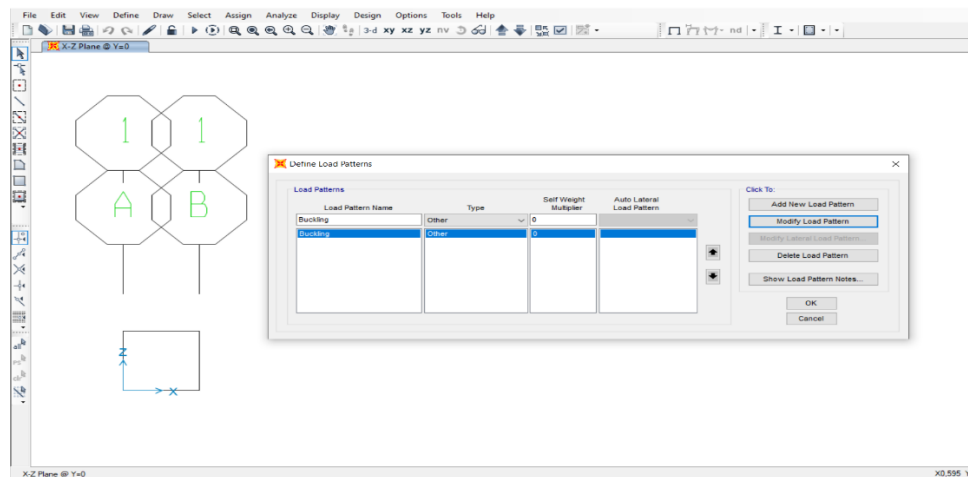


Gambar 3.46. Isi dimensi tiang sesuai dengan data yang ada.

12. Setelah membuat *section property* langkah selanjutnya adalah membuat *load patterns* yang terdapat pada menu *define* dan pada bagian *define load patterns add new load pattern* dengan memilih tipe beban *other* dan namakan beban dengan nama “*buckling*” seperti pada Gambar 3.47. dan 3.48.

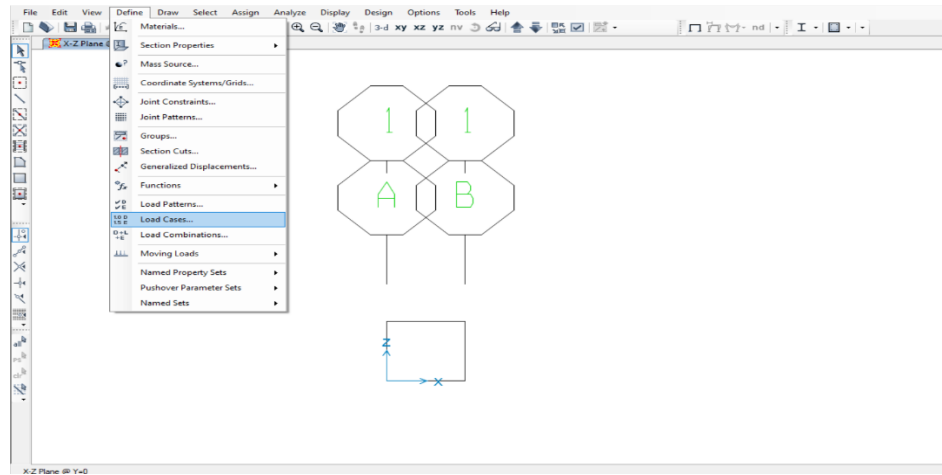
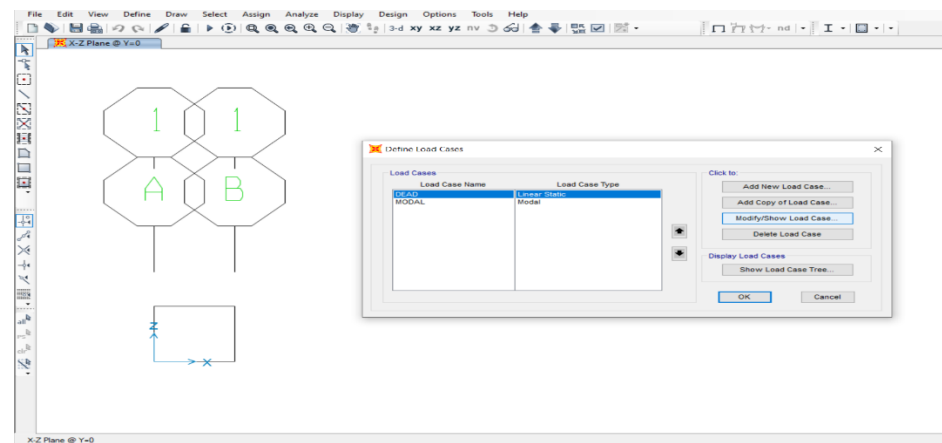
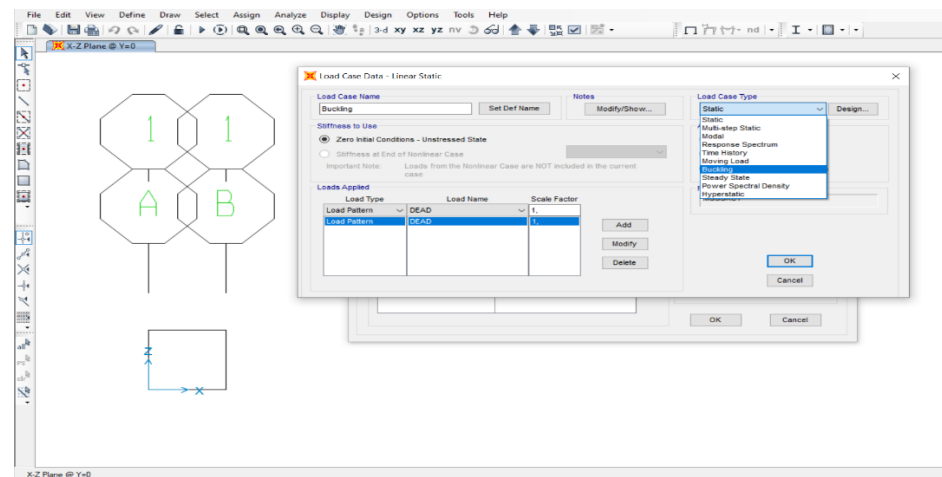


Gambar 3.47. Pilih *load patterns*.

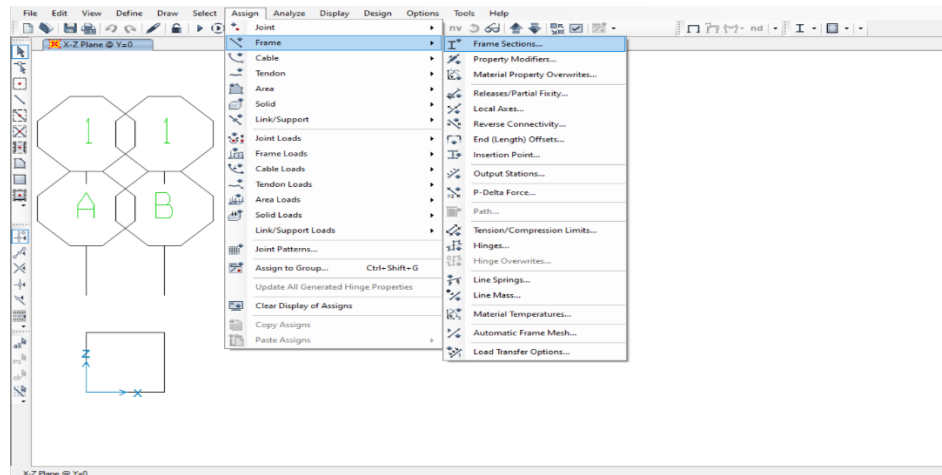


Gambar 3.48. Masukkan beban *buckling*.

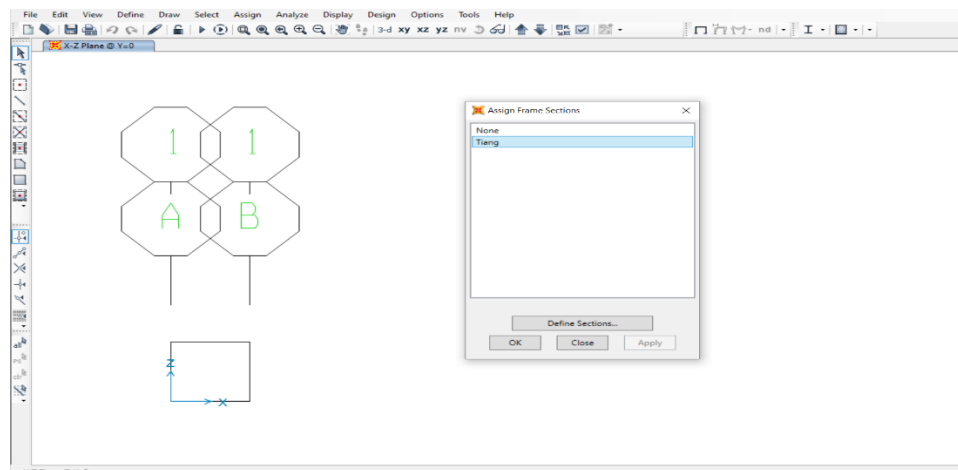
13. Masih pada menu *define* setelah terbuat *load patterns* langkah selanjutnya adalah membuat *load cases* pada bagian *load cases buckling* lakukan *modify load cases* kemudian pilih *buckling* pada *load cases type* kemudian pilih ok seperti pada Gambar 3.49 – 3.51.

Gambar 3.49. Pilih *load cases*.Gambar 3.50. Pilih *modify load cases*.Gambar 3.51. Pilih *buckling* pada *load cases* type.

14. Langkah berikutnya *select* tiang kemudian pada menu *assign* pilih *frame* lalu *frame sections* untuk memberikan material pada tiang yang akan diuji. Pada kotak dialog *assign frame sections* pilih material beton kemudian *apply* dan dilanjutkan dengan memilih ok yang dapat dilihat pada Gambar 3.52. dan 3.53.

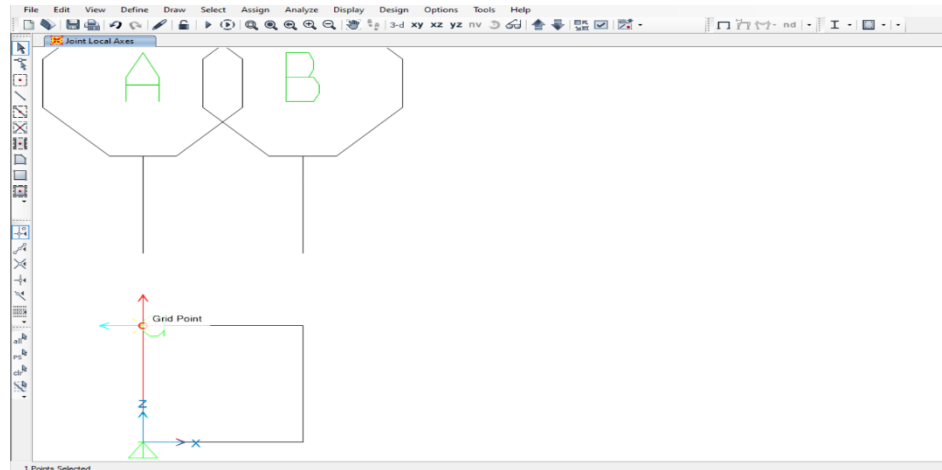


Gambar 3.52. Pilih *frame sections* pada menu *assign*.

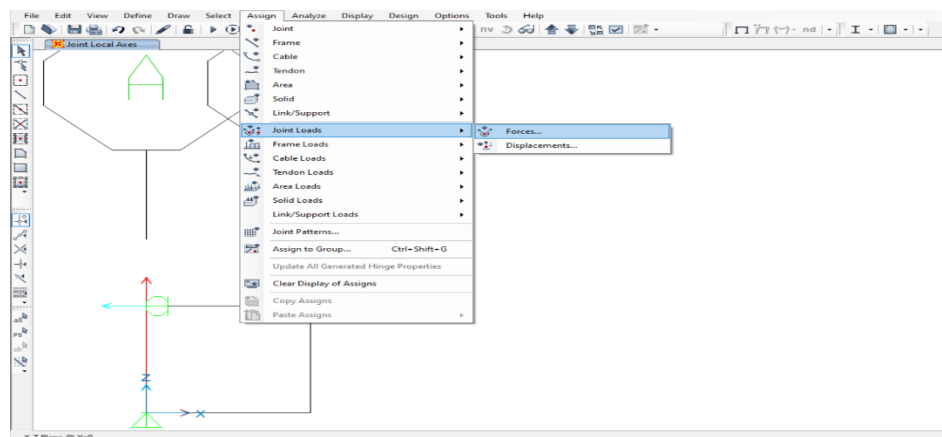


Gambar 3.53. Pilih tiang pada kotak dialog *assign frame sections*.

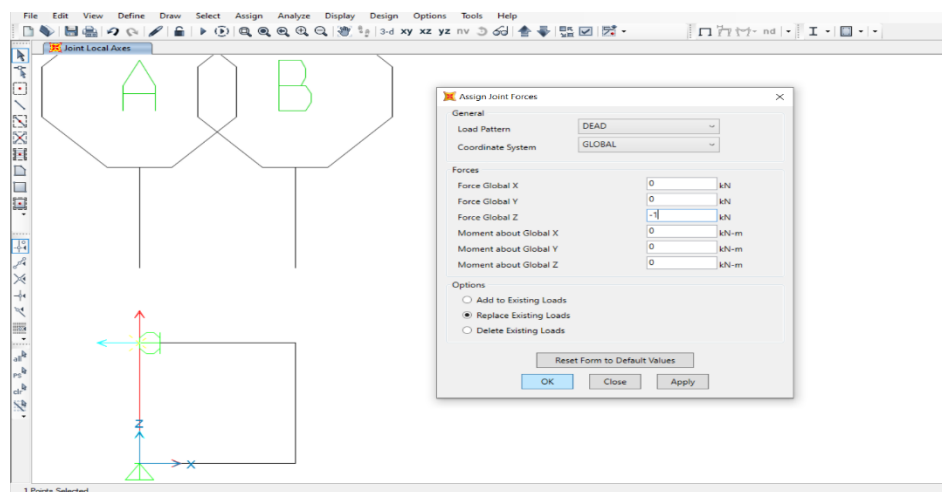
15. Pada bagian *joint* berbentuk *roll* tambahkan beban sebesar $P = -1$ dengan cara mengklik *joint* tersebut kemudian pilih menu *assign* dan pilih *joint loads* untuk *forces*. Langkah ini bisa dilihat pada Gambar 3.54. – 3.56.



Gambar 3.54. *Select* bagian *joint* yang akan diberi beban.

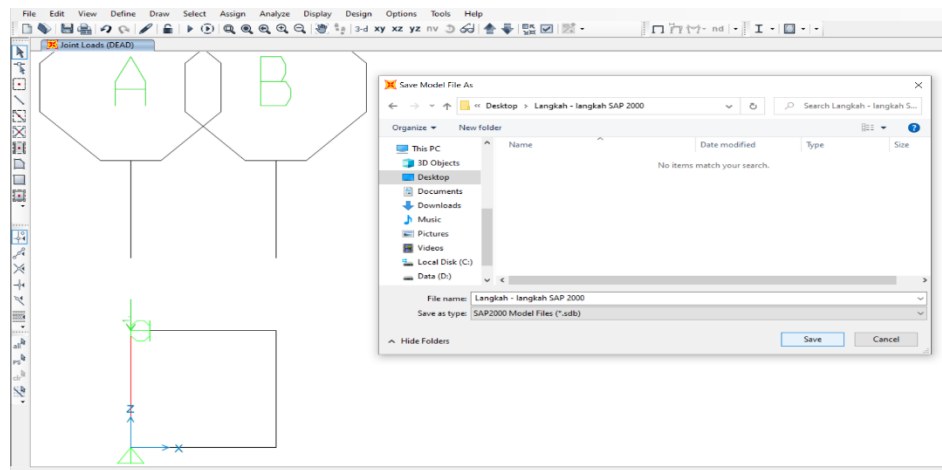


Gambar 3.55. Pilih *joint loads* dalam bentuk *forces*.



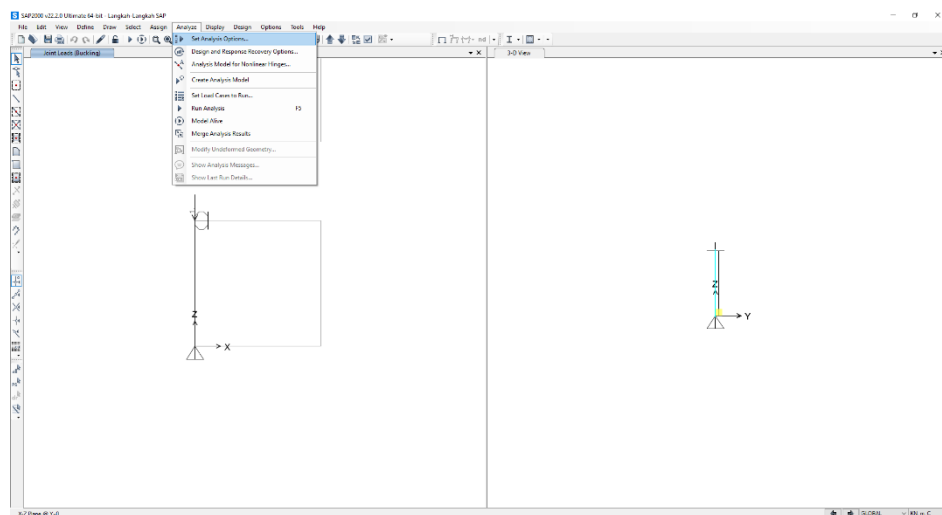
Gambar 3.56. Masukkan beban pada sumbu z sebesar $P = -1$.

16. Sebelum melakukan proses *running* pastikan pemodelan yang telah dibuat disimpan terlebih dahulu seperti pada Gambar 3.57. di bawah ini.



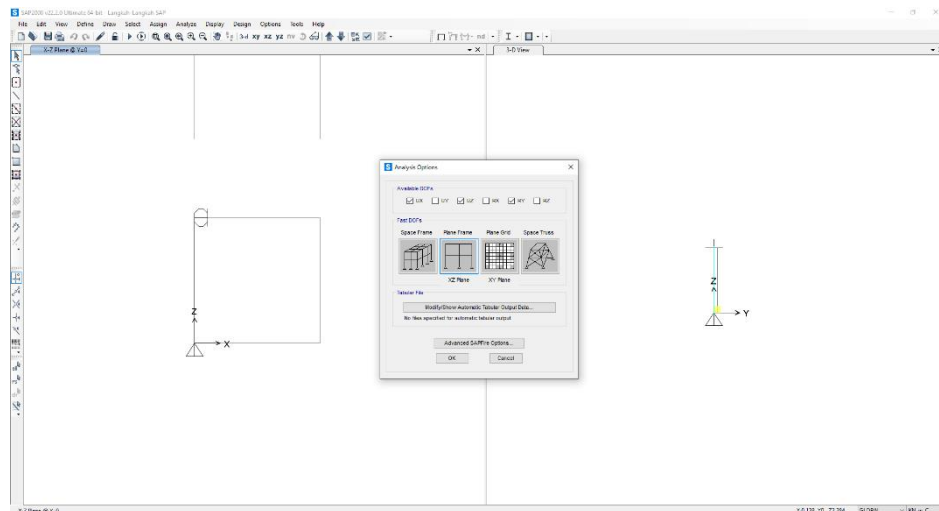
Gambar 3.57. Simpan pemodelan agar *running* bisa dilakukan.

17. Untuk melakukan proses analisis pilih menu *analyze* kemudian *set analysis options* seperti pada Gambar 3.58.



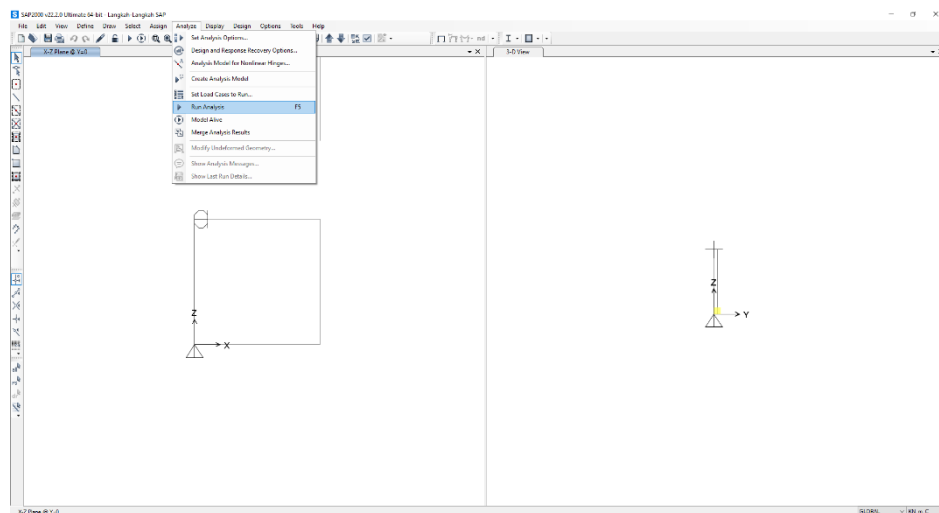
Gambar 3.58. Pilih menu *set analysis options*.

18. Langkah berikutnya pada kotak dialog *analysis options* pilih *XZ Plane* pada bagian *fast DOFs*, lalu klik ok seperti pada Gambar 3.59. di bawah.



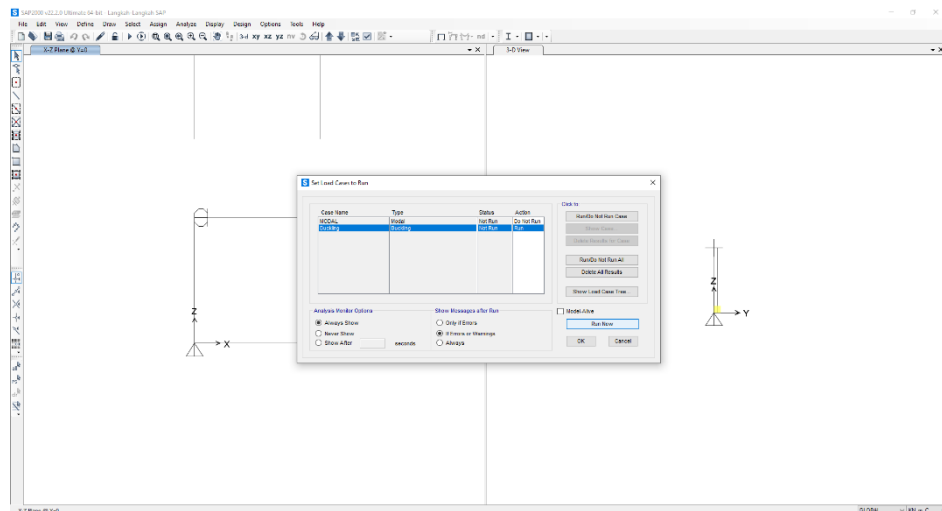
Gambar 3.59. Pilih XZ plane pada kotak dialog *analysis options*.

19. Kemudian pilih *run analysis* pada menu *analysis* seperti pada Gambar 3.60. di bawah ini.



Gambar 3.60. Pilih *run analysis*.

20. Langkah terakhir dari pemodelan ini adalah pada kotak dialog *set load cases to run* jika ingin melihat hasil perhitungan P_{cr} maka pilih *run case* pada bagian *buckling* sedangkan untuk bagian *modal* pilih *do not run case*. Langkah ini dapat dilihat pada gambar 3.61.



Gambar 3.61. Pilih *run case* pada *buckling* dan *do not run case* pada *modal*.

21. Klik *run now*.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian diatas yang usai dilaksanakan, didapat hasil daya dukung tiang dari 2 metode, yaitu metode getaran dan metode *modelling* SAP 2000. Berikut ini merupakan kesimpulan yang lebih rinci :

1. Pada pengujian beton di laboratorium deviasi yang terjadi antara P_{cr} menggunakan data getaran dan P_{cr} menggunakan *modelling* SAP 2000 v.22 sebesar 0,21%. Hal ini membuktikan bahwa daya dukung tiang beton (P_{cr}) dapat diketahui secara akurat dengan menggunakan data getaran.
2. Di laboratorium, benda uji yang ditekan dengan *loading frame* hingga beban 2000 kg dan diambil data getarannya didapat nilai P_{cr} : 4542,222 kg dan dari hasil *modelling* SAP 2000 didapat nilai P_{cr} : 4552,134521 kg.
3. Di lapangan terdapat dua buah benda uji yang ditanam sedalam 90 cm. Benda uji pertama berupa beton tanpa tulangan, dan benda uji kedua berupa beton bertulang. Dari hasil pengujian getar diperoleh nilai P_{cr} beton tanpa tulangan dan beton bertulang secara berturut – turut adalah 9743,8095 kg dan 9830 kg. Sedangkan untuk *modelling* SAP di dapat nilai P_{cr} dalam tanah sebesar 9721,61 kg.
4. Rumus pada penelitian sebelumnya yang digunakan pada benda uji baja diterapkan juga pada penelitian ini dengan menggunakan benda uji beton. Setelah dilihat hasilnya, dapat disimpulkan bahwa rumus ini pun tetap berlaku pada beton yang ditanam di dalam tanah maupun yang tidak. Hal ini dikarenakan hubungan antara frekuensi alami dan beban yang diberikan pada beton adalah linear.

5. Tiang beton *standing free* dan tiang beton yang ditanam dalam tanah memiliki perbedaan nilai P_{cr} hingga ± 2 kali lipat. Hal ini dikarenakan tiang beton *standing free* tidak memiliki penahan apapun terhadap defleksi horizontalnya, sedangkan pada tiang beton yang ditanam dalam tanah memiliki nilai P_{cr} yang lebih tinggi karena tiang ini memiliki penahan defleksinya berupa tanah yang membantu mengurangi defleksi arah horizontalnya.
6. P_{cr} (beban kritis) adalah kondisi dimana beton mengalami retak pertama, sedangkan P_u (beban *ultimate*) adalah kondisi dimana beton mengalami kehancuran total sehingga beton tidak dapat menahan beban lagi.

5.2. Saran

Pada penelitian ini tentunya terdapat kekurangan, oleh karena itu saran yang dapat penulis berikan untuk penelitian selanjutnya merupakan :

1. Pemberian beban pada benda uji yang didalam tanah dapat diperbesar lagi.
2. Dimensi tiang dapat dibesarkan sehingga tulangan yang akan dipasang dapat lebih besar dan banyak.
3. Untuk *modelling* bisa menggunakan *software* yang berbeda contohnya *plaxis*.
4. Usahakan permukaan beton rata, agar *accelerometer* yang diangkurkan dapat menyentuh sempurna di permukaan beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Alami, Fikri. (2000). Thesis. Relationship between Buckling Load and Natural Frequency of a Structure. Manchester. UMIST.
- Alami, F. (2004). 5888 . Universitas Sanata Dharma Yogyakarta Experimental and Numerical Study of Prediction of Linear Buckling Load from Frequency Measurement Abstrak Determination of elastic Buckling load is an important consideration in designing of steel structures . E. 7(1), 1–12.
- Bakhtiar, Yusuf. (2015). Analisis Buckling terhadap Tabung Plat Tipis menggunakan Metode Elemen Hingga. Surakarta. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Bowles, Joseph E. (1993). Analisis dan Disain Fondasi. Edisi Kedua. Jakarta. Erlangga.
- Hardiyatmo, H. C. (2008). Teknik Fondasi 2. Gramedia Pustaka Utama, 275.
- Hardjasaputra, H., Ibrahim, M., Tampubolon, R. (2006). Strategi Pencegahan Kegagalan Pondasi dengan Melakukan Rangkaian Uji Coba Beban Serta Uji Integritas Tiang Pondasi. Karawaci. Jurusan Teknik Sipil UPH.
- Haryanti, Munnik., Kusumaningrum, Nurwijayanti. (2008). Aplikasi Accelerometer 3 Axis untuk Mengukur Sudut Kemiringan (TILT) Engineering Model Satelit diatas Air Bearing. Jakarta. Universitas Suryadarma.
- Helmi, M., Alami, F., & Noorhidana, V. A. (2019). Mitigasi Resiko Akibat Bencana Gempa Melalui Kajian Kapasitas Struktur Gedung Perkuliahan Di Fakultas Teknik Dengan Sensor Akuisisi Data Getaran. 201310200311137, 78–79.
- Julianto., Suryanti., & Hidayati, Fitria. (2019). Konsep Ipa Lanjut. Sidoarjo. Zifatama Jawa.
- Kartika, R. (2010). Pengujian Integritas Tiang Tanpa Pile Cap dengan Low Strain Method. Fmipa Ui, September 2011, 1–95.
- Salmani. (2020). Pekerjaan Pondasi Pada Pelaksanaan Lapangan Proyek Pembangunan Gedung. Banjarmasin. *Deepublish*.