ANALISIS KETAHANAN GEMPA PADA BANGUNAN GEDUNG LABORATORIUM TERPADU UIN SALATIGA

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil

Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik

Universitas Darul Ulum Islamic Centre Sudirman GUPPI UNDARIS

Disusun Oleh :

Vigar Raga R	**NIM.21210001**
Muh Rifki	**NIM. 22210015**

PROGAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS DARUL ULUM ISLAMIC CENTRE SUDIRMAN GUPPI

UNGARAN

2026

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS KETAHANAN GEMPA PADA BANGUNAN GEDUNG LABORATORIUM TERPADU UIN SALATIGA

Disusun Oleh :

Vigar Raga R	**NIM. 21210001**
Muh Rifki	**NIM. 22210015**

Dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal :

30 September 2026

Tugas Akhir ini diterima sebagai salah satu prasyarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Sipil pada Program Studi Teknik Sipil UNDARIS

Tim Penguji:

Ketua	:	Dirga Asmara Putra, S.T., MT. NUPTK. 4142774675130293	[ ]
Anggota 1	:	Ir. Agung Hari W, SIP. S.T., M.T. NUPTK. 0136770671130343	[ ]
Anggota 2	:	Tenardhy Aryarama W, S.ST., M. Eng NUPTK. 8449772673130222	[ ]

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik UNDARIS

Ir. Agung Hari W, SIP. S.T, M.T.
NUPTK. 0136770671130343

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISIS KETAHANAN GEMPA PADA BANGUNAN GEDUNG LABORATORIUM TERPADU UIN SALATIGA

Disusun Oleh :

Vigar Raga R	**NIM. 21210001**
Muh Rifki	**NIM. 22210015**

Tugas Akhir ini telah disetujui untuk dipertahankan di hadapan Tim Penguji Progam Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UNDARIS

Diperiksa dan Disetujui,

Pembimbing I	Pembimbing II
Ir. Agung Hari W, SIP. S.T., M.T.	**Tenardhy Aryarama W, S.ST., M. Eng**
NUPTK. 0136770671130343	**NUPTK. 8449772673130222**

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Kami yang bertanda tangan dibawah ini:

1. Nama : Vigar Raga R
   NIM : 21210001
   Judul : Analisis Ketahanan Gempa pada Bangunan Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga

2. Nama : Muh Rifki
   NIM : 22210015
   Judul : Analisis Ketahanan Gempa pada Bangunan Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga

Menyatakan bahwa naskah Tugas Akhir ini secara keseluruhan adalah hasil penelitian atau karya sendiri, kecuali pada bagian-bagian yang dirujuk sumbernya.

Ungaran, 30 September 2026

Yang membuat pernyataan

Penyusun,



Vigar Raga Rupmana
NIM. 21210001

Muh Rifki
NIM. 22210015

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Analisis Ketahanan Gempa pada Bangunan Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga". Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, dan seluruh umat Islam, semoga kita semua memperoleh syafa'at di yaumil akhir. Aamiin.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari berbagai kendala. Namun, berkat bantuan, bimbingan, serta kerja sama dari berbagai pihak, dan atas izin Allah SWT, seluruh kendala tersebut dapat diatasi dengan baik.

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, khususnya kepada yang terhormat:

1. Dr. Ida Zahara Adibah, S.Ag., M.Si. Selaku Rektor Universitas Darul Ulum Islamic Centre Sudirman GUPPI (UNDARIS).
2. Bapak Abdullah, S.T.,M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil Universitas Darul Ulum Islamic Centre Sudirman GUPPI (UNDARIS).
3. Bapak Agung Hari W, SIP, S.T.,M.T. Selaku ketua Progam Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Darul Ulum Islamic Centre Sudirman GUPPI (UNDARIS) Ungaran.
4. Bapak Agung Hari W, SIP, S.T.,M.T. dan Bapak Tenardhy Aryarama W, S.T.,M.Eng. sebagai dosen pembimbing 1 dan pembimbing 2 yang penuh kesabaran serta telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi, saran, dan masukan kepada penulis hingga Tugas Akhir ini diselesaikan.
5. Dosen penguji
6. Seluruh dosen pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Darul Ulum Islamic Centre Sudirman GUPPI yang telah memberikan pengetahuan yang berharga.
7. Kedua orang tua tercinta yang tidak pernah henti untuk mendoakan demi keberhasilan dalam proses menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Seluruh keluarga tersayang dan sahabat juga teman tercinta senantiasa mendo'akan dan memberikan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

9. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya pembuatan tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
10. Kepada diri sendiri, apresiasi sebesar-besarnya karena telah bertanggung jawab untuk menyelesaikan apa yang telah di mulai. Terimakasih karena terus berusaha dan tidak menyerah, serta menikmati setiap proses yang bisa dibilang tidak mudah. Terimakasih sudah bertahan sampai titik ini.

Mengingat dan menyadari tentunya masih banyak kekurangan dan keterbatasan yang dimiliki, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik untuk membangun tugas akhir ini.

Ungaran, 30 September 2026

Penyusun,



Vigar Raga Rupmana
NIM. 21210001



Muh Rifki
NIM. 22210015

ABSTRAK

Indonesia yang berada di wilayah rawan gempa menuntut evaluasi keandalan struktur bangunan vital, seperti Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Islam Negeri (UIN) Salatiga yang termasuk Kategori Risiko IV dengan tingkat keamanan seismik tinggi. Penelitian ini bertujuan menganalisis simpangan antar lantai pada struktur atas dan mengevaluasi kapasitas desain fondasi terpasang pada *pile cap* P1 hingga P11 berdasarkan standar SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, dan SNI 8460:2017. Metode penelitian menggunakan data aktual lapangan dari gambar *as-built* dan uji *hammer test*, yang menunjukkan rata-rata mutu beton aktual K-315 atau setara 26,16 MPa. Pemodelan struktur atas dilakukan secara tiga dimensi menggunakan analisis respons spektrum pada SAP2000, sementara struktur bawah dianalisis menggunakan GEO5, AllPile, dan PCAColumn untuk meninjau daya dukung tiang, penurunan, defleksi lateral, dan kapasitas tulangan. Hasil analisis menunjukkan kinerja struktur atas aman terhadap gaya gempa, dengan simpangan antar lantainya masih di bawah batas izin SNI. Sebaliknya, struktur bawah menunjukkan beberapa kondisi kritis. Meski penurunan dan defleksi lateral pada semua fondasi memenuhi syarat aman sebesar 0,00 mm, daya dukung aksial pada fondasi P7 dan P8 mengalami kegagalan dengan rasio di bawah 1,0. Selain itu, kapasitas lentur penampang tiang bor pada *pile cap* P1, P3, P7, P8, P9, dan P10 tidak memenuhi standar aman karena momen ultimit melebihi kapasitas penampang ($\Phi Mn < Mu$). Kesimpulannya, struktur atas aman, namun fondasi eksisting memerlukan mitigasi teknis. Karena bangunan telah beroperasi, disarankan melakukan audit kelayakan lanjutan, menerapkan pembatasan beban operasional di area fondasi kritis, dan memantau potensi penurunan secara rutin.

Kata Kunci: Analisis Ketahanan Gempa, Simpangan Antar Lantai, Fondasi Tiang Bor, Daya Dukung Tiang.

ABSTRACT

Indonesia, being located in an earthquake-prone region, demands an evaluation of the structural reliability of vital buildings, such as the Integrated Laboratory Building of the State Islamic University (UIN) Salatiga, which falls under Risk Category IV with a high level of seismic safety. This study aims to analyze the inter-story drift in the upper structure and evaluate the design capacity of the installed foundations on pile caps P1 to P11 based on the SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, and SNI 8460:2017 standards. The research method utilizes actual field data from as-built drawings and hammer tests, which indicate an average actual concrete quality of K-315, equivalent to 26.16 MPa. The upper structure modeling was conducted three-dimensionally using response spectrum analysis in SAP2000, while the substructure was analyzed using GEO5, AllPile, and PCAColumn to review pile bearing capacity, settlement, lateral deflection, and reinforcement capacity. The analysis results show that the upper structure's performance is safe against earthquake forces, with its inter-story drift remaining below the allowable SNI limits. Conversely, the substructure indicates several critical conditions. Although the settlement and lateral deflection in all foundations meet the safety requirements at 0.00 mm, the axial bearing capacity in foundations P7 and P8 experienced failure with a ratio below 1.0. Furthermore, the flexural capacity of the bored pile cross-sections at pile caps P1, P3, P7, P8, P9, and P10 does not meet the safety standards because the ultimate moment exceeds the cross-sectional capacity (ΦMn < Mu). In conclusion, the upper structure is safe, but the existing foundations require technical mitigation. Since the building is already in operation, it is recommended to conduct further feasibility audits, implement operational load restrictions in critical foundation areas, and routinely monitor for potential settlement.

Keywords: *Earthquake Resistance Analysis, Inter-story Drift, Bored Pile Foundation, Pile Bearing Capacity,.*

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN ii
HALAMAN PERSETUJUAN iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN iv
KATA PENGANTAR v
ABSTRAK vii
ABSTRACT viii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR TABEL xx
DAFTAR NOTASI xxiii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Analisis 2
1.4 Batasan Masalah 3
1.5 Manfaat Analisis 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Gempa Bumi 5
2.1.1 Pengertian dan Penyebab Gempa Bumi 5
2.1.2 Seismisitas Indonesia 5
2.2 Konsep Dasar Analisis Gempa 6
2.2.1 Percepatan Tanah dan Parameter Gempa 6
2.2.2 Klasifikasi Situs 6
2.3 Pembebanan Pada Struktur Gedung 7

2.3.1 Beban Mati 7
2.3.2 Beban Hidup 7
2.3.3 Beban Gempa 7
2.4 Analisis Gempa Dengan Metode Spektrum 11
2.5 Sistem Rangka Pemikul Momen 12
2.5.1 Karakteristik Desain Sismik 12
2.5.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Beton Bertulang 12
2.6 Perangkat Lunak Untuk Analisis Struktur 13
2.6.1 SAP 2000 13
2.6.2 Allpile 14
2.6.3 GEO5 15
2.6.4 PCACollumn 16
2.7 Peralatan Yang Digunakan Saat Pengolahan Data di Lokasi 16
2.7.1 Hammer Test (Uji Palu *Schmidt*) 16
2.7.2 Meteran 17
2.8 Standar Perencanaan Gempa 17
2.8.1 SNI 1726:2019 17
2.8.2 SNI 2847:2019 18
2.8.3 SNI 8460:2017 18
2.9 Pondasi Bangunan 19
2.9.1 Jenis Pondasi 19
2.9.2 Perilaku Fondasi terhadap Beban Gempa 19
2.10 Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan 19
2.10.1 Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan sebagai bagian dari SLF 19
2.11 Penelitian Terdahulu 20
BAB III METODE PENELITIAN 22
3.1 Diagram Alur Penelitian 22

3.2 Lokasi dan Objek Penelitian 23
3.3 Pengumpulan Data 24
3.3.1 Data Perencanaan 24
3.3.2 Data Umum Bangunan 24
3.3.3 Dimensi Elemen Struktur 25
3.3.4 Data Sistem Pondasi 28
3.3.5 Data Parimeter Tanah 30
3.4 Survei dan Pengujian Lapangan 31
3.4.1 Pengukuran Dimensi Elemen Struktur 31
3.4.2 Uji *Hammer Test* (Uji Palu *Schmidt*) 32
3.5 Penentuan Parameter Gempa dan Respons Spektrum Desain 33
3.5.1 Penentuan Nilai Ss dan S1 33
3.5.2 Klasifikasi Situs dan Faktor Amplifikasi 33
3.5.3 Penyusunan Kurva Respons Spektrum Desain 33
3.6 Permodelan Struktur dengan SAP2000 34
3.7 Analisis pada Pondasi 34
BAB IV HASIL ANALISIS 35
4.1 Umum 35
4.2 Dasar Perhitungan 35
4.3 Analisa Struktur Atas 36
4.3.1 Sistem Struktur 36
4.3.2 Pemeriksaan Sistem Struktur Bangunan Gedung 36
4.3.3 Pembebanan 48
4.3.4 Peta Koordinat Gempa Puskim 50
4.3.5 Sistem Struktur Penahan Gempa 54
4.3.6 Klasifikasi Tinggi Resiko Kegempaan 58
4.3.7 Kombinasi Pembebanan Bangunan 61

4.3.8 Permodelan Struktur 65
4.3.9 Mutu Material 65
4.3.10 Profil 66
4.3.11 Analisis Respon Spektra Gempa Dinamik 67
4.3.12 Analisis Statik Ekivalen 68
4.3.13 Running Program 68
4.3.14 Check Partisipasi Massa 69
4.3.15 Check Periode Getar 69
4.3.16 Check Perbandingan Respon Spektrum dengan Statik Ekivalen 72
4.3.17 Check Simpangan Antar Lantai 73
4.4 Analisa Sturktur Bawah 74
4.4.1 Hasil Pengujian dan Interprelasi Data Tanah 74
4.4.2 Pengelompokan Jenis Kolom, P1-P11 75
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 189
5.1 Kesimpulan 189
5.2 Saran 192
DAFTAR PUSTAKA 194

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Peta Wilayah Gempa menurut SNI 1726-2019 Berdasarkan Parameter Ss ... 11
Gambar 2. 2 Peta Wilayah Gempa menurut SNI 1726-2019 Berdasarkan Parameter S1 ... 11
Gambar 2. 3 Perangkat Lunak SAP 2000 V22 ... 13
Gambar 2. 4 Perangkat Lunak AllPile ... 14
Gambar 2. 5 Perangkat Lunak GEO 5 ... 15
Gambar 2. 6 Perangkat Lunak PCA Column ... 16
Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian ... 22
Gambar 3. 2 Lokasi Gedung Labolatorium Terpadu UIN Salatiga ... 23
Gambar 3. 3 Pengukuran Elemen Struktur ... 32
Gambar 3. 4 Pengujian Hammer Test ... 32
Gambar 4. 1 Meteran pendek ... 37
Gambar 4. 2 Alat uji hammer test ... 38
Gambar 4. 3 Prinsip Kerja Alat Uji Hammer Test ... 38
Gambar 4. 4 Ilustrasi Posisi Hammer ... 39
Gambar 4. 5 Grafik Korelasi Nilai Pukul Alat ... 39
Gambar 4. 6 Matriks Pengujian Hammer Test Bangunan ... 43
Gambar 4. 7 Grafik Kesimpulan Hammer Test Bangunan ... 47
Gambar 4. 8 Lokasi Jalan Lingkar Selatan Salatiga, Kec. Sidorejo, Kota Salatiga, Jawa Tengah 50716 (Koordinat @7°18'34.50"S 110°28'49.03"E) ... 50
Gambar 4. 9 Percepatan Periode Pendek Ss (0,2 detik) ... 50
Gambar 4. 10 Percepatan periode S1 (1 detik) ... 51
Gambar 4. 11 Peta Transisi Periode Panjang TL ... 51
Gambar 4. 12 Spektrum Respon Desain Lokasi (Kota Salatiga) ... 52
Gambar 4. 13 Input Response Spectrum ... 54
Gambar 4. 14 Kombinasi Pembebanan ... 61
Gambar 4. 15 Hasil Permodelan Strukur (SAP2000) ... 65
Gambar 4. 16 Mutu material yang digunakan di SAP2000 ... 65
Gambar 4. 17 Response Spectrum (SAP2000) ... 67
Gambar 4. 18 Nilai Seismic Load Pattern Berdasarkan ASCE 7-16 (SAP2000) ... 68
Gambar 4. 19 Running Program (SAP2000) ... 68
Gambar 4. 20 Load Case Data (SAP2000) ... 72

Gambar 4. 21 Pemodelan Pile CPT di Aplikasi GEO5 75
Gambar 4. 22 Pemodelan Stuktur Pile Cap (GEO5) 77
Gambar 4. 23 Model Stuktur P1 Sesuai Shop Drawing (GEO5) 77
Gambar 4. 24 Geometri P1(GEO5) 77
Gambar 4. 25 Beban Layan dari SAP2000 78
Gambar 4. 26 Hasil Analisis P1 (GEO5) 78
Gambar 4. 27 Hasil Analisa Tulangan pada P1 79
Gambar 4. 28 Verifikasi Tulangan P1 79
Gambar 4. 29 Single Pile P1 80
Gambar 4. 30 Parameter dan Profil Tanah 80
Gambar 4. 31 Hasil Analisis Defleksi Lateral 81
Gambar 4. 32 Input Load P1 untuk Group Pile 82
Gambar 4. 33 Hasil Analisis Setlement (Penurunan) 82
Gambar 4. 34 Pemodelan Ulang Tulangan Bore pile 83
Gambar 4. 35 Pemodelan Pile CPT diAplikasi GEO 5 84
Gambar 4. 36 Pemodelan Stuktur Pile Cap (GEO5) 85
Gambar 4. 37 Model Stuktur P2 Sesuai Shop Drawing 86
Gambar 4. 38 Geometri P2 86
Gambar 4. 39 Beban Layan dari Hasil SAP2000 86
Gambar 4. 40 Hasil Analisis P2 (GEO5) 86
Gambar 4. 41 Hasil Analisis Tulangan P2 87
Gambar 4. 42 Verifikasi Tulangan P2 87
Gambar 4. 43 Single Pile P2 88
Gambar 4. 44 Parameter dan Profil Tanah 89
Gambar 4. 45 Hasil Analisis Defleksi Lateral 89
Gambar 4. 46 Input Beban P2 untuk Group Pile 90
Gambar 4. 47 Hasil Analisis Setlement 90
Gambar 4. 48 Pemodelan Pile CPT (GEO 5) 91
Gambar 4. 49 Pemodelan Struktur Pile Cap (GEO5) 92
Gambar 4. 50 Model Stuktur P3 Sesuai Shop Drawing (GEO5) 93
Gambar 4. 51 Geometri P3 93
Gambar 4. 52 Beban Layan dari Hasil SAP2000 93
Gambar 4. 53 Hasil Analisis P3 (GEO5) 94

Gambar 4. 54 Hasil Anlisis Tulangan pada P3 94
Gambar 4. 55 Verifikasi P3 95
Gambar 4. 56 Input Beban Single Pile 96
Gambar 4. 57 Parameter dan Profil Tanah 96
Gambar 4. 58 Hasil Analisis Defleksi Lateral 97
Gambar 4. 59 Input Beban P3 untuk Group Pile 98
Gambar 4. 60 Hasil Analisis Setlement 98
Gambar 4. 61 Letak Titik Pile yang Tidak Memenuhi Penulangannya 99
Gambar 4. 62 Hasil Setelah Direkomendasikan 100
Gambar 4. 63 Pemodelan Pile CPT di Aplikasi GEO5 101
Gambar 4. 64 Pemodelan Struktur P4 sesuai Shop Drawing (GEO5) 102
Gambar 4. 65 Geometri P4 (GEO5) 102
Gambar 4. 66 Geometri P4 103
Gambar 4. 67 Beban Layan dari Hasil SAP2000 103
Gambar 4. 68 Hasil Analisis P4 (GEO5) 103
Gambar 4. 69 Hasil Analisis Tulangan P4 104
Gambar 4. 70 Verifikasi P4 104
Gambar 4. 71 Single Pile P4 105
Gambar 4. 72 Parameter dan Profil Tanah 105
Gambar 4. 73 Hasil Analisis Defleksi Lateral 106
Gambar 4. 74 Input Beban P4 untuk Group Pile 107
Gambar 4. 75 Hasil Analisis Setlement P4 107
Gambar 4. 76 Pemodelan Pile CPT (GEO5) 108
Gambar 4. 77 Pemodelan Stuktur Pile Cap (GEO5) 109
Gambar 4. 78 Model Stuktur P4a Sesuai Shop Drawing (GEO5) 110
Gambar 4. 79 Geometri P4a 110
Gambar 4. 80 Beban Layan dari SAP2000 110
Gambar 4. 81 Hasil Analisis P4a (GEO5) 111
Gambar 4. 82 Hasil Analisis Tulangan P4a 111
Gambar 4. 83 Verifikasi Tulangan P4a 112
Gambar 4. 84 Memasukan Beban Layan ke Single Pile 113
Gambar 4. 85 Parameter dan Profil Tanah 113
Gambar 4. 86 Hasil Analisis Defleksi Lateral 114

Gambar 4. 87 Input Beban P4a untuk Group Pile 115
Gambar 4. 88 Hasil Analisis Setlement 115
Gambar 4. 89 Pemodelan Pile CPT (GEO5) 116
Gambar 4. 90 Pemodelan Stuktur Pile Cap (GEO5) 117
Gambar 4. 91 Model Stuktur P5 Sesuai Shop Drawing (GEO5) 118
Gambar 4. 92 Geometri P5 118
Gambar 4. 93 Memasukan Beban Layan dari SAP2000 118
Gambar 4. 94 Hasil Analisa P5 (GEO5) 119
Gambar 4. 95 Hasil Analisa Tulangan P5 119
Gambar 4. 96 Verifikasi Tulangan P5 120
Gambar 4. 97 Memasukan Beban Layan Single Pile 121
Gambar 4. 98 Parameter dan Profil Tanah 121
Gambar 4. 99 Hasil Analisis Defleksi Lateral 122
Gambar 4. 100 Input Pembebanan P5 untuk Group Pile 123
Gambar 4. 101 Hasil analisis Setlement 123
Gambar 4. 102 Pemodelan Pile CPT diaplikasi GEO5 124
Gambar 4. 103 Pemodelan Struktur Pile Cap diGEO5 125
Gambar 4. 104 Model Stuktur P2 Sesuai Shop Drawing 126
Gambar 4. 105 Geometri P5 126
Gambar 4. 106 Input Beban Layan dari Hasil SAP2000 126
Gambar 4. 107 Hasil Analisa P5a di Aplikasi GEO5 127
Gambar 4. 108 Hasil Analisa Tulangan P5a 127
Gambar 4. 109 Verifikasi Tulangan P5a 128
Gambar 4. 110 Input Beban P5a Single Pile 128
Gambar 4. 111 Parameter dan Profil Tanah 129
Gambar 4. 112 Hasil Anlisis Defleksi Lateral 130
Gambar 4. 113 Input Beban P5a GroupPile 130
Gambar 4. 114 Hasil Analisis Setlement 131
Gambar 4. 115 Pemodelan Pile CPT diAplikasi GEO5 132
Gambar 4. 116 Pemodelan Struktur Pile Cap diGEO5 133
Gambar 4. 117 Geometri P6 133
Gambar 4. 118 Beban Lanyan dari hasil SAP2000 134
Gambar 4. 119 Hasil Analisa P6 dari GEO5 134

Gambar 4. 120 Hasil Analisa Tulangan pada P6 135
Gambar 4. 121 Single Pile P6..... 136
Gambar 4. 122 Parameter dan Profil Tanah..... 136
Gambar 4. 123 Hasil Analisa Defleksi Lateral 137
Gambar 4. 124 Input Load P6 untuk Group Pile..... 138
Gambar 4. 125 Hasil Analisa Setlement..... 138
Gambar 4. 126 Pemodelan Pile CPT diAplikasi GEO5 139
Gambar 4. 127 Pemodelan Struktur Pile Cap diGEO5 140
Gambar 4. 128 Geometri P6a 141
Gambar 4. 129 Memasukan Beban Layan dari Hasil SAP2000 141
Gambar 4. 130 Hasil Analisa P6a diaplikasi GEO5 142
Gambar 4. 131 Hasil Analisa Tulangan pada P6a 142
Gambar 4. 132 Verifikasi Tulangan P6a..... 143
Gambar 4. 133 Memasukan Beban Layan dari SAP2000 ke Single Pile..... 143
Gambar 4. 134 Data Parameter dan Profil Tanah 144
Gambar 4. 135 Hasil Analisa Defleksi Lateral 145
Gambar 4. 136 Input Load P6a untuk Group Pile 145
Gambar 4. 137 Hasil Analisa Setlement..... 146
Gambar 4. 138 Pemodelan Pile CPT di Aplikasi GEO5 147
Gambar 4. 139 Pemodelan Struktur Pile Cap diGEO5 148
Gambar 4. 140 Geometri P7 149
Gambar 4. 141 Memasukan Beban Layan dari Hasil SAP2000 ke Aplikasi GEO5 149
Gambar 4. 142 Hasil Analisa P7..... 149
Gambar 4. 143 Hasil Analisa Tulangan P7..... 150
Gambar 4. 144 Verifikasi Tulangan P7..... 150
Gambar 4. 145 Memasukan Beban ke Single Pile AllPile 152
Gambar 4. 146 Parameter dan Profil Tanah..... 152
Gambar 4. 147 Hasil Analisa Defleksi Lateral 153
Gambar 4. 148 Input Beban ke Group Pile 154
Gambar 4. 149 Hasil Analisa Setlement..... 154
Gambar 4. 150 Pemodelan Pile CPT 156
Gambar 4. 151 Pemodelan Struktur Pile Cap diGEO5 157
Gambar 4. 152 Geometri P8 158

Gambar 4. 153 Memasukan Beban Layan dari hasil SAP2000 158
Gambar 4. 154 Hasil Analisa P8 diaplikasi GEO5 158
Gambar 4. 155 Hasil Analisa Tulangan pada P8 159
Gambar 4. 156 Verifikasi Tulangan P8 159
Gambar 4. 157 Pemeasukan Beban Layan untuk Single Pile 160
Gambar 4. 158 Parameter dan Profil Tanah 161
Gambar 4. 159 Hasil Analisa Defleksi Lateral 162
Gambar 4. 160 Memasukan Load P8 Group Pile 163
Gambar 4. 161 Hasil Analisa Setlement 163
Gambar 4. 162 Pemodelan Pile CPT diAplikasi GEO5 165
Gambar 4. 163 Pemodelan Struktur P9 sesuai Shop Drawing 166
Gambar 4. 164 Geometri P9 166
Gambar 4. 165 Memasukan Beban Layan dari hasil SAP2000 167
Gambar 4. 166 Hasil Analisa P9 diaplikasi GEO5 167
Gambar 4. 167 Hasil Analisa Tulangan pada P9 168
Gambar 4. 168 Verifikasi P9 168
Gambar 4. 169 Memasukan Beban Layan untuk Singel Pile 169
Gambar 4. 170 Parameter dan Profil Tanah 169
Gambar 4. 171 Hasil Analisa Defleksi Lateral 170
Gambar 4. 172 Memasukan Load P9 untuk Group Pile 171
Gambar 4. 173 Hasil Analisa Setlement 171
Gambar 4. 174 Evaluasi Penulangan pada P9 172
Gambar 4. 175 Pemodelan Pile CPT diAplikasi GEO5 173
Gambar 4. 176 Pemodelan Struktur P10 sesuai Shop Drawing 175
Gambar 4. 177 Geometri P10 175
Gambar 4. 178 Memasukan Beban Layan dari Hasil SAP2000 176
Gambar 4. 179 Hasil Analisa P10 diAplikasi GEO5 176
Gambar 4. 180 Hasil Analisa Tulangan pada P10 177
Gambar 4. 181 Verifikasi Tulangan P10 177
Gambar 4. 182 Memasukan Beban Layan pada Single Pile 178
Gambar 4. 183 Parameter dan Profil Tanah 178
Gambar 4. 184 Hasil Analisa Defleksi Lateral 179
Gambar 4. 185 Input Load P10 untuk Group Pile 180

Gambar 4. 186 Hasil Analisa Setlement 180
Gambar 4. 187 Evaluasi Penulangan pada P10 181
Gambar 4. 188 Pemodelan Pile CPT diAplikasi GEO5 182
Gambar 4. 189 Input Load untuk Single Pile 183
Gambar 4. 190 Parameter dan Profil Tanah 184
Gambar 4. 191 Hasil Analisa Defleksi Lateral 185
Gambar 4. 192 Input Load P11 untuk Group Pile 185
Gambar 4. 193 Hasil Analisa Setlement 186
Gambar 4. 194 Material Property sesuai Shop Drawing 186
Gambar 4. 195 Menginput Data Tulangan sesuai Shop Drawing 187
Gambar 4. 196 Menginput Data Pembebanan dari Hasil SAP2000 187
Gambar 4. 197 Hasil Analisa Tulangan menggunakan PCAColumn 188

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Situs Berdasarkan SNI 1726:2019 6
Tabel 2. 2 Kategori Risiko Struktur Bangunan (SNI 1726, 2019) 8
Tabel 2. 3 Faktor Keutamaan Gempa (Ie) Berdasarkan Kategori Risiko 10
Tabel 3. 1 Data Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga 24
Tabel 3. 2 Data Umum Bangunan 25
Tabel 3. 3 Dimensi Kolom 26
Tabel 3. 4 Dimensi Tie Beam 27
Tabel 3. 5 Dimensi Plat Lantai 28
Tabel 3. 6 Dimensi Pile Cap 29
Tabel 3. 7 Spesifikasi Pondasi 30
Tabel 3. 8 Nilai Slump per Elemen Konstruksi 30
Tabel 3. 9 Data Parimeter Tanah 31
Tabel 3. 10 Klasifikasi Situs Sesuai SNI 1726:2019 33
Tabel 4. 1 Input Nilai Hammer Test Bangunan 44
Tabel 4. 2 Hasil Analisis Hammer Test Bangunan 45
Tabel 4. 3 Kesimpulan Mutu Beton Hammer Test Gedung 47
Tabel 4. 4 Deskripsi Kualitas Struktur Eksisting Bangunan Gedung 48
Tabel 4. 5 Penyelidikan Tanah Sondir 52
Tabel 4. 6 Klasifikasi Situs (SNI 1726 -2019) 53
Tabel 4. 7 Posisi Bangunan Pada Peta Gempa Respon Spektrum 53
Tabel 4. 8 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa (SNI 1726 -2019) 55
Tabel 4. 9 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa (lanjutan) (SNI 1726 -2019) 56
Tabel 4. 10 Faktor Keutamaan Gempa (Ie) (SNI 1726 -2019) 56
Tabel 4. 11 Faktor R, Ω_0 dan C_d dalam Perancangan Sistem Penahan Gaya Gempa (SNI 1726 -2019) 57
Tabel 4. 12 Faktor Reduksi (SNI 2847-2019) 57
Tabel 4. 13 Koefisien situs, Fa (SNI 1726:2019) 58
Tabel 4. 14 Koefisien situs, Fv (SNI 1726:2019) 58

Tabel 4. 15 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek (SNI 1726:2019) 60
Tabel 4. 16 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik (SNI 1726:2019) 60
Tabel 4. 17 Kategori Desain Seismik (KDS) dan Resiko Kegempaan 60
Tabel 4. 18 Kombinasi pembebanan SAP2000 62
Tabel 4. 19 Frame Section Properties (SAP2000) 66
Tabel 4. 20 *Modal Load Participation Ratios* (SAP2000) 69
Tabel 4. 21 Modal Periods And Frequencies (SAP2000) 70
Tabel 4. 22 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (SNI 1726-2019) 70
Tabel 4. 23 Nilai parameter periode pendekatan Ct dan x Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (SNI 1726-2019) 71
Tabel 4. 24 Base Reactions (SAP2000) 72
Tabel 4. 25 Simpangan Antar Lantai Ijin (Δa) (SNI 1726-2019) 73
Tabel 4. 26 Joint Displacements 73
Tabel 4. 27 Kontrol Simpangan Antar Lantai 74
Tabel 4. 28 Tabel Daya Dukung Tanah 76
Tabel 4. 29 Ringkasan Hasil Analisis P1 83
Tabel 4. 30 Daya Dukung Tanah 84
Tabel 4. 31 Hasil Ringkasan untuk P2 91
Tabel 4. 32 Daya Dukung Tanah 91
Tabel 4. 33 Ringkasan Hasil Analisis Fondasi Tipe P3 99
Tabel 4. 34 Hasil Daya Dukung Tanah 101
Tabel 4. 35 Ringkasan Hasil Analisis Fondasi Tipe P4 108
Tabel 4. 36 Daya Dukung Tanah 108
Tabel 4. 37 Ringkasan Hasil Analisis Fondasi Tipe P4a 116
Tabel 4. 38 Hasil Daya Dukung Tanah 116
Tabel 4. 39 Ringkasan Hasil Analisis Fondasi Tipe P5 124
Tabel 4. 40 Hasil dari Daya Dukung Tanah 124
Tabel 4. 41 Ringkasan Hasil Analisis Fondasi Tipe P5a 131
Tabel 4. 42 Daya Dukung Tanah 132
Tabel 4. 43 Ringkasan Hasil Analisis Fondasi Tipe P6 139
Tabel 4. 44 Daya Dukung Tanah 139

Tabel 4. 45 Ringkasan Hasil Analisis Fondasi Tipe P6a 146
Tabel 4. 46 Data Daya Dukung Tanah 147
Tabel 4. 47 Data Daya Dukung Tanah (Tarik) 147
Tabel 4. 48 Ringkasan Hasil Analisis Fondasi Tipe P7 155
Tabel 4. 49 Data Daya Dukung Tanah 156
Tabel 4. 50 Data Daya Dukung Tanah (Tarik) 156
Tabel 4. 51 Ringkasan Hasil Analisis Fondasi Tipe P8 164
Tabel 4. 52 Daya Dukung Tanah 165
Tabel 4. 53 Ringkasan Hasil Analisis Fondasi Tipe P9 172
Tabel 4. 54 Data Daya Dukung Tanah 174
Tabel 4. 55 Ringkasan Hasil Analisis Fondasi Tipe P10 181
Tabel 4. 56 Data Daya Dukung Tanah 182
Tabel 4. 57 Ringkasan Hasil Analisis Fondasi Tipe P11 188
Tabel 5.1 Hasil Kontrol Simpangan Antar Lantai 189
Tabel 5 2. Rekapitulasi Beban Envelope pada Dasar Kolom per Tipe Pile Cap 190
Tabel 5 3. Rekapitulasi Hasil Kontrol Kapasitas Pondasi 191
Tabel 5 4. Rekomendasi Tindak Lanjut Kasus Pile Cap Kritis 193

DAFTAR NOTASI

a	=	Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen (mm)
A_g	=	Luas bruto penampang (mm^2)
A_s'	=	Luas tulangan tekan (mm^2)
A_{sh}	=	Luas penampang total tulangan transversal (termasuk ikat silang) dalam spasi s dan tegak lurus terhadap dimensi b_c
$A_{s\ min}$	=	Luas minimum tulangan lentur (mm^2)
A_{st}	=	Luas total tulangan longitudinal nonprategang (mm^2)
	=	Luas 1 kaki sengkang tertutup menahan torsi dalam spasi s (mm^2)
A_v	=	Luas tulangan geser dalam spasi s (mm^2)
$A_{v\ min}$	=	Luas minimum tulangan geser dalam spasi s (mm^2)
A_s'	=	Luas tulangan tekan (mm^2)
b	=	Lebar muka tekan komponen struktur (mm)
fs	=	Tegangan tarik dihitung dalam tulangan saat beban layan (MPa)
fy	=	Kekuatan leleh tulangan (MPa)
Fa	=	Koefisien situs untuk periode pendek (pada periode 0,2 detik)
Fv	=	Koefisien situs untuk periode panjang (pada periode 1 detik)
h	=	Tebal atau tinggi keseluruhan komponen struktur (mm)
hn	=	Batasan tinggi struktur (m)
Icr	=	Momen inersia penampang retak ditransformasi ke beton (mm4)
Ie	=	Faktor keutamaan gempa; momen inersia efektif untuk perhitungan defleksi (mm4)
l	=	Panjang bentang balok atau pelat satu arah (mm)

lc	=	Panjang komponen tekan, diukur dari pusat ke pusat joint (mm)
ln	=	Panjang bentang bersih diukur muka ke muka tumpuan (mm)
L	=	Pengaruh beban hidup layan
Mmax	=	Momen maksimum terfaktor pada penampang akibat beban luar yang bekerja (N-mm)
Mn	=	Kekuatan lentur nominal pada penampang (N-mm)
Mpr	=	Kekuatan lentur mungkin komponen struktur, dengan atau tanpa beban aksial, yang ditentukan menggunakan properti komponen struktur pada muka joint yang mengasumsikan tegangan tarik dalam batang tulangan longitudinal sebesar paling sedikit 1,25fy dan faktor reduksi kekuatan ϕ sebesar 1,0
Mu	=	Momen terfaktor pada penampang (N-mm)
n	=	Jumlah batang tulangan
Pn	=	Kekuatan aksial nominal penampang (N)
Pu	=	Gaya aksial terfaktor (N)
qu	=	Beban terfaktor per satuan luas (N/m2)
R	=	Koefisien modifikasi respons
s	=	Spasi pusat ke pusat suatu benda (mm)
Sa	=	Respons spektra percepatan
SDS	=	Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek
SD1	=	Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik
SMS	=	Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs

SM1	=	Percepatan percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
Ss	=	Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek
S1	=	Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik
Sn	=	Kekuatan momen, geser, aksial, torsi atau tumpu nominal
V	=	Geser desain total di dasar struktur dalam arah yang ditinjau
Vc	=	Kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton (N)
Vn	=	Kekuatan geser nominal (N)
Vs	=	Kekuatan geser nominal diberikan oleh penulangan geser (N)
Vsway	=	Gaya geser rencana berdasarkan momen kapasitas pada balok
Vu	=	Gaya geser terfaktor penampang (N)
wc	=	Berat volume beton normal atau berat volume ekuivalen beton ringan (kg/m^3)
wu	=	Beban terfaktor per satuan panjang balok atau pelat satu arah (N/mm)
W	=	Berat seismik efektif bangunan
Wt	=	Berat total struktur
x	=	Dimensi keseluruhan bagian persegi penampang yang lebih pendek (mm)
y	=	Dimensi keseluruhan bagian persegi penampang yang lebih panjang (mm)
α	=	Sudut yang menentukan orientasi tulangan

αc	=	Koefisien yang menentukan kontribusi relatif kekuatan beton terhadap kekuatan geser dinding nominal
$\beta 1$	=	Faktor yang menghubungkan tinggi blok tegangan tekan persegi
fr	=	Rasio gesekan
fs	=	Local friction
qc	=	Tahanan konus
Qult	=	Kapasitas dukung ultimit netto (kN)
Qb	=	Tahanan ujung bawah ultimit (kN)
Qs	=	Tahanan gesek ultimit (kN)
Ab	=	Luas ujung bawah tiang (cm^2)
As	=	Luas selimut tiang (cm^2)
fb	=	Tahanan ujung satuan tiang (kg/cm^2)
fs	=	Tahanan gesek satuan tiang (kg/cm^2)
Wp	=	Berat sendiri tiang (kN)
Qa	=	Kapasitas dukung ijin tiang
F	=	Factor aman
$\omega 1$	=	Koefisien modifikasi tiang, diambil 1
$\omega 2$	=	Koefisien modifikasi tiang, diambil 1
qca	=	Tahanan konus rata-rata (kN/m^2)
kf	=	Koefisien modifikasi tahanan gesek sisi konus
kc	=	koefisien modifikasi tahanan konus
qb	=	Kapasitas kuat dukung di ujung tiang (ton)
Qca	=	Perlawanan konus rata-rata pada masing-masing lapisan sepanjang

		tiang (kg/cm²)
f	=	Kuat dukung kulit tiang persatuan luas (kg/cm²)
qf	=	Tahanan gesek sisi konus (kg/cm²)
ω	=	Koefisien Korelasi
Qg	=	Kapasitas dukung kelompok tiang
Eg	=	Efisiensi kelompok tiang
n	=	Jumlah tiang
P	=	Beban yang bekerja
S	=	Jarak pusat tiang ke pusat tiang lainnya
d	=	Diameter tiang (m)
m	=	Jumlah baris tiang
n	=	Jumlah tiang dalam satu baris
Q	=	Beban yang bekerja
S	=	Penurunan total kepala tiang
L	=	Panjang tiang
Ep	=	Modulus elastis tiang
Qwp	=	Daya dukung ujung tiang (kg)
Qws	=	Daya dukung selimut tiang (kg)
α	=	Koefisien dari skin friction
Cp	=	Koefisien empiris
Sg	=	Penurunan pondasi kelompok tiang
Bg	=	Lebar Kelompok Tiang

θ	=	Sudut antara sumbu strut, diagonal tekan, atau bidang tekan dan kord (chord) tarik komponen struktur; Koefisien stabilitas untuk pengaruh P-Delta
ρ	=	Rasio As terhadap bd; Faktor redundansi struktur
λ	=	Faktor modifikasi yang merefleksikan properti mekanis tereduksi dari beton ringan, semuanya relatif terhadap beton normal dengan kekuatan tekan yang sama; Faktor pengaruh waktu
ϕ	=	Faktor reduksi kekuatan

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan tingkat seismisitas tinggi karena terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik besar, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik (PuSGeN, 2017) . Wilayah Jawa Tengah, termasuk Kota Salatiga, tidak luput dari ancaman ini, sebagaimana ditunjukkan oleh gempa Yogyakarta tahun 2006 (Mw 6,2) yang menimbulkan korban jiwa lebih dari 5.500 orang dan merusak ratusan ribu bangunan di wilayah sekitarnya (Widodo et al., 2011) . Kondisi ini menegaskan bahwa seluruh bangunan di wilayah tersebut, termasuk bangunan milik institusi pendidikan tinggi, perlu dikaji ketahanannya terhadap beban gempa (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga mengingat fungsinya yang krusial bagi aktivitas akademik dan pendidikan, keberlanjutan operasional serta keselamatan penghuninya pasca-gempa menjadi prioritas utama. Evaluasi kinerja seismik bangunan eksisting menjadi esensial ntuk mengidentifikasi potensi defisiensi, memprediksi perilakunya saat gempa, dan merumuskan langkah mitigasi yang diperlukan (Kurniawan et al., 2020).

Analisis ketahanan gempa yang valid mensyaratkan penggunaan data aktual lapangan, bukan sekadar gambar rencana. Dimensi elemen struktural, jarak antar kolom, mutu beton aktual hasil pengujian *hammer test*, serta konfigurasi dan panjang fondasi harus sesuai kondisi *as built drawing* di lapangan. Pendekatan ini telah diterapkan pada evaluasi bangunan eksisting, misalnya pengujian Schmidt hammer untuk memperoleh mutu beton aktual kolom, balok, pelat, dan sloof (Parenta et al., 2026) serta kolom bangunan eksisting (Fikri dkk., 2023). Pada aspek fondasi, analisis daya dukung tiang bor berbasis data N-SPT dengan metode Meyerhof dan Decourt dilaporkan memberikan hasil yang mendekati pengujian PDA (Rahman et al., 2020) . Penyimpangan antara gambar rencana dan kondisi nyata, sekecil apa pun, dapat berpengaruh signifikan terhadap kapasitas struktural bangunan dalam menahan gaya gempa.

Di sisi lain, SNI 1726:2019 terkait perencanaan ketahanan gempa terus mengalami pembaruan seiring perkembangan data kajian seismik nasional. Pembaruan ini membawa

perubahan pada peta hazard gempa, nilai percepatan tanah, dan spektrum respons desain yang digunakan dalam analisis (Badan Standardisasi Nasional, 2019) Bangunan yang direncanakan menggunakan SNI lama berpotensi tidak memenuhi persyaratan SNI terbaru, sehingga evaluasi ulang menjadi hal yang mendesak untuk dilakukan (Septhia Irawati et al., 2024). Namun hasilnya tidak selalu negatif: simpangan antar tingkat struktur rangka pemikul momen 10 lantai yang semula dirancang dengan SNI 1726:2012 masih berada di bawah batas izin ketika dievaluasi dengan SNI 1726:2019 (Shinta Berlinda Wulandari, 2013), sehingga setiap bangunan perlu dievaluasi secara spesifik.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan melakukan analisis ketahanan gempa pada Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga menggunakan data aktual lapangan sesuai *as built drawing* dan hasil *hammer test*, dengan pembebanan gempa mengacu pada SNI terbaru yang berlaku. Hasil penelitian diharapkan memberikan gambaran akurat mengenai kondisi ketahanan seismik gedung dan menjadi rekomendasi teknis bagi institusi dalam menjamin keselamatan seluruh civitas akademika yang beraktivitas di dalamnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah simpangan antar lantai maksimum bangunan tersebut masih berada di bawah batas simpangan izin yang disyaratkan dalam SNI 1726:2019 (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung)?
2. Mengevaluasi kapasitas desain fondasi pada pile cap P1 hingga P11 terhadap rasio daya dukung kelompok tiang, kapasitas penulangan, dan deformasi arah vertikal dan lateral.

1.3 Tujuan Analisis

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung dan menganalisis secara detail nilai simpangan antar lantai (*story drift*) pada struktur bangunan saat dikenai beban gempa rencana.
2. Menganalisis kapasitas desain pondasi terpasang akibat penyaluran kombinasi beban struktur atas berdasarkan SNI 2847:2019, guna memastikan keamanannya sesuai dengan ketentuan perancangan geoteknik pada SNI 8460:2017.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditetapkan, maka diberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Objek penelitian adalah Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga, dengan seluruh data dimensi elemen struktural, jarak antar kolom, dan konfigurasi fondasi mengacu pada *as built drawing* yang tersedia.
2. Mutu beton yang digunakan dalam pemodelan dan analisis didasarkan pada hasil pengujian *hammer test* di lapangan dan tidak menggunakan nilai mutu beton rencana dari gambar perencanaan awal.
3. Respon spektrum desain ditentukan berdasarkan data parameter percepatan tanah pada lokasi bangunan dan hasil penyelidikan tanah untuk klasifikasi situs, mengacu sepenuhnya pada SNI 1726:2019.
4. Perhitungan kapasitas dukung fondasi berserta penulangannya dilakukan dengan bantuan *software* GEO5, AllPile 7.0, dan PCAColumn.
5. Analisis struktur dilakukan secara tiga dimensi menggunakan metode analisis respons spektrum (*Response Spectrum Analysis*) dengan bantuan perangkat lunak analisis struktur (SAP2000), dan tidak mencakup analisis riwayat waktu (*time history analysis*).
6. Evaluasi ketahanan gempa dibatasi pada elemen struktur beton utama, meliputi kolom, balok, pelat, dan fondasi. Elemen non-struktural seperti dinding pengisi, partisi, dan komponen arsitektural tidak termasuk dalam lingkup analisis.
7. Standar yang digunakan sebagai acuan analisis dan evaluasi adalah SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung, serta SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
8. Pengaruh angin dan hujan tidak dibahas secara detail.
9. Penelitian ini tidak melakukan perencanaan atau perancangan ulang (r*edesign*) struktur. Apabila dari hasil analisis ditemukan ketidakcukupan kapasitas struktur, maka penelitian hanya memberikan rekomendasi teknis tanpa menghitung detail perkuatan.

1.5 Manfaat Analisis

Penelitian "Analisis Ketahanan Gempa pada Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Islam Negeri Salatiga" diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara akademis maupun praktis. Secara akademis, penelitian ini dapat menambah pemahaman mengenai perilaku struktur beton bertulang terhadap pengaruh beban gempa serta memberikan pengalaman dalam penerapan analisis struktur tahan gempa menggunakan perangkat lunak SAP2000. Selain itu, hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi mahasiswa maupun peneliti lain dalam kajian analisis ketahanan gempa pada bangunan gedung bertingkat.

Secara praktis, penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan evaluasi terhadap tingkat keamanan dan ketahanan struktur Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga terhadap pengaruh gempa bumi.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gempa Bumi

2.1.1 Pengertian dan Penyebab Gempa Bumi

Menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (Badan Meteorologi, 2023) gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi secara tiba-tiba dari dalam bumi. Energi tersebut berasal dari pergerakan lempeng tektonik yang saling bertumbukan, menjauh, atau bergeser satu sama lain. Titik di dalam bumi tempat terjadinya pelepasan energi disebut hiposenter atau fokus gempa, sedangkan titik di permukaan bumi yang berada tepat di atas hiposenter disebut episenter.

Berdasarkan penyebabnya, gempa bumi antara lain diklasifikasikan menjadi gempa tektonik yang disebabkan oleh aktivitas lempeng tektonik, gempa vulkanik yang berkaitan dengan aktivitas gunung berapi, dan gempa runtuhan yang terjadi akibat runtuhnya rongga bawah tanah (Bella Dessy Wulan Sari & Benny Hendrawanto, 2022). Dari ketiga jenis tersebut, gempa tektonik umumnya merupakan yang paling sering terjadi dan berdampak besar pada bangunan dan infrastruktur (Widodo et al., 2011) .

2.1.2 Seismisitas Indonesia

Indonesia merupakan salah satu wilayah dengan aktivitas seismik tertinggi di dunia. Hal ini disebabkan oleh posisi geografis Indonesia yang berada pada zona pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Eurasia di bagian utara, Lempeng Indo-Australia di bagian selatan, dan Lempeng Pasifik di bagian timur. Interaksi antara ketiga lempeng ini menghasilkan zona subduksi dan sesar aktif yang tersebar di seluruh kepulauan Indonesia.

Catatan sejarah menunjukkan bahwa Indonesia telah mengalami berbagai kejadian gempa bumi destruktif, di antaranya gempa Aceh tahun 2004 (M 9,1), gempa Yogyakarta tahun 2006 (M 5,9), gempa Palu tahun 2018 (M 7,4), dan gempa Cianjur tahun 2022 (M 5,6). Kejadian-kejadian tersebut menunjukkan bahwa tidak ada wilayah di Indonesia yang sepenuhnya bebas dari risiko gempa bumi, termasuk wilayah Jawa Tengah (Geologi et al., 2026) .

2.2 Konsep Dasar Analisis Gempa

2.2.1 Percepatan Tanah dan Parameter Gempa

Dalam rekayasa gempa, kekuatan gempa yang berpengaruh pada suatu lokasi dinyatakan dalam parameter percepatan tanah. Terdapat dua parameter utama yang digunakan, yaitu percepatan puncak batuan dasar *(Peak Ground Acceleration/PGA)* dan percepatan spektral pada periode pendek (*Ss*) serta periode 1 detik (*S1*). Nilai-nilai parameter ini diperoleh dari peta hazard gempa yang diterbitkan oleh Pusat Studi Gempa Nasional (PuSGeN, 2017) dan telah diadopsi dalam SNI 1726:2019.

Parameter percepatan tanah dipengaruhi oleh magnitudo gempa, jarak sumber gempa ke lokasi, dan karakteristik tanah setempat. Semakin dekat suatu lokasi dengan sumber gempa dan semakin lemah kondisi tanahnya, maka percepatan yang dialami bangunan di lokasi tersebut akan semakin besar. Oleh karena itu, karakterisasi tanah menjadi bagian penting dalam penentuan beban

gempa desain.

2.2.2 Klasifikasi Situs

Tabel 2. 1 Klasifikasi Situs Berdasarkan SNI 1726:2019

Kelas Situs	Nama Situs	Vs30 (m/s)	N-SPT	Su (kPa)
SA	Batuan Keras	> 1500	-	-
SB	Batuan	750 – 1500	-	-
SC	Tanah Keras / Padat	350 – 750	> 50	> 100
SD	Tanah Sedang	175 – 350	15 – 50	50 – 100
SE	Tanah Lunak	< 175	< 15	< 50
SF	Tanah Khusus	Perlu evaluasi khusus		

Nilai Vs30 merupakan kecepatan gelombang geser rata-rata pada kedalaman 30 meter, N-SPT adalah nilai rata-rata uji penetrasi standar, dan Su adalah kuat geser niralir rata-rata tanah kohesif. Apabila data lapangan tidak tersedia, penggunaan kelas situs SD (tanah sedang) diperbolehkan sebagai pendekatan konservatif sesuai ketentuan SNI 1726:2019.

2.3 Pembebanan Pada Struktur Gedung

Perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung memerlukan pemahaman yang komprehensif mengenai jenis-jenis beban yang bekerja pada struktur. Beban-beban tersebut harus diidentifikasi, dikuantifikasi, dan dikombinasikan sesuai dengan standar yang berlaku agar analisis yang dilakukan memberikan hasil yang aman dan realistis. Berdasarkan SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, beban yang bekerja pada bangunan gedung diklasifikasikan menjadi beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa, dan beban-beban khusus lainnya. Dalam penelitian ini, pembebanan yang ditinjau meliputi beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

2.3.1 Beban Mati

Beban mati (*dead load*) adalah beban yang berasal dari berat sendiri seluruh komponen bangunan yang bersifat tetap, termasuk elemen struktural dan non-struktural yang dipasang secara permanen pada bangunan. Beban mati memiliki karakteristik yang relatif konstan sepanjang umur bangunan dan dapat ditentukan dengan cukup akurat berdasarkan dimensi elemen serta berat jenis material yang digunakan.

Berdasarkan SNI 1727:2020, beban mati dibedakan menjadi dua kategori, yaitu beban mati sendiri (*self-weight*) yang merupakan berat elemen struktural itu sendiri seperti kolom, balok, dan pelat, serta beban mati tambahan (*superimposed dead load/SDL*) yang merupakan beban dari komponen non-struktural yang dipasang secara permanen seperti penutup lantai, dinding partisi tetap, plafon, instalasi mekanikal dan elektrikal.

2.3.2 Beban Hidup

Beban hidup (*live load*) adalah beban yang diakibatkan oleh pemakaian dan penghunian bangunan, termasuk beban dari orang, perabotan, peralatan yang tidak permanen, dan barang-barang yang dapat berpindah. Berbeda dengan beban mati, beban hidup bersifat variabel baik dalam hal posisi maupun intensitasnya sepanjang umur bangunan. Nilai beban hidup rencana yang digunakan dalam perancangan merupakan nilai karakteristik yang ditentukan berdasarkan fungsi ruang atau lantai sesuai SNI 1727:2020.

2.3.3 Beban Gempa

Beban gempa pada bangunan gedung pada dasarnya bukan merupakan beban yang diaplikasikan secara langsung, melainkan gaya inersia yang timbul akibat percepatan

tanah yang menyebabkan massa struktur bergerak. Besarnya gaya inersia ini bergantung pada massa struktur, karakteristik dinamis struktur (periode getar, daktilitas), dan percepatan tanah di lokasi bangunan. Pendekatan yang digunakan dalam SNI 1726:2019 adalah konsep desain berbasis kinerja dengan level gempa rencana berupa gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) pada probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun

A. Kategori Risiko Struktur Bangunan

Mengacu pada Pasal 4.1.2 SNI 1726:2019, pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dan non-gedung ditentukan berdasarkan kategori risiko masing-masing. Nilai pengaruh tersebut selanjutnya harus dikalikan dengan faktor keutamaan gempa sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam Tabel.

Tabel 2. 2 Kategori Risiko Struktur Bangunan (SNI 1726, 2019)

Jenis Pemanfaatan	**Kategori Risiko**
Gedung dan non-gedung dengan risiko rendah terhadap jiwa manusia saat terjadi kegagalan, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain yang tidak termasuk kategori I, III, dan IV, antara lain: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II

Gedung dan non-gedung dengan risiko tinggi terhadap jiwa manusia saat terjadi kegagalan, antara lain: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan tanpa unit bedah/gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk lansia Gedung dengan potensi dampak ekonomi besar atau gangguan massal, seperti: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi - Fasilitas yang menyimpan bahan berbahaya dalam batas tertentu	III
Gedung dan nongedung yang dikatogorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran - Ambulans - Kantor polisi beserta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapsiagaan darurat - Pusat komunikasi darurat - Pusat operasi tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas utilitas yang harus tetap beroperasi saat keadaan darurat - Struktur tambahan seperti menara telekomunikasi, tangki bahan bakar, menara pendingin, gardu listrik, tangki air pemadam kebakaran, dan struktur pendukung lainnya yang diperlukan agar fasilitas darurat tetap berfungsi - Gedung atau struktur lain yang diperlukan untuk mempertahankan fungsi bangunan Kategori Risiko IV.	IV

B. Faktor Keutamaan Gempa

SNI 1726:2019 mengklasifikasikan bangunan gedung ke dalam empat kategori risiko berdasarkan fungsi dan tingkat bahaya yang ditimbulkan apabila terjadi kegagalan struktur. Bangunan dengan fungsi pendidikan seperti gedung laboratorium perguruan

tinggi termasuk dalam Kategori Risiko IV, yaitu bangunan yang berpotensi menimbulkan dampak serius bagi masyarakat apabila mengalami kegagalan.

Tabel 2. 3 Faktor Keutamaan Gempa (Ie) Berdasarkan Kategori Risiko

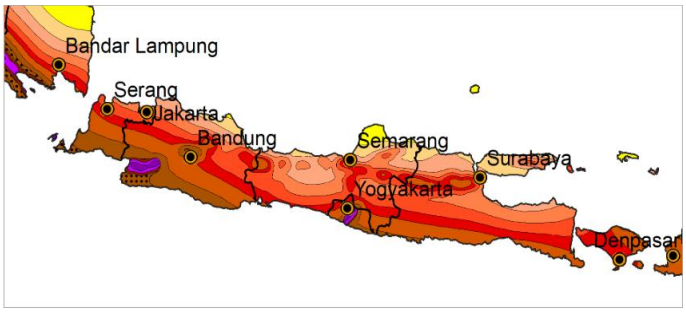
Kategori Risiko	Faktor Ie
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Faktor keutamaan gempa (*Ie*) digunakan untuk meningkatkan level perlindungan seismik bagi bangunan yang lebih penting. Gedung laboratorium terpadu sebagai sarana pendidikan tinggi menggunakan *Ie* = 1,50, yang berarti beban gempa desain yang digunakan dalam analisis lebih besar 25% dibandingkan bangunan biasa pada lokasi yang sama.

C. Parameter Percepatan Gempa

Parameter percepatan gempa yang digunakan dalam perencanaan meliputi percepatan batuan dasar pada periode pendek 0,2 detik (*Ss*) dan percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (*S1*). Nilai Ss dan S1 ditentukan berdasarkan peta respons spektral percepatan gempa dengan tingkat probabilitas terlampaui sebesar 2% dalam 50 tahun, serta dinyatakan dalam bentuk desimal terhadap percepatan gravitasi.

Penentuan nilai Ss dan S1 dilakukan dengan mengacu pada peta gempa yang tersedia melalui https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/. Prosesnya dilakukan dengan memasukkan koordinat lokasi proyek berupa garis lintang dan garis bujur, kemudian sistem akan menampilkan parameter percepatan gempa batuan dasar sesuai lokasi yang ditinjau.



Gambar 2. 1 Peta Wilayah Gempa menurut SNI 1726-2019 Berdasarkan Parameter Ss

(Sumber : https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/)



Gambar 2. 2 Peta Wilayah Gempa menurut SNI 1726-2019 Berdasarkan Parameter S1

(Sumber : https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/)

2.4 Analisis Gempa Dengan Metode Spektrum

Metode respons spektrum merupakan salah satu metode analisis dinamis yang umum digunakan dalam perencanaan struktur gedung bertingkat. Metode ini memperhitungkan respons struktur terhadap beberapa mode getar alami yang dimiliki bangunan (Anil K. Chopra, 2012) .

Dalam analisis respons spektrum, struktur ditinjau berdasarkan berbagai bentuk mode getar (*mode shape*), di mana setiap mode mempunyai periode getar dan partisipasi massa yang berbeda-beda. Respons dari masing-masing mode tersebut kemudian dikombinasikan untuk memperoleh respons total struktur.

Metode respons spektrum dipilih karena mampu memberikan hasil analisis yang lebih realistis dibandingkan metode statik ekuivalen, khususnya pada bangunan dengan jumlah lantai lebih dari dua. Selain itu, metode ini dapat digunakan untuk mengevaluasi simpangan antar lantai (*interstory drift*), gaya dalam pada elemen struktur, serta gaya geser dasar (*base shear*).

2.5 Sistem Rangka Pemikul Momen

2.5.1 Karakteristik Desain Sismik

Kategori Desain Seismik (KDS) merupakan klasifikasi yang menentukan tingkat pendetailan dan persyaratan khusus yang harus dipenuhi oleh suatu sistem struktur penahan gempa. KDS ditentukan berdasarkan nilai SDS dan SD1 serta kategori risiko bangunan. SNI 1726:2019 membagi KDS menjadi enam kategori, yaitu A, B, C, D, E, dan F, di mana F merupakan kategori dengan persyaratan paling ketat.

2.5.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Beton Bertulang

Berdasarkan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, terdapat beberapa sistem struktur yang dapat digunakan untuk menahan pengaruh gempa, salah satunya yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM). Sistem ini merupakan struktur rangka yang dirancang untuk memikul beban gravitasi secara penuh, seperti beban mati dan beban hidup. Sementara itu, beban gempa dan beban angin termasuk ke dalam beban lateral. Pada SRPM, beban lateral ditahan terutama melalui mekanisme lentur pada balok dan kolom.

Sistem Rangka Pemikul Momen dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)
   SRPMB digunakan pada bangunan dengan tingkat daktilitas yang masih terbatas dan umumnya diterapkan pada wilayah dengan kategori desain seismik A dan B. Pada sistem ini, elemen struktur seperti balok, kolom, pelat, dan joint bekerja menahan gaya lentur, geser, serta gaya aksial. Karena tingkat daktilitasnya rendah, SRPMB biasanya digunakan pada daerah dengan risiko gempa kecil.
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)
   SRPMM digunakan pada bangunan yang berada di wilayah dengan tingkat kegempaan sedang, terutama untuk kategori desain seismik C. Sistem ini memiliki tingkat daktilitas sedang dan tetap memenuhi ketentuan yang ada pada SRPMB. Dengan daktilitas yang lebih baik, SRPMM mampu memberikan kinerja struktur yang lebih aman saat menerima beban gempa.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
   SRPMK merupakan sistem struktur beton bertulang yang dirancang untuk menahan gaya lentur, geser, dan aksial dengan tingkat daktilitas yang tinggi. Sistem ini biasanya digunakan pada bangunan bertingkat di daerah dengan risiko gempa tinggi, seperti kategori desain seismik D dan E. Pada SRPMK, elemen balok, kolom, serta joint balok-kolom harus direncanakan dan didetailkan secara khusus agar mampu berperilaku daktail saat terjadi gempa. Perencanaan SRPMK juga dikenal dengan konsep desain kapasitas, yaitu struktur dirancang agar mengalami kerusakan secara terkontrol tanpa menyebabkan keruntuhan bangunan secara tiba-tiba.

2.6 Perangkat Lunak Untuk Analisis Struktur

Perkembangan teknologi di bidang rekayasa struktur saat ini semakin mempermudah proses analisis yang sebelumnya dilakukan secara manual dengan perhitungan yang panjang dan cukup rumit. Pada penelitian ini, proses analisis dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak yang umum dipakai dalam dunia akademik maupun profesional, yaitu SAP2000 untuk menganalisis struktur atas bangunan.

2.6.1 SAP 2000



Gambar 2. 3 Perangkat Lunak SAP 2000 V22

(Sumber : https://esi.edu.sa/wp-content/uploads/2022/01/SAP2000-V22.jpg)

SAP2000 merupakan salah satu perangkat lunak yang digunakan untuk analisis dan perencanaan struktur dengan metode elemen hingga (*Finite Element Method*/FEM). Program ini mampu menganalisis berbagai jenis struktur, seperti gedung, jembatan, menara, dan struktur lainnya dengan tingkat kerumitan yang berbeda-beda.

Pada penelitian ini, SAP2000 digunakan untuk memodelkan struktur Gedung Laboratorium Kesehatan tiga lantai dalam bentuk model tiga dimensi. Elemen struktur seperti pelat, balok, dan kolom dimasukkan ke dalam model sesuai dimensi dan spesifikasi material yang telah direncanakan sebelumnya. Material beton dan tulangan baja didefinisikan berdasarkan nilai kuat tekan beton (*fc'*) dan kuat leleh baja (*fy*) yang digunakan dalam perencanaan struktur.

Tahap pemodelan dilakukan dengan memasukkan beberapa data penting, antara lain:

a. Geometri bangunan berupa grid dan elevasi lantai
b. Dimensi elemen struktur
c. Properti material
d. Kondisi perletakan (*boundary condition*)
e. Beban yang bekerja pada struktur

Beban yang dimasukkan meliputi beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Analisis gempa dilakukan menggunakan metode respons spektrum sesuai ketentuan SNI 1726:2019. Data spektrum respons dimasukkan berdasarkan parameter gempa wilayah Salatiga, seperti nilai percepatan spektral dan klasifikasi jenis tanah.

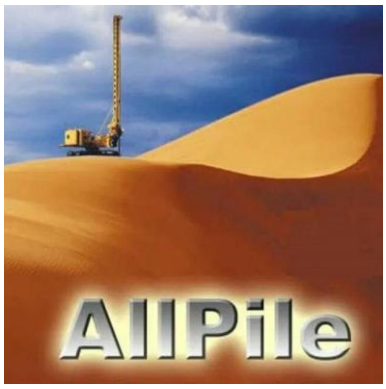
Selanjutnya, SAP2000 melakukan analisis dinamis untuk memperoleh beberapa parameter penting struktur, yaitu:

a. Periode getar alami struktur
b. Bentuk mode getar (*mode shape*)
c. Partisipasi massa
d. Gaya geser dasar (*base shear*)
e. Simpangan antar lantai (*interstory drift*)
f. Gaya dalam elemen seperti momen, geser, dan aksial

Hasil dari analisis tersebut digunakan untuk mengevaluasi apakah struktur sudah memenuhi persyaratan kekuatan dan batas simpangan sesuai standar yang berlaku. Walaupun SAP2000 dapat menghasilkan output secara otomatis, hasil analisis tetap ditinjau dan diinterpretasikan secara kritis dengan membandingkan hasil perhitungan terhadap ketentuan perencanaan struktur.

Dengan penggunaan SAP2000, proses analisis menjadi lebih efisien, akurat, dan mampu menggambarkan perilaku struktur bangunan secara menyeluruh terhadap pengaruh beban gempa.

2.6.2 Allpile



Gambar 2. 4 Perangkat Lunak AllPile

(Sumber : https://i.ytimg.com/vi/t5Xp0QVHELY/hqdefault.jpg)

Stabilitas sebuah bangunan tidak hanya bergantung pada struktur atas, tetapi juga ditentukan oleh sistem pondasi dalam menahan beban vertikal dan lateral. Dalam penelitian ini, evaluasi performa pondasi dilakukan secara digital menggunakan

perangkat lunak AllPile. Program ini memiliki spesifikasi khusus untuk menganalisis perilaku serta kapasitas daya dukung pondasi dalam, baik tiang pancang maupun bored pile. Melalui input parameter tanah—seperti kohesi, sudut geser dalam, berat isi, dan modulus elastisitas—AllPile mampu memodelkan interaksi antara tiang dan tanah secara akurat.

Secara spesifik, perangkat lunak ini diaplikasikan untuk mengukur daya dukung aksial tiang tunggal, mengevaluasi efisiensi kelompok tiang (*pile group*), mengestimasi penurunan (*settlement*), serta memprediksi ketahanan terhadap beban lateral. Input analisis didasarkan pada data hasil penyelidikan tanah (*soil investigation*), yang nantinya akan menghasilkan nilai kapasitas ultimit dan izin. Nilai tersebut kemudian divalidasi dengan gaya reaksi perletakan yang diperoleh dari permodelan struktur atas menggunakan SAP2000. Hubungan timbal balik ini memastikan bahwa beban yang disalurkan dari SAP2000 dapat diakomodasi oleh pondasi secara aman, sekaligus mencegah risiko kegagalan geser tanah dan penurunan yang masif.

2.6.3 GEO5



Gambar 2. 5 Perangkat Lunak GEO 5

(Sumber : https://share.google/euVcTVVJ1xH9p0YgX)

GEO5 merupakan perangkat lunak berbasis elemen hingga dan metode kesetimbangan batas *(Limit Equilibrium Method)* yang dirancang untuk analisis geoteknik dan perancangan struktur bawah. Dalam penelitian ini, perangkat lunak GEO5 digunakan untuk melakukan verifikasi kapasitas dukung, pemodelan deformasi, serta evaluasi stabilitas struktur geoteknik. Aplikasi ini mampu memperhitungkan parameter tanah komprehensif, seperti berat isi (γ), kohesi (c), sudut geser dalam ($\emptyset$), serta modulus elastisitas tanah (E). Tingkat keamanan struktur dievaluasi berdasarkan nilai Angka

Keamanan (*Safety Factor*) dan batas toleransi deformasi sesuai regulasi standar yang berlaku.

2.6.4 PCACollumn



Gambar 2. 6 Perangkat Lunak PCA Column

(Sumber : https://structurepoint.org/images/logo_column.gif)

PCA Column *(spColumn)* merupakan perangkat lunak berbasis strain compatibility method yang digunakan untuk melakukan analisis dan kontrol kapasitas penampang beton bertulang terhadap kombinasi beban aksial terfaktor (*Pu*) dan momen lentur terfaktor (*Mu*). Program ini menghasilkan output berupa Diagram Interaksi P-M yang menggambarkan batas kapasitas nominal penampang tereduksi (*ØPn* dan *ØMn*) sesuai standar ACI 318 / SNI 2847.

Dalam konteks evaluasi fondasi tiang bor (*bored pile*), PCA Column digunakan pada investigation mode untuk mengontrol kecukupan tulangan utama (*longitudinal*) yang terpasang. Evaluasi keamanan dilakukan dengan menguji posisi titik kombinasi beban (*Pu*, *Mu*) hasil keluaran SAP2000 terhadap kurva interaksi. Penampang tiang dikategorikan aman apabila seluruh titik kombinasi beban berada di dalam batas (*envelope*) kurva diagram interaksi, dan tidak aman apabila titik beban berada di luar kurva batas tersebut.

2.7 Peralatan Yang Digunakan Saat Pengolahan Data di Lokasi

2.7.1 Hammer Test (Uji Palu *Schmidt*)

Hammer test atau uji palu *Schmidt* (*Schmidt Hammer Test*) merupakan metode pengujian non-destruktif yang digunakan untuk memperkirakan kuat tekan beton di lapangan. Alat ini bekerja berdasarkan prinsip pantulan (*rebound*) massa baja yang dilepaskan dengan tekanan pegas terstandar ke permukaan beton. Nilai rebound number yang diperoleh

kemudian dikonversi menjadi nilai kuat tekan beton menggunakan kurva kalibrasi yang tersedia.

Pengujian hammer test dilakukan sesuai prosedur ASTM C805 atau SNI yang berlaku, dengan minimal 10 titik pengujian pada setiap elemen struktural yang ditinjau. Nilai yang digunakan adalah nilai rata-rata setelah mengeliminasi nilai tertinggi dan terendah yang berselisih lebih dari 6 satuan dari nilai median. Meskipun memiliki keterbatasan akurasi dibandingkan uji tekan silinder, hammer test merupakan metode yang paling praktis dan ekonomis untuk mendapatkan gambaran mutu beton aktual di lapangan tanpa merusak struktur.

2.7.2 Meteran

Meteran atau pita ukur adalah alat pengukur jarak yang digunakan untuk mengukur dimensi elemen struktural secara langsung di lapangan. Dalam konteks penelitian ini, meteran digunakan untuk mengukur dimensi penampang kolom, balok, tebal pelat, jarak antar kolom, tinggi lantai ke lantai (*floor-to-floor height*), serta dimensi fondasi yang terekspos.

Data dimensi yang diperoleh dari pengukuran langsung menggunakan meteran menjadi input utama dalam pemodelan struktur pada SAP2000. Kesesuaian antara dimensi aktual di lapangan dengan data yang dimasukkan ke dalam model sangat krusial, karena dimensi penampang elemen secara langsung menentukan kekakuan, kuat lentur, kuat geser, serta kapasitas beban aksial dari masing-masing elemen struktural.

Meteran yang digunakan dalam penelitian ini adalah meteran baja *(steel tape*) dengan panjang minimal 30 meter dan tingkat ketelitian 1 mm. Pengukuran dilakukan minimal tiga kali pada setiap dimensi yang ditinjau dan hasilnya dirata-ratakan untuk meminimalkan kesalahan pembacaan. Seluruh data hasil pengukuran dicatat dalam formulir survei lapangan dan diverifikasi dengan gambar as built drawing yang tersedia.

2.8 Standar Perencanaan Gempa

2.8.1 SNI 1726:2019

SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung merupakan standar utama yang digunakan dalam perencanaan dan evaluasi ketahanan gempa bangunan di Indonesia. Standar ini

merupakan pembaruan dari SNI 1726:2012 dengan perubahan signifikan pada peta hazard gempa yang mengacu pada hasil kajian probabilistik ancaman gempa terbaru oleh PuSGeN tahun 2017.

Perubahan utama SNI 1726:2019 dibandingkan versi sebelumnya meliputi pembaruan peta zona gempa, penambahan dan penyempurnaan ketentuan klasifikasi situs, penyesuaian faktor amplifikasi *Fa* dan *Fv*, serta penyempurnaan prosedur penentuan kategori desain seismik. Pembaruan ini berdampak pada besarnya beban gempa desain di berbagai wilayah Indonesia, termasuk wilayah Jawa Tengah yang mengalami peningkatan nilai percepatan desain pada beberapa lokasi.

2.8.2 SNI 2847:2019

SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung merupakan acuan dalam perancangan dan evaluasi elemen struktur beton bertulang. Standar ini mengatur persyaratan material, dimensi elemen, penulangan minimum dan maksimum, detail sambungan, serta persyaratan khusus untuk komponen struktur yang menjadi bagian dari sistem penahan gaya seismik.

Dalam konteks evaluasi ketahanan gempa, SNI 2847:2019 memberikan ketentuan mengenai kekuatan nominal elemen struktur beton bertulang, faktor reduksi kekuatan (ϕ), dan persyaratan daktilitas pada zona-zona kritis seperti sendi plastis di ujung balok dan kolom. Ketentuan-ketentuan ini menjadi dasar dalam mengevaluasi apakah kapasitas elemen struktur yang ada mampu menahan beban seismik sesuai SNI 1726:2019.

2.8.3 SNI 8460:2017

SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik merupakan acuan dalam perancangan dan evaluasi elemen struktur bawah, khususnya sistem fondasi. Standar ini menetapkan persyaratan perancangan geoteknik dan kegempaan untuk diaplikasikan pada pekerjaan-pekerjaan geoteknik di Indonesia, mencakup data geoteknik, perbaikan tanah, stabilitas lereng galian dan timbunan, terowongan, fondasi, struktur penahan tanah, serta galian dalam.

Dalam konteks evaluasi kapasitas fondasi tiang bor, SNI 8460:2017 memberikan ketentuan mengenai daya dukung tiang tunggal, persyaratan pengujian pembebanan dan integritas tiang (*pile loading test dan pile integrity test*), serta batas penurunan (*settlement*) izin pada fondasi tiang. Ketentuan-ketentuan ini menjadi dasar dalam

mengevaluasi apakah kapasitas kelompok tiang bor yang ada mampu menahan beban aksial dan lateral hasil analisis struktur atas sesuai SNI 1726:2019.

2.9 Pondasi Bangunan

2.9.1 Jenis Pondasi

Pondasi merupakan elemen struktur bawah yang berfungsi meneruskan beban dari struktur atas ke lapisan tanah yang mampu mendukungnya. Berdasarkan kedalaman dan mekanisme transfer bebannya, fondasi dibedakan menjadi fondasi dangkal dan fondasi dalam. Fondasi dangkal mencakup fondasi telapak (*pad footing*), fondasi menerus (*strip footing*), dan fondasi rakit (*raft foundation*), sedangkan fondasi dalam mencakup fondasi tiang pancang dan fondasi bor (*drilled pier*).

Pemilihan jenis fondasi didasarkan pada kondisi tanah, besarnya beban struktur, dan pertimbangan ekonomi. Pada bangunan bertingkat menengah seperti gedung laboratorium, fondasi tiang pancang atau fondasi bor umumnya digunakan apabila lapisan tanah keras berada pada kedalaman yang cukup besar.

2.9.2 Perilaku Fondasi terhadap Beban Gempa

Pada kondisi gempa, fondasi menerima gaya lateral dan momen akibat respons dinamis struktur atas. Konfigurasi dan panjang fondasi sangat menentukan kemampuan sistem fondasi dalam mendistribusikan dan menahan gaya-gaya tersebut ke tanah. Fondasi yang tidak memadai dapat mengalami kegagalan berupa penurunan diferensial, geser lateral, atau bahkan pencabutan (*uplift*) akibat beban gempa.

SNI 1726:2019 mensyaratkan bahwa fondasi harus dirancang untuk dapat meneruskan gaya-gaya maksimum yang dapat berkembang dari sistem penahan gaya seismik di atasnya. Hal ini penting untuk memastikan bahwa mekanisme keruntuhan yang terjadi adalah pada elemen struktur atas yang memiliki daktilitas memadai, bukan pada fondasi yang umumnya sulit untuk diperkuat setelah konstruksi selesai.

2.10 Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan

2.10.1 Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan sebagai bagian dari SLF

Sertifikat Laik Fungsi (SLF) adalah sertifikat yang diberikan oleh pemerintah daerah kepada pemilik bangunan gedung atas pemenuhan persyaratan kelaikan fungsi bangunan gedung setelah selesai dibangun dan akan dimanfaatkan. Dasar hukum penerbitan SLF

diatur dalam Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung dan lebih lanjut dijabarkan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 16 Tahun 2021 tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung.

SLF wajib dimiliki oleh setiap bangunan gedung sebelum dapat dimanfaatkan. Bagi bangunan gedung yang telah beroperasi sebelum ketentuan ini diberlakukan secara penuh, kewajiban memiliki SLF tetap berlaku dan menjadi tanggung jawab pemilik atau pengelola bangunan untuk mengurus penerbitannya.

2.11 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan terkait evaluasi ketahanan gempa pada bangunan gedung eksisting di Indonesia. Penelitian-penelitian tersebut memberikan konteks dan landasan metodologis yang relevan bagi penelitian ini.

enelitian yang dilakukan oleh (Muhammad Hilmi et al., 2021) membahas analisis kinerja struktur bangunan bertingkat menggunakan metode response spectrum berdasarkan SNI 1726:2019. Penelitian tersebut menggunakan gambar as-built drawing sebagai dasar pemodelan dan mengevaluasi beberapa parameter respons struktur, termasuk partisipasi massa, periode struktur, gaya geser dasar, simpangan, dan pengaruh P-Delta. Penelitian ini menjadi rujukan yang relevan bagi analisis struktur atas Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga, khususnya dalam penerapan metode response spectrum dan pemeriksaan kinerja struktur berdasarkan ketentuan yang berlaku.

Selanjutnya, (Tanijaya, 2019) mengevaluasi pengaruh perbedaan jenis tanah terhadap respons bangunan beton bertulang akibat beban gempa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi tanah dapat memengaruhi nilai gaya geser dasar, momen balok, dan kebutuhan kapasitas elemen struktur. Temuan tersebut memperkuat pentingnya penentuan klasifikasi situs dan parameter spektrum respons yang sesuai dengan kondisi lokasi penelitian. Dalam TA ini, aspek tersebut menjadi salah satu dasar dalam menentukan parameter pembebanan gempa untuk Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga.

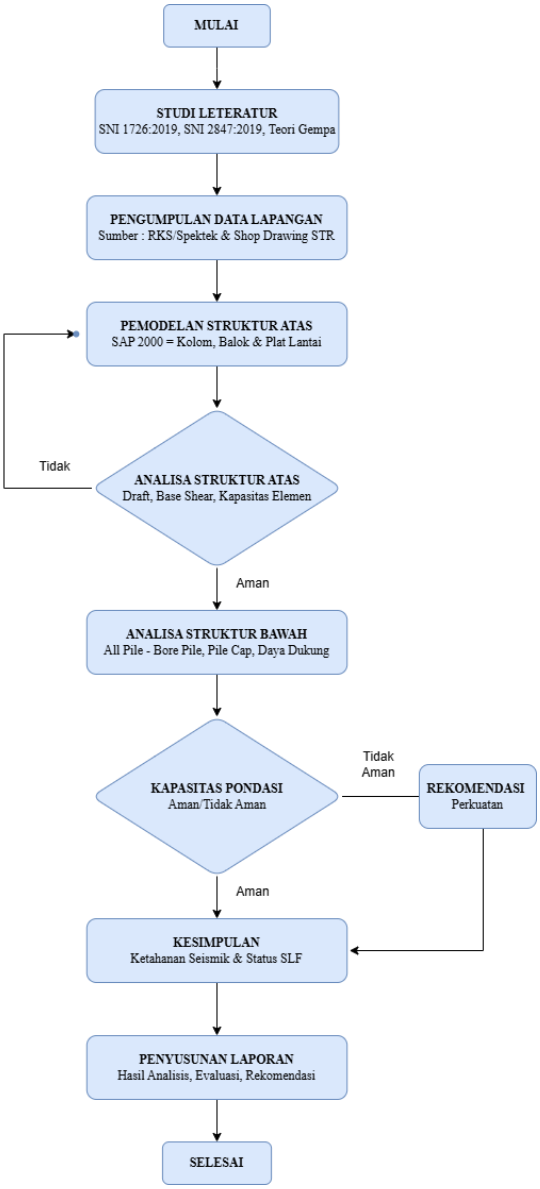
Sementara itu, (Kurniawan et al., 2020) meneliti pengaruh jarak dan konfigurasi kelompok tiang terhadap daya dukung aksial fondasi dalam. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa jarak antartiang dan susunan kelompok tiang memengaruhi faktor efisiensi serta kemampuan fondasi dalam memikul beban. Kajian ini relevan sebagai

landasan evaluasi fondasi pada pile cap P1 sampai P11, meskipun penelitian tersebut berfokus pada daya dukung kelompok tiang dan bukan secara khusus pada respons fondasi akibat gempa.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mengikuti alur yang sistematis dan terstruktur sebagaimana digambarkan pada diagram alur berikut. Alur penelitian dimulai dari identifikasi masalah, pengumpulan data lapangan, analisis parameter gempa, pemodelan dan analisis struktur, evaluasi ketahanan gempa terhadap standar yang berlaku, hingga penarikan kesimpulan dan rekomendasi teknis.



Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian

(Sumber : Data Penulis)

3.2 Lokasi dan Objek Penelitian

Lokasi proyek pembangunan gedung laboratorium terpadu Universitas Islam Negeri Salatiga berada di Jalan Lingkar Salatiga Km.02, Pulutan, Kec. Sidorejo, Kota Salatiga, Jawa Tengah yang berbatasan dengan :

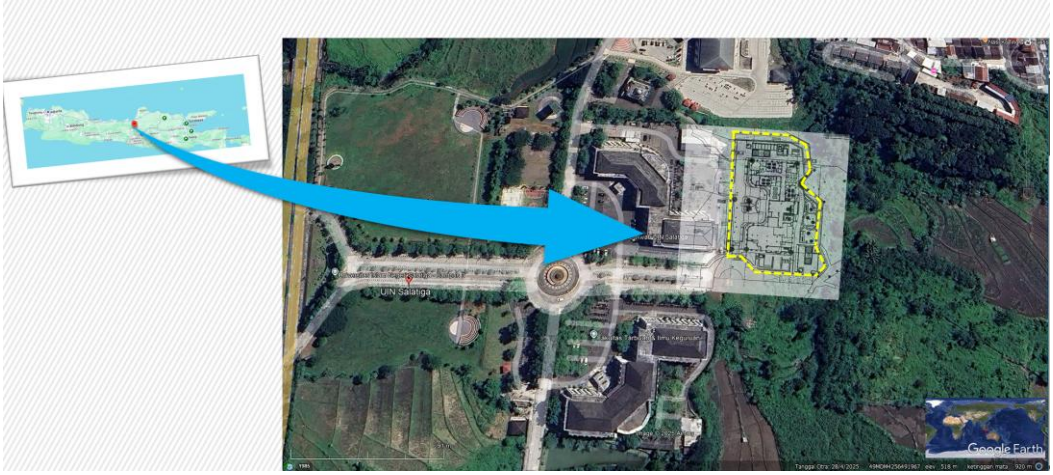
Sebelah Utara : Fakultas Ekonomi dan Bisnis Islam (FEBI) UIN Salatiga

Sebelah Barat : Gedung K. H. Hasyim Asy' Ari UIN Salatiga

Sebelah Timur : Lahan Kosong

Sebelah Selatan : Fakultas Tarbiyah & Ilmu Keguruan (FTIK) UIN Salatiga

Berikut merupakan gambar lokasi Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga :



Gambar 3. 2 Lokasi Gedung Labolatorium Terpadu UIN Salatiga

(Sumber : Data PCM-UIN SALATIGA)

Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga merupakan bangunan bertingkat yang difungsikan sebagai fasilitas laboratorium akademik. Bangunan ini termasuk dalam kategori hunian penting (Kategori Risiko IV) berdasarkan SNI 1726:2019, mengingat fungsinya sebagai pusat kegiatan pendidikan dan penelitian yang melayani kepentingan banyak pengguna.

Tabel 3. 1 Data Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga

No.	Keterangan	Data
1	Nama Proyek	Pembangunan Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga
2	Lokasi	Jl. Lingkar Salatiga No. Km. 2, Pulutan, Kec. Sidorejo, Kota Salatiga, Jawa Tengah
3	Fungsi Bangunan	Gedung Laboratorium Terpadu (Fasilitas Pendidikan)
4	Kategori Risiko	Kategori IV (SNI 1726:2019)
5	Wilayah Gempa	Salatiga, Provinsi Jawa Tengah

(Sumber : Data Penulis)

3.3 Pengumpulan Data

Data perencanaan yang digunakan dalam analisis ketahanan gempa diperoleh dari dua sumber utama, yaitu dokumen Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS/Spektek) dan gambar kerja struktur (*Shop Drawing* STR). Data perencanaan meliputi data umum bangunan, dimensi dan konfigurasi struktur, spesifikasi material, sistem pondasi, data pembebanan, serta acuan peraturan teknis yang berlaku.

3.3.1 Data Perencanaan

Data perencanaan yang digunakan dalam analisis ketahanan gempa Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga diperoleh dari dua sumber utama, yaitu dokumen Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS/Spektek) dan gambar kerja struktur (*Shop Drawing* STR). Data perencanaan meliputi data umum bangunan, dimensi dan konfigurasi struktur, spesifikasi material, sistem pondasi, data pembebanan, serta acuan peraturan teknis yang berlaku.

3.3.2 Data Umum Bangunan

Berdasarkan gambar kerja struktur (STR_UIN), bangunan Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga merupakan gedung berlantai tiga (3 lantai) ditambah atap dengan ketinggian total bangunan mencapai elevasi +12.550 m dari muka lantai dasar (±0.000) hingga muka lantai atap. Sistem pondasi bangunan menggunakan pondasi bor pile (*borepile*) dengan kedalaman dasar pondasi pada elevasi –10.000 m.

Tabel 3. 2 Data Umum Bangunan

No.	Parameter	Data
1	Nama Bangunan	Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga
2	Lokasi	Kota Salatiga, Jawa Tengah
3	Fungsi	Laboratorium Terpadu Akademik
4	Jumlah Lantai	3 Lantai + Atap
5	Elevasi Muka Lantai Dasar	± 0.000
6	Elevasi Lantai 2	+ 4.150 m
7	Elevasi Lantai 3	+ 8.350 m
8	Elevasi Atap (Muka Lantai Atap)	+ 12.550 m
9	Lebar Bangunan (arah melintang)	± 39.000 m
10	Panjang Bangunan (arah memanjang)	± 74.000 m
11	Kedalaman Pondasi Borepile	– 10.000 m
12	Sistem Struktur	Beton Bertulang (Rangka Momen)
13	Kategori Risiko	IV (SNI 1726:2019)

(Sumber : Data Penulis)

3.3.3 Dimensi Elemen Struktur

Berdasarkan gambar kerja struktur (*Shop Drawing* STR), dimensi elemen-elemen struktur utama Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga adalah sebagaimana diuraikan berikut ini.

a. Dimensi Kolom Struktur

Kolom merupakan elemen struktur vertikal yang berfungsi menyalurkan beban dari pelat dan balok pada lantai di atasnya menuju pondasi. Pada Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga, kolom dikelompokkan ke dalam sembilan tipe (K1 sampai K8, termasuk K4a), yang dibedakan berdasarkan dimensi penampang, jumlah tulangan utama, dan konfigurasi sengkang. Pengelompokan ini disesuaikan dengan besar beban yang dipikul

pada tiap lokasi kolom. Seluruh tipe kolom menggunakan mutu beton *f'c* = 25 MPa. Rincian dimensi dan penulangan setiap tipe kolom disajikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Dimensi Kolom

Notasi Kolom	Dimensi (mm×mm)	Mutu Beton	Tulangan Utama	Sengkang Tumpuan	Sengkang Lapangan
	b × h	f'c (MPa)	Jml. D (mm)	Tump.	Lapangan
K1	750 × 750	25	28 D25	2 D13 – 100	1,5 D13 – 150
K2	750 × 750	25	20 D25	2 D13 – 100	1,5 D13 – 150
K3	750 × 750	25	16 D25	2 D13 – 100	1,5 D13 – 150
K4	700 × 700	25	20 D25	2 D13 – 100	1,5 D13 – 150
K4a	700 × 700	25	24 D25	2 D13 – 100	1,5 D13 – 150
K5	700 × 700	25	16 D25	1,5 D13 – 100	1 D13 – 150
K6	550 × 550	25	16 D25	2 D10 – 100	1,5 D10 – 150
K7	550 × 550	25	12 D25	2 D10 – 100	1,5 D10 – 150
K8	250 × 500	25	Sesuai gambar	Sesuai gambar	Sesuai gambar

(Sumber : STR UIN Salatiga)

b. Dimensi *Tie Beam*

Balok merupakan elemen struktur horizontal yang menerima beban dari pelat lantai dan menyalurkannya ke kolom. Pada Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga, balok dikelompokkan ke dalam tipe B1 sampai B7a berdasarkan dimensi penampang, konfigurasi tulangan, dan fungsinya dalam sistem struktur, seperti balok induk, balok anak, balok area lift, dan balok tangga. Seluruh tipe balok menggunakan mutu beton f'c = 25 MPa, sama dengan mutu beton kolom. Rincian dimensi dan penulangan balok disajikan pada Tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Dimensi Tie Beam

Notasi	b (mm)	h (mm)	Mutu Beton	Tul. Atas Tump.	Tul. Bawah	Sengkang	Keterangan
B1	350	700	f'c = 25 MPa	8 D22	5 D22	1 D10 – 80	Balok Induk Lantai
B2	400	700	f'c = 25 MPa	12 D22	6–7 D22	1 D13 – 100	Balok Induk
B3	400	800	f'c = 25 MPa	9 D19	7 D19	1 D13 – 100	Balok Besar
B4	300	450	f'c = 25 MPa	4 D22	3–4 D22	1 D10 – 70	Balok Anak/Tangga
B5	300	500	f'c = 25 MPa	5 D22	3 D22	1 D10 – 100	Balok Anak
B6	300	650	f'c = 25 MPa	7 D25	7 D25	1,5 D13 – 130	Balok Induk Besar
B7	450	800	f'c = 25 MPa	12 D22	6 D22	1 D13 – 130	Balok Area Lift
B7a	450	800	f'c = 25 MPa	12 D22	6 D22	1 D13 – 80	Balok Area Lift Var.
S1	400	650	f'c = 25 MPa	9 D22	9 D22	1 D10 – 100	Sloof Utama
S2	350	550	f'c = 25 MPa	7 D22	7 D22	1 D10 – 100	Sloof Tepi
S3	300	500	f'c = 25 MPa	6 D22	6 D22	1 D10 – 100	Sloof Anak
S4	250	450	f'c = 25 MPa	4 D19	4 D19	D10 – 100	Sloof Kecil
S5	350	600	f'c = 25 MPa	7 D22	7 D22	1 D10 – 100	Sloof Sedang
S6	300	600	f'c = 25 MPa	6 D22	6 D22	1 D10 – 100	Sloof Tepi/Samping

(Sumber : STR UIN Salatiga)

c. Tebal Plat Lantai

Plat lantai adalah elemen struktur bidang yang menerima beban gravitasi langsung, berupa beban mati dan beban hidup, lalu menyalurkannya ke balok dan kolom. Pada Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga, plat lantai dikelompokkan ke dalam sepuluh tipe, yaitu A0, A1, A1a, A2, A2a, A3, A4, A4a, A5, dan A6. Pengelompokan ini didasarkan pada tebal plat, diameter dan jarak tulangan, serta fungsi plat pada tiap area. Seluruh tipe plat menggunakan mutu beton f'c = 25 MPa. Rincian tebal dan penulangan plat lantai disajikan pada Tabel 3.5.

Tabel 3. 5 Dimensi Plat Lantai

No.	Notasi	Tebal (mm)	Mutu Beton	Tul. Utama	Arah X (Lap.)	Arah Y (Lap.)	Keterangan
1	A0	120	f'c = 25 MPa	D10	D10 – 200	D10 – 200	Plat umum (tipe A2)
2	A1	130	f'c = 25 MPa	D10	D10 – 200	D10 – 200	Plat standar
3	A1a	120	f'c = 25 MPa	D10	D10 – 200	D10 – 200	Plat standar variasi
4	A2	120	f'c = 25 MPa	D10	D10 – 200 / D10 – 150	D10 – 200 / D10 – 150	Plat cantilever
5	A2a	120	f'c = 25 MPa	D10	D10 – 200	D10 – 200	Plat cantilever var.
6	A3	150	f'c = 25 MPa	D10	D10 – 100	D10 – 100	Plat diperkuat
7	A4	160	f'c = 25 MPa	D13	D13 – 125	D13 – 250	Plat tebal
8	A4a	160	f'c = 25 MPa	D13	D13 – 125	D13 – 250	Plat tebal variasi
9	A5	160	f'c = 25 MPa	D13	D13 – 125	D13 – 250	Plat area berat
10	A6	210	f'c = 25 MPa	D13	D13 – 100	D13 – 100	Plat tebal khusus

(Sumber : STR UIN Salatiga)

3.3.4 Data Sistem Pondasi

Sistem pondasi Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga menggunakan pondasi bor pile (*borepile*) yang terhubung ke pile cap. Berdasarkan gambar Denah Pilecap Elevasi –1.900 dan –1.000 (STR_UIN), terdapat beberapa tipe pile cap dengan dimensi yang bervariasi sesuai jumlah tiang dan beban yang dipikul.

Tabel 3. 6 Dimensi Pile Cap

Tipe	Dim. Pilecap (mm)	Tebal (mm)	Mutu Beton	Tul. Utama Arah X	Tul. Utama Arah Y	Jml. Tiang & Ø	Tul. Bor Pile
P1	11.600 × 6.800	800	f'c = 28 MPa	D22 – 200	D16 – 200	6 tiang, Ø800	20 D19, Spiral D13-100
P2	14.000 × 4.400	800	f'c = 28 MPa	D22 – 200	D16 – 200	6 tiang, Ø800	20 D19, Spiral D13-100
P3	6.800 × 6.800	800	f'c = 28 MPa	D22 – 200	D16 – 200	6 tiang, Ø800	20 D19, Spiral D13-100
P4	4.400 × 9.200	900	f'c = 28 MPa	D22 – 180	D16 – 170	4 tiang, Ø800	20 D19, Spiral D13-100
P4a	4.400 × 9.200	900	f'c = 28 MPa	D22 – 180	D16 – 170	4 tiang, Ø800	20 D19, Spiral D13-100
P5	4.400 × 6.800	800	f'c = 28 MPa	D22 – 180	D16 – 170	4 tiang, Ø800	20 D19, Spiral D13-100
P5a	4.400 × 6.800	900	f'c = 28 MPa	D22 – 180	D16 – 170	4 tiang, Ø800	20 D19, Spiral D13-100
P6	4.400 × 4.400	800	f'c = 28 MPa	D22 – 180	D16 – 170	4 tiang, Ø800	20 D19, Spiral D13-100
P6a	4.400 × 4.400	900	f'c = 28 MPa	D22 – 180	D16 – 170	4 tiang, Ø800	20 D19, Spiral D13-100
P10	6.800 × 6.800	800	f'c = 28 MPa	D22 – 180	D16 – 170	6 tiang, Ø800	20 D19, Spiral D13-100

(Sumber : STR UIN Salatiga)

Tabel 3. 7 Spesifikasi Pondasi

No.	Jenis Pondasi	Mutu Beton	Mutu Baja
1	*Bor Pile* (Pondasi Tiang Bor)	f'c = 28 MPa	BJTS 420B (fy = 420 MPa)
2	*Pile Cap*	f'c = 28 MPa	BJTS 420B (fy = 420 MPa)
3	*Footplat*	Sesuai gambar kerja	BJTS 420B (fy = 420 MPa)
4	Pondasi *Cyclope*	Sesuai gambar kerja	BJTS 420B (fy = 420 MPa)
5	Pondasi Batu Belah	Adukan 1 PC : 6 PS	–

(Sumber : STR UIN Salatiga)

Tabel 3. 8 Nilai Slump per Elemen Konstruksi

No.	Bagian Konstruksi	Nilai Slump (mm)
1	*Bore pile*	16 ± 2
2	*Pile Cap*	10 ± 2
3	Kolom	10 ± 2
4	Balok	10 ± 2
5	Plat Lantai	10 ± 2
6	Dinding Penahan Tanah	10 ± 2

(Sumber : STR UIN Salatiga)

Ketentuan teknis beton *ready mix* yang digunakan antara lain: (a) semen menggunakan tipe OPC (*Ordinary Portland Cement*) Type 1 sesuai SNI 2049-1:2020; (b) agregat kasar menggunakan batu pecah (*stone crusher*); (c) temperatur *beton ready mix* sebelum dicorkan tidak boleh lebih dari 30°C; dan (d) pengujian kuat tekan beton mengacu SNI 1974-2011 dengan benda uji silinder.

3.3.5 Data Parimeter Tanah

Data tanah diperoleh dari hasil uji *Standard Penetration Test* (SPT) di Lokasi rencana, meliputi:

Tabel 3. 9 Data Parimeter Tanah

Kedalaman (m)	N-SPT	Jenis Tanah	γ (kN/m³)	c (kPa)	φ (°)
0 – 2	±4	Lempung coklat muda (lunak)	17	20	5
2 – 4	±10	Lempung coklat muda (sangat kenyal)	18	50	8
4 – 6	±60	Pasir halus berlempung (sangat padat)	19	0	38
6 – 8	±75	Pasir halus bercampur kerikil (padat)	19	0	40
8 – 10	±39	Lempung pasiran (keras)	18	195	10
10 – 13	±28–44	Lempung pasiran (keras)	18	140–220	10
13 – 15	±47	Pasir halus (padat)	19	0	36
15 – 17	±80	Pasir + batu koral (sangat padat)	20	0	40
17 – 20	±46–44	Pasir halus + gravel (padat)	19	0	36
20 – 23	±60	Pasir berkerikil (padat)	20	0	38
23 – 26	±45	Pasir sedang (padat)	19	0	36
26 – 30	±47–60	Pasir sedang + kerikil (padat–sangat padat)	20	0	38

(Sumber : STR UIN Salatiga)

3.4 Survei dan Pengujian Lapangan

Survei lapangan dilakukan untuk memperoleh data aktual kondisi eksisting bangunan yang meliputi dimensi elemen struktural, elevasi lantai, dan mutu beton aktual. Survei dilakukan menggunakan peralatan meteran, waterpass, dan hammer test.

3.4.1 Pengukuran Dimensi Elemen Struktur

Pengukuran dimensi dilakukan secara langsung di lapangan menggunakan meteran. Dimensi yang diukur meliputi penampang kolom, balok, jarak antar kolom, dan tinggi

lantai ke lantai (*floor-to-floor height*). Pengukuran dilakukan minimal tiga kali pada setiap dimensi dan hasilnya dirata-ratakan untuk meminimalkan kesalahan pembacaan



Gambar 3. 3 Pengukuran Elemen Struktur

(Sumber : Dokumentasi Penulis)

3.4.2 Uji *Hammer Test* (Uji Palu *Schmidt*)

Hammer test dilakukan untuk mendapatkan nilai mutu beton aktual di lapangan sesuai prosedur ASTM C805. Pengujian dilakukan pada elemen-elemen struktural utama yaitu kolom dan balok, dengan minimal 10 titik pengujian pada setiap elemen yang ditinjau. Nilai *rebound number* hasil pengujian kemudian dikonversi menjadi nilai kuat tekan beton (*f'c*) menggunakan kurva kalibrasi. Nilai rata-rata dihitung setelah mengeliminasi nilai tertinggi dan terendah yang berselisih lebih dari 6 satuan dari nilai median.

Hasil uji hammer test digunakan sebagai input properti material beton dalam pemodelan SAP2000 menggantikan nilai *f'c* rencana dari *Shop Drawing*, sehingga analisis yang dilakukan mencerminkan kondisi aktual bangunan di lapangan.



Gambar 3. 4 Pengujian Hammer Test

(Sumber : Dokumentasi Penulis)

3.5 Penentuan Parameter Gempa dan Respons Spektrum Desain

Parameter gempa desain ditentukan berdasarkan lokasi bangunan di Kota Salatiga, Jawa Tengah, mengacu sepenuhnya pada SNI 1726:2019. Tahapan penentuan parameter gempa adalah sebagai berikut.

3.5.1 Penentuan Nilai Ss dan S1

Nilai percepatan batuan dasar pada periode pendek (*Ss*) dan periode 1 detik (*S1*) ditentukan melalui portal peta gempa nasional https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/ dengan memasukkan koordinat geografis lokasi gedung. Nilai *Ss* dan *S1* yang diperoleh merupakan nilai pada probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (*return period* 2475 tahun).

3.5.2 Klasifikasi Situs dan Faktor Amplifikasi

Klasifikasi situs tanah dilakukan berdasarkan data hasil penyelidikan tanah (*soil investigation*) pada lokasi gedung, mengacu pada ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 5.3. Hasil klasifikasi situs digunakan untuk menentukan faktor amplifikasi untuk percepatan periode pendek (*Fa*) dan faktor amplifikasi untuk percepatan pada periode panjang (*Fv*).

Tabel 3. 10 Klasifikasi Situs Sesuai SNI 1726:2019

Kelas Situs	Kecepatan Gelombang Geser Rata-rata Vs (m/detik)	Nilai Rata-rata SPT (N)	Kuat Geser Niralir Rata-rata Su (kPa)
SA (Batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (Batuan)	750 – 1500	N/A	N/A
SC (Tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350 – 750	> 50	≥ 100
SD (Tanah sedang)	175 – 350	15 – 50	50 – 100
SE (Tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : Indeks plastisitas, *PI > 20* kadar air, *w ≥40%,* Kuat geser niralir *su < 25 kPa*		
SF (Tanah khusus yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs)	Lihat Pasal 5.3.1		

(Sumber : Klasifikasi Situs SNI 1726:2019)

3.5.3 Penyusunan Kurva Respons Spektrum Desain

Kurva respons spektrum desain disusun berdasarkan nilai parameter percepatan spektral desain pada periode pendek (SDS) dan pada periode 1 detik (SD1) yang dihitung menggunakan rumus:

$$SMS = Fa \times Ss \quad dan \quad SM1 = Fv \times S1$$

$$SDS = (2/3) \times SMS \quad dan \quad SD1 = (2/3) \times SM1$$

Faktor keutamaan gempa yang digunakan adalah *Ie* = 1,50 sesuai dengan Kategori Risiko IV untuk bangunan fasilitas pendidikan. Kurva respons spektrum desain yang telah disusun selanjutnya diinput ke dalam SAP2000 sebagai data beban gempa untuk analisis respons spektrum.

3.6 Permodelan Struktur dengan SAP2000

Pemodelan struktur dilakukan secara tiga dimensi (3D) menggunakan perangkat lunak SAP2000. Model struktur dibuat berdasarkan data aktual lapangan dari *as built drawing*, hasil pengukuran dimensi, dan hasil *hammer test*.

3.7 Analisis pada Pondasi

Perhitungan daya dukung fondasi dianalisis menggunakan metode *Meyerhof* yang didasarkan pada data hasil pengujian *Standard Penetration Test* (SPT). Selanjutnya, analisis dilanjutkan dengan menghitung kapasitas daya dukung tiang tunggal serta kelompok tiang dengan mempertimbangkan faktor efisiensi kelompok tiang. Untuk menguji kinerja fondasi, kontrol terhadap penurunan (*settlement*) dan defleksi lateral dilakukan dengan bantuan perangkat lunak AllPile. Tahap akhir analisis meliputi perhitungan kebutuhan penulangan struktur *pile cap*.

BAB IV
HASIL ANALISIS

4.1 Umum

Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga merupakan bangunan pendidikan tiga lantai yang dirancang menggunakan struktur beton bertulang. Perhitungan dan analisis gaya-gaya dalam pada struktur ini dilakukan secara manual serta diverifikasi menggunakan bantuan perangkat lunak SAP2000 versi 22.0.0. Pemilihan gedung ini didasarkan pada kompleksitas fungsi konstruksinya.

Subbab ini menyajikan hasil analisis dan pembahasan mengenai kontrol kapasitas pondasi tiang bor (*bored pile*) pada sebelas tipe *pile cap* (P1 hingga P11). Evaluasi dilakukan terhadap empat aspek utama, yaitu daya dukung aksial tiang (tekan dan/atau tarik), kecukupan penulangan penampang *bored pile*, besarnya penurunan (*settlement*), serta defleksi arah lateral. Adapun tahapan pembahasan pada setiap tipe pile cap meliputi penentuan daya dukung tiang tunggal, perhitungan reaksi tumpuan dari model struktur atas, analisis kelompok tiang, kontrol penulangan, kontrol rasio daya dukung, hingga evaluasi *defleksi lateral* dan penurunan.

4.2 Dasar Perhitungan

Perencanaan struktur dan pondasi bangunan ini dalam segala hal mengikuti semua peraturan dan ketentuan yang berlaku di Indonesia (SNI). Khususnya yang ditetapkan dalam peraturan – peraturan sebagai berikut :

1. Structure Analisis Progran (SAP)-2000 versi 22.0.0.
2. Pedoman Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 2847-2019 / ACI 318-14 / (SRPMK)
3. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2019
4. Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain SNI 1727:2020
5. Pedoman Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726 – 2019 (IBC 2012)
6. Metode Uji *Hammer Test* Beton SNI 03-4430-1997
7. Metodhe *Convere-Labarre* (Efisiensi Kelompok Tiang)
8. Persyaratan Perancangan Geoteknik SNI 8460:2017

4.3 Analisa Struktur Atas

4.3.1 Sistem Struktur

Konsep desain *Open Frame* yaitu struktur bangunan yang terdiri dari rangka – rangka portal kaku sebagai pendukung struktur utama bangunan. Sedangkan dinding tidak dianggap ikut mendukung struktur, dia berfungsi sebagai pembebanan dan penyekat antar ruangan.

Desain kapasitas yang diterapkan untuk merencanakan agar kolom – kolom lebih kuat dari balok – balok portal *(strong column – weak beam)*. Pada prinsipnya dengan konsep desain kapasitas, elemen – elemen utama penahan beban gempa dapat ditentukan, direncanakan, dan didetail sedemikian rupa sehingga mampu memencarkan dan menyebarkan energi gempa dengan deformasi inelastis yang cukup besar tanpa runtuh, sedangkan elemen – elemen lainnya diberi kekuatan yang cukup, sehingga mekanisme yang telah ditentukan dapat dipertahankan pada saat terjadi gempa kuat.

4.3.2 Pemeriksaan Sistem Struktur Bangunan Gedung

Untuk menjelaskan secara rinci bangunan Gedung tersebut dianalisis berdasarkan aspek pemeriksaan gedung tiap lantainya secara visual maupun pemeriksaan mutu bahan bangunan dengan alat *Undestructive Test*. Berikut hasil survey yang dilakukan oleh kami pada tanggal 15 Mei 2026.

a. Landasan Hukum

- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2021 tentang Peraturan Pelaksanaan Undang – Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung
- Pedoman Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 2847-2019 / ACI 318-14 / (SRPMK)
- Pedoman Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 1727:2020.
- Pedoman Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung SNI 1726 – 2019 (IBC 2012)
- Metode Uji Hammer Test Beton SNI 03-4430-1997 / ASTM C805 : 2012

b. Komponen Pemeriksaan

- **Pengujian Dimensi Struktur**
  Pengujian struktur untuk meninjau kesesuaian dimensi penampang apa yang ada pada gambar (*As-Built Drawing* Kontraktor) dengan realita yang terbangun. Agar mengetahui bahwasannya dimensi penampang tersebut sudah sesuai atau bahakan tidak sesuai dengan apa yang ada pada gambar. Menggunakan alat meteran pendek dan meteran laser bertujuan mengetahui panjang dan lebar penampang umumnya untuk struktur sendiri dimensi secara penampang berlebih

sekitar 2 – 5 cm akibat munculnya plesteran dan acian pada keliling selimut betonnya. Kemudian menggunakan jangka sorong untuk mengetahui tebal profil baja IWF serta dimensi penampang bautnya. Berikut gambar alat yang teraplikasi saat pengujian :



Gambar 4. 1 Meteran pendek

(Sumber : Dokumentasi Penulis)

- **Pengujian Hammer Concrete**

Metode pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban *impact* (tumbukan) pada permukaan beton dengan menggunakan suatu massa yang diaktifkan dengan memberikan energi yang besarnya tertentu. Jarak pantulan yang timbul dari massa tersebut pada saat terjadi tumbukan dengan permukaan beton benda uji dapat memberi indikasi kekerasan dan juga, juga setelah kalibrasi, dapat memberikan indikasi nilai kuat tekan beton benda uji. Jenis hammer yang umum dipakai untuk pengujian ini adalah *Schmidt rebound hammer*. Alat ini sangat berguna untuk mengetahui keseragaman material beton pada struktur.

Karena kesederhanaannya, pengujian deangan menggunakan alat ini dapat dilakukan dengan cepat, sehinggadapat mencakup area pengujian yang luas dalam waktu yang singkat. Alat ini sangat peka terhadap variasi yang ada pada permukaan beton, misalkan keberadaan partikal batu pada bagian bagian tertentu dekat permukaan. Oleh karena itu, diperlukan pengambilan beberapa kali pengukuran di sekitar setiap lokasi pengukuran, yang hasilnya kemudian dirata-ratakan. British Standarts (BS) mengisyaratkan pengambilan antara 9 sampai 25 kali pengukuran untuk setiap daerah pengujian seluas maksimum 300 mm² (jarak antara 2 lokasi pengukuran tidak boleh dari pada 20 mm). Secara umum alat yang digunakan ialah untuk:

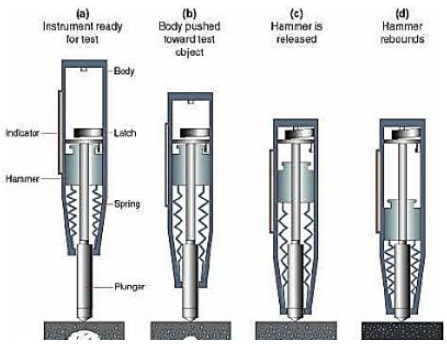
- Memeriksa keseragaman kualitas beton pada struktur
- Mendapatkan perkiraan nilai kuat tekan beton
- Mendapatkan informasi mengenai ketahanan beton terhadap abrasi

Spesifikasi mengenai penggunaan alat ini bisa dilihat pada SNI 03-4430-1997 atau ASTM C805 : 2012.



Gambar 4. 2 Alat uji hammer test

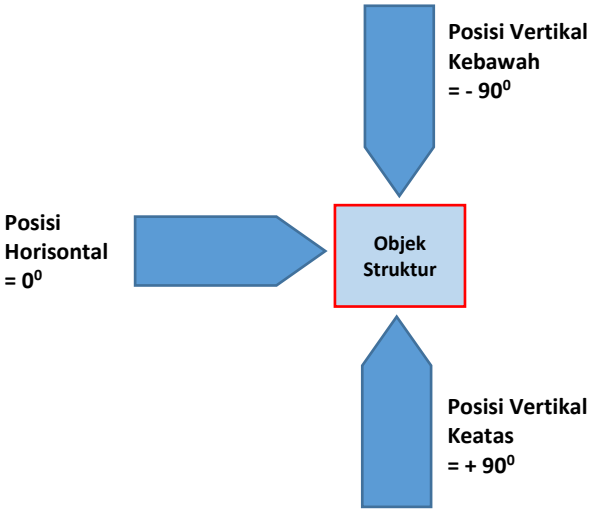
(Sumber : Dokumentasi Penulis)



Gambar 4. 3 Prinsip Kerja Alat Uji Hammer Test

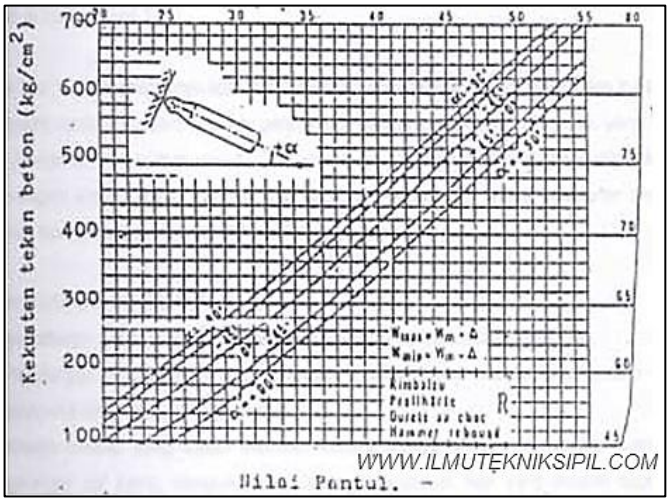
(Sumber : https://hesa.co.id/wp-content/uploads/2015/10/http-hesa-co-id-images-blog-hammertest-memperkir-1.jpeg)

Untuk setiap struktur yang ditinjau tentunya dimungkinkan akan menemukan bahwa struktur tersebut letaknya maupun posisinya tidak dapat dilakukan pengujian dengan derajat yang sama maupun berbeda tergantung struktur tersebut berada sehingga posisi penembahan jack hammer akan mempengaruhi cara rekapitulasi angka dari output *jack hammer* tersebut. Kemudian digunakanlah pendekatan berupa angka –angka koefisien sebagai penyama dari posisi yang berbeda – beda pada saat dilakukan penembakan dengan alat *jack hammer*. Ilustrasi posisi cara tumbukan *hammer test* :



Gambar 4. 4 Ilustrasi Posisi Hammer
(Sumber : Data dari Penulis)

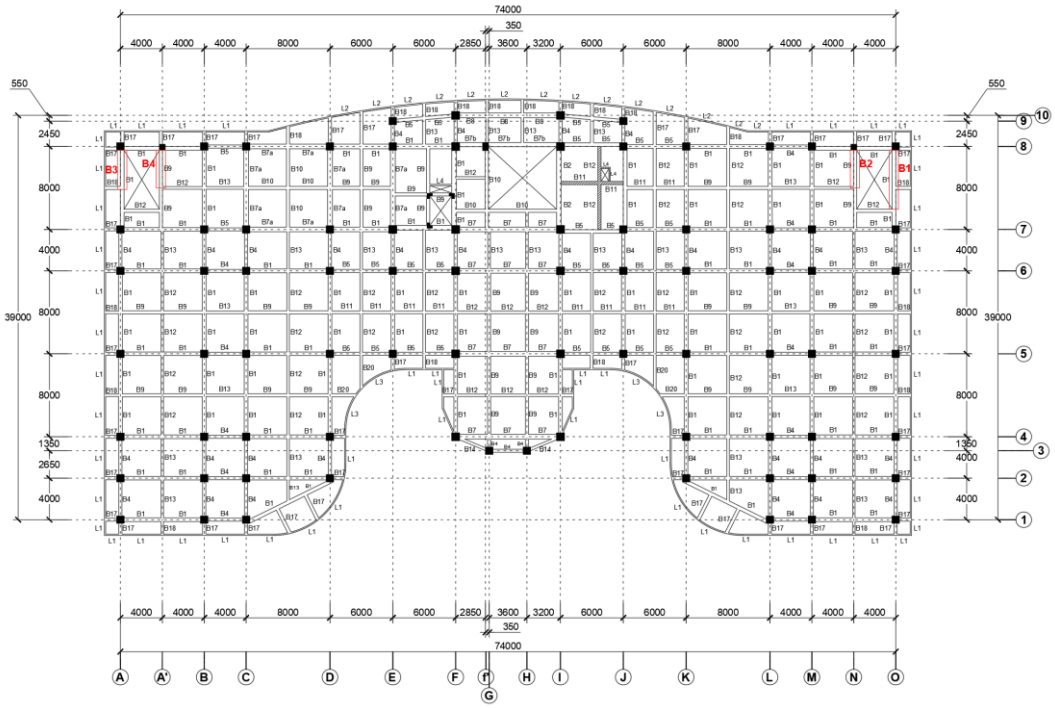
Tabel analisis perbandingan nilai pukulan dengan kuat karakteristik beton :



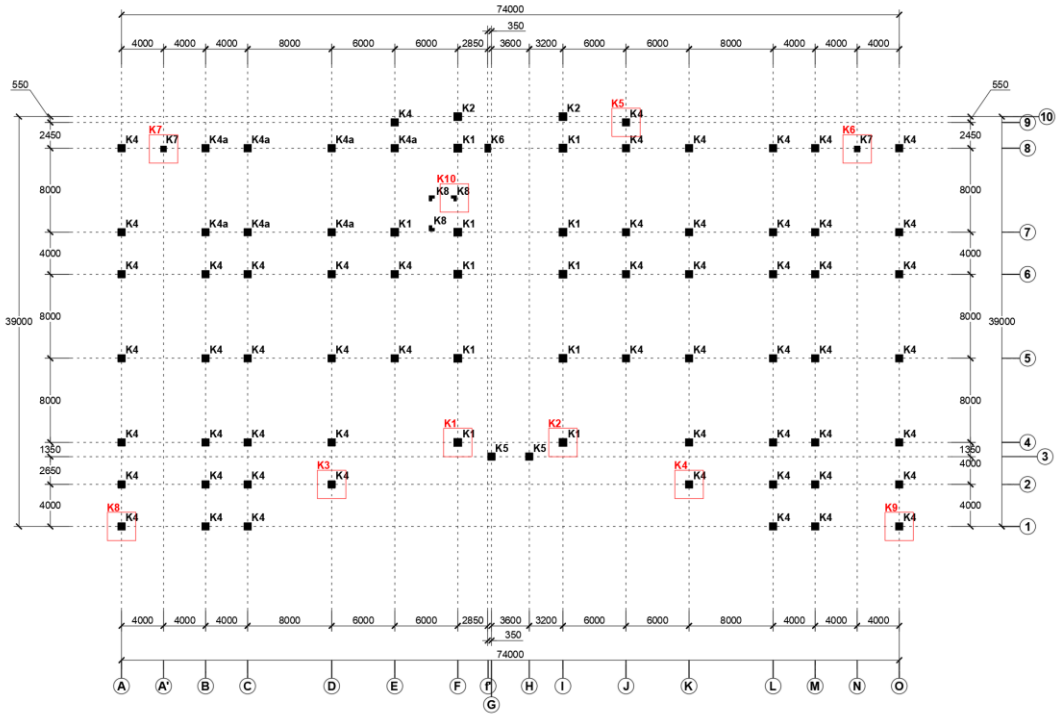
Gambar 4. 5 Grafik Korelasi Nilai Pukul Alat

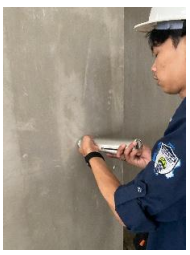
(Sumber : https://3.bp.blogspot.com/-m8bBpHm6gQ0/VNxhqAiF0RI)

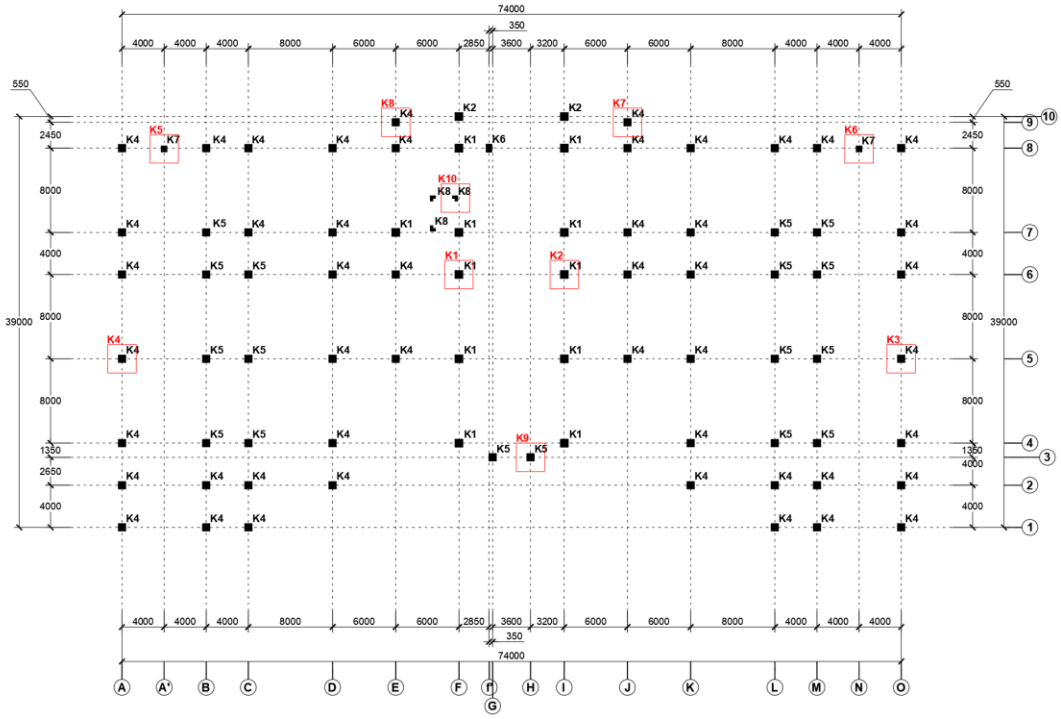
Berikut nilai dari kekuatan material beton bertulang yang dicuplik dari serangkaian pengujian *un-destruktif test* (*hammer test*) dimana nilai dari kekuatan beton tersebut akan disajikan berdasarkan kondisi tiap lantainya sebagai berikut :

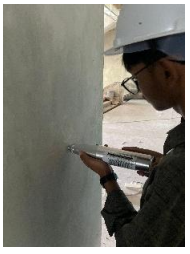
Denah Titik Sampel Balok


Dokumentasi				
				
B1 316.736 Kg/cm^2	B2 314.384 Kg/cm^2	B3 312.816 Kg/cm^2	B4 315.168 Kg/cm^2	

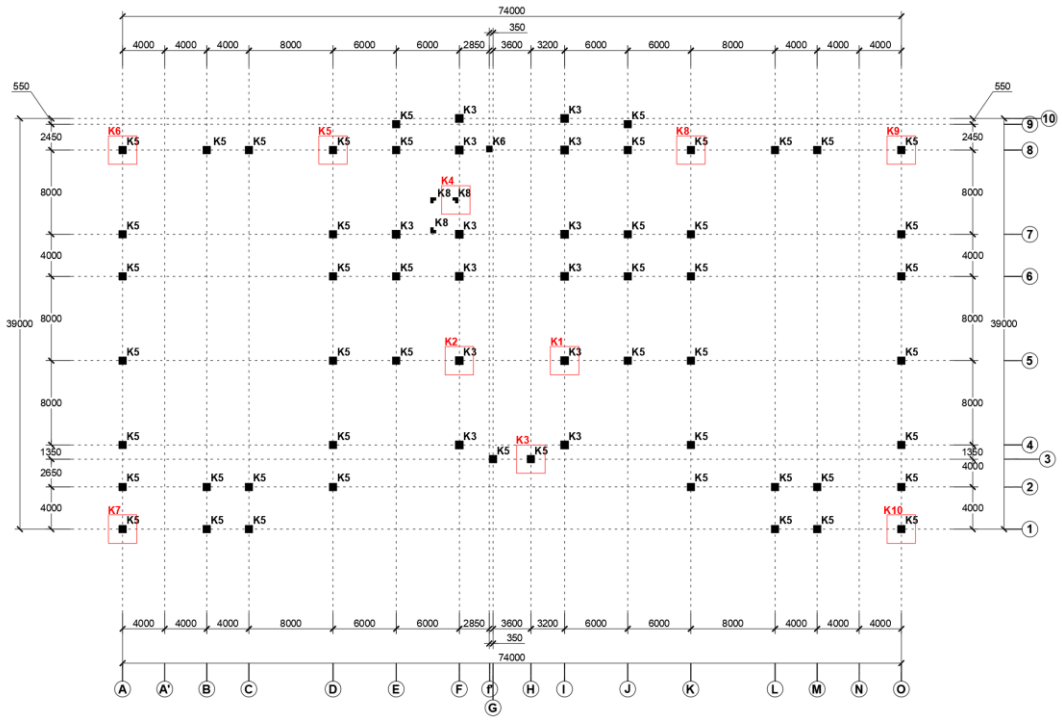
Denah Titik Sampel Kolom Lantai 1


Dokumentasi				
				
K1 312.816 Kg/cm^2	K2 313.6 Kg/cm^2	K3 317.52 Kg/cm^2	K4 313.6 Kg/cm^2	K5 316.736 Kg/cm^2
				
K6 316.736 Kg/cm^2	K7 313.6 Kg/cm^2	K8 315.168 Kg/cm^2	K9 314.384 Kg/cm^2	K10 315.952 Kg/cm^2

Denah Titik Sampel Kolom Lantai 2


Dokumentasi				
				
K1 314.384 Kg/cm^2	K2 314.384 Kg/cm^2	K3 316.736 Kg/cm^2	K4 314.384 Kg/cm^2	K5 314.384 Kg/cm^2
				
K6 315.168 Kg/cm^2	K7 312.816 Kg/cm^2	K8 317.52 Kg/cm^2	K9 317.52 Kg/cm^2	K10 314.384 Kg/cm^2

Denah Titik Sampel Kolom Lantai 3



Dokumentasi

				
K1 316.736 Kg/cm^2	K2 314.384 Kg/cm^2	K3 316.736 Kg/cm^2	K4 316.736 Kg/cm^2	K5 315.952 Kg/cm^2
				
K6 314.384 Kg/cm^2	K7 317.52 Kg/cm^2	K8 312.816 Kg/cm^2	K9 317.52 Kg/cm^2	K10 314.384 Kg/cm^2

Gambar 4. 6 Matriks Pengujian Hammer Test Bangunan

(Sumber : Data STR UIN Salatiga dan Dokmentasi Penulis)

Hasil dari input data pengecekan hammer test pada aspek struktur yang dapat ditinjau:

Tabel 4. 1 Input Nilai Hammer Test Bangunan

Hasil Pengujian Hammer test Bangunan Gedung Lab UIN SAGA, 2026																		
Tinjauan Struktur	Notasi	Dimensi (Cm)	Nilai Pukulan Alat Hammer Test										Posisi Hammer (Derajat)	∑r	Faktor Koreksi Alat	Standard deviasi	Koefisien Variasi	R Koreksi
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
Kolom Lt. 1	K1	75 x 75	39	40	41	38	40	42	38	41	40	40	0	39.9	1.00	1.29	0.03	39.90
	K2	75 x 75	38	39	40	41	42	40	39	41	40	40	0	40.0	1.00	1.15	0.03	40.00
	K3	70 x 70	40	41	42	39	40	41	40	42	39	41	0	40.5	1.00	1.08	0.03	40.50
	K4	70 x 70	38	40	39	41	42	40	39	40	41	40	0.1	40.0	1.00	1.15	0.03	40.00
	K5	70 x 70	40	41	42	39	40	41	40	42	39	40	0	40.4	1.00	1.07	0.03	40.40
	K6	55 x 55	39	40	41	42	40	39	40	41	42	40	0	40.4	1.00	1.07	0.03	40.40
	K7	55 x 55	38	39	40	41	40	42	39	40	41	40	0	40.0	1.00	1.15	0.03	40.00
	K8	70 x 70	39	40	42	40	39	41	40	39	42	40	0	40.2	1.00	1.14	0.03	40.20
	K9	70 x 70	39	40	41	40	42	39	40	41	40	39	0	40.1	1.00	0.99	0.02	40.10
	K10	25x25x50	40	41	39	40	42	41	40	39	41	40	0	40.3	1.00	0.95	0.02	40.30
Kolom Lt. 2	K1	75 x 75	39	40	41	40	40	39	42	40	41	39	0	40.1	1.00	0.99	0.02	40.10
	K2	75 x 75	40	39	41	42	40	39	40	41	40	39	0	40.1	1.00	0.99	0.02	40.10
	K3	70 x 70	41	40	42	39	40	41	40	42	39	40	0	40.4	1.00	1.07	0.03	40.40
	K4	70 x 70	39	40	41	40	42	39	40	41	40	39	0	40.1	1.00	0.99	0.02	40.10
	K5	55 x 55	40	41	39	39	40	42	40	39	41	40	0	40.1	1.00	0.99	0.02	40.10
	K6	55 x 55	39	40	42	40	39	41	40	39	42	40	0	40.2	1.00	1.14	0.03	40.20
	K7	70 x 70	39	40	41	38	40	42	38	41	40	40	0	39.9	1.00	1.29	0.03	39.90
	K8	70 x 70	40	41	42	39	40	41	40	42	39	41	0	40.5	1.00	1.08	0.03	40.50
	K9	70 x 70	40	41	42	39	40	41	40	42	39	41	0	40.5	1.00	1.08	0.03	40.50
	K10	25x25x50	40	39	41	40	42	39	40	41	39	40	0	40.1	1.00	0.99	0.02	40.10
Kolom Lt. 3	K1	75 x 75	40	41	39	42	40	41	40	39	42	40	0	40.4	1.00	1.07	0.03	40.40
	K2	75 x 75	39	40	41	40	42	39	40	41	40	39	0	40.1	1.00	0.99	0.02	40.10
	K3	70 x 70	41	40	42	39	40	41	40	42	39	40	0	40.4	1.00	1.07	0.03	40.40
	K4	25x25x50	40	39	41	40	42	40	39	41	40	42	0	40.4	1.00	1.07	0.03	40.40
	K5	70 x 70	40	41	39	40	42	41	40	39	41	40	0	40.3	1.00	0.95	0.02	40.30
	K6	70 x 70	40	41	39	39	40	42	40	39	41	40	0.1	40.1	1.00	0.99	0.02	40.10
	K7	70 x 70	40	41	42	39	40	41	40	42	39	41	0	40.5	1.00	1.08	0.03	40.50
	K8	70 x 70	39	40	41	38	40	42	38	41	40	40	0	39.9	1.00	1.29	0.03	39.90
	K9	70 x 70	40	41	42	39	40	41	40	42	39	41	0.1	40.5	1.00	1.08	0.03	40.50
	K10	70 x 70	39	40	41	40	40	39	42	40	41	39	0.1	40.1	1.00	0.99	0.02	40.10
Balok	B1	35 x 70	40	41	39	42	40	41	40	39	42	40	0	40.4	1.00	1.07	0.03	40.40
	B2	30 x 55	39	40	41	40	42	39	40	41	40	39	0	40.1	1.00	0.99	0.02	40.10
	B3	35 x 70	39	40	41	38	40	42	38	41	40	40	0	39.9	1.00	1.29	0.03	39.90
	B4	30 x 55	39	40	42	40	39	41	40	39	42	40	0	40.2	1.00	1.14	0.03	40.20

(Sumber : Data Penulis)

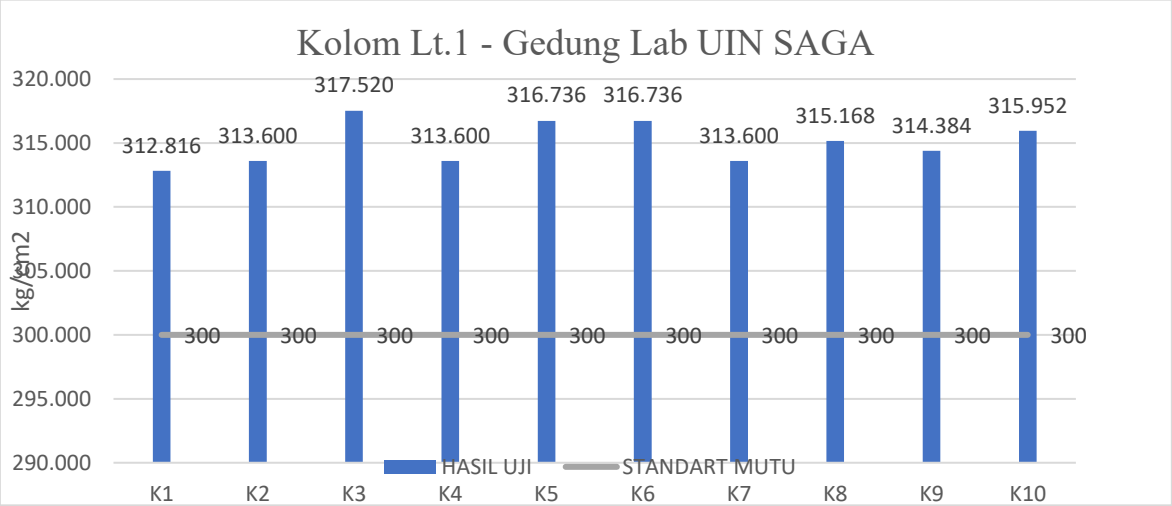
Pengolahan data :

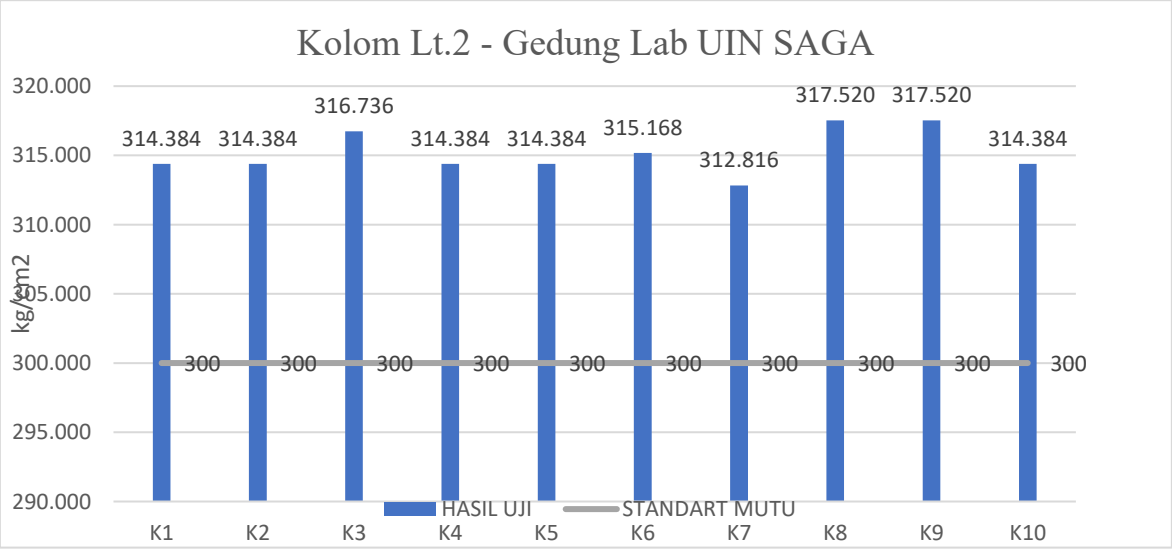
Tabel 4. 2 Hasil Analisis Hammer Test Bangunan

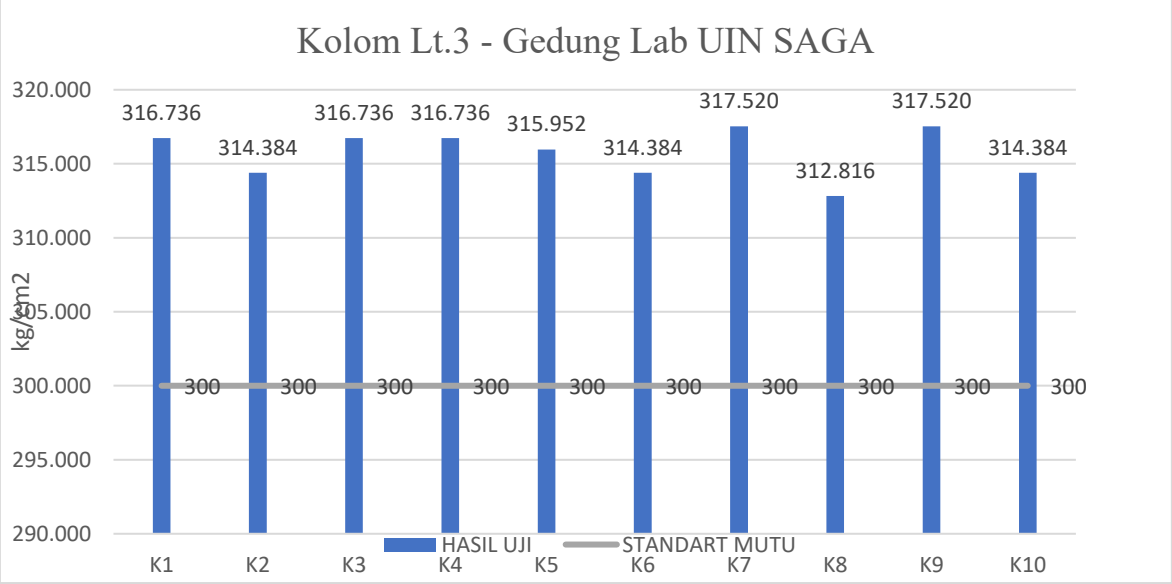
Hasil Pengujian Hammer test Bangunan Gedung Lab UIN SAGA, 2026							
Tinjauan Struktur	Notasi	Dimensi (Cm)	R Koreksi	Nilai K Kg/cm2	Rata- rata K	Konversi Karbonasi	Kuat Tekan
Kolom Lt. 1							
	K1	75 x 75	39.90	312.816	315.011	0.962	303.04077
	K2	75 x 75	40.00	313.600			
	K3	70 x 70	40.50	317.520			
	K4	70 x 70	40.00	313.600			
	K5	70 x 70	40.40	316.736			
	K6	55 x 55	40.40	316.736			
	K7	55 x 55	40.00	313.600			
	K8	70 x 70	40.20	315.168			
	K9	70 x 70	40.10	314.384			
	K10	25x25x50	40.30	315.952			
Kolom Lt. 2	K1	75 x 75	40.10	314.384	315.168	0.962	303.19162
	K2	75 x 75	40.10	314.384			
	K3	70 x 70	40.40	316.736			
	K4	70 x 70	40.10	314.384			
	K5	55 x 55	40.10	314.384			
	K6	55 x 55	40.20	315.168			
	K7	70 x 70	39.90	312.816			
	K8	70 x 70	40.50	317.520			
	K9	70 x 70	40.50	317.520			
	K10	25x25x50	40.10	314.384			
Kolom Lt. 3	K1	75 x 75	40.40	316.736	315.717	0.962	303.71956
	K2	75 x 75	40.10	314.384			
	K3	70 x 70	40.40	316.736			
	K4	25x25x50	40.40	316.736			
	K5	70 x 70	40.30	315.952			
	K6	70 x 70	40.10	314.384			
	K7	70 x 70	40.50	317.520			
	K8	70 x 70	39.90	312.816			
	K9	70 x 70	40.50	317.520			
	K10	70 x 70	40.10	314.384			
Balok	B1	35 x 70	40.40	316.736	314.776	0.962	302.81451
	B2	30 x 55	40.10	314.384			
	B3	35 x 70	39.90	312.816			
	B4	30 x 55	40.20	315.168			
					315.168	**0.962**	**303.19162**

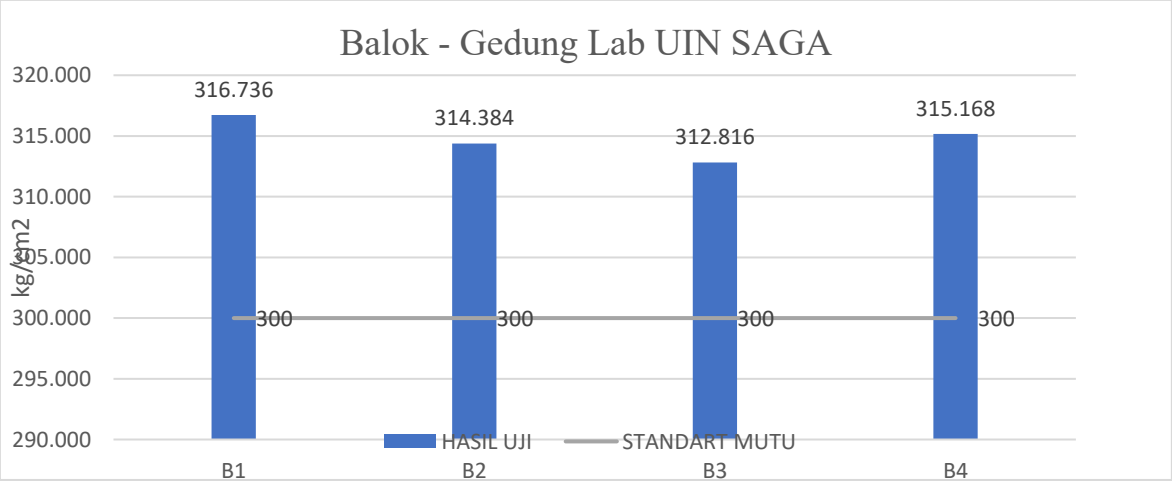
(Sumber : Data Penulis)

Hasil rekap data hammer test berdasarkan posisi dan letaknya dalam struktur bangunan tersebut :









Gambar 4. 7 Grafik Kesimpulan Hammer Test Bangunan

(Sumber : Data Penulis)

Sehingga dapat disimpulkan bahwa mutu konstruksi eksisting melebihi dari kuat karakteristik standart bangunan sebagai berikut :

Tabel 4. 3 Kesimpulan Mutu Beton Hammer Test Gedung

No	Jenis Struktur	Nilai Rata-Rata Hammer Test	Nilai Konstruksi	Keterangan
1	Kolom	K- 315.299 (fc' 26.17 Mpa)	K-300 (fc'24.9 Mpa)	Melebihi Standar
2	Balok	K- 314.776 (fc' 26.13 Mpa)	K-300 (fc'24.9 Mpa)	Melebihi Standar
Nilai Rata-Rata		**K- 315.168 (fc' 26.16 Mpa)**		

(Sumber : Data Penulis)

- **Aplikasi Material Eksisting**
  Pengaplikasian material yang ada dilapangan merupakan hal penting terkait pengkajian struktur dari mulai perencanaan, tahap konstruksi hingga paska konstruksi maka kesesuain data diperlukan agar dari rencana sampai ketahapan paska konstruksi material tersebut tidak mengalami penurunan mutu atau keluar dari persyaratan yang ditetapkan saat perencanaan. Berikut matriks tabel kesesuaian material dengan perencanaan dan konstruksi serta keputusan pengambilan nilai mutu material :

Tabel 4. 4 Deskripsi Kualitas Struktur Eksisting Bangunan Gedung

No	Aspek Kajian	Tahapan Konstruksi			Diputuskan Kajian
		Perencanaan	Konstruksi	Pengujian Eksisting	
1.	Dimensi Profil	Kolom : 550x550 cm (min) 750x750 cm (max) 25x25x50 cm (L) Balok : 25x35 cm (min) 35x70 cm (max)	-	Kolom : 550x550 cm (min) 750x750 cm (max) 25x25x50 cm (L) Balok : 25x35 cm (min) 35x70 cm (max)	Dimensi profil sudah sesuai dengan gambar
2.	Mutu Beton	K-300 (fc' 24,9 MPa)	K-300 (fc' 24,9 MPa)	(SNI ASTM C805 : 2012) Rata-rata Hammer Test Eksisting : K-315,168 (fc' 26,16)	Mutu beton eksisting sudah memenuhi standart saat konstruksi umum

(Sumber : Data Penulis)

Didapatkan bahwa material yang sudah disepakati pada perencanaan kemudian dilakukan penawaran oleh kontraktor serta sudah disetujui oleh pemilik bangunan yang kemudian dilakukan konstruksi sudah teraplikasi pada gambar *As-Built Drawing*. Namun dari aspek kajian menggunakan material umum dan minimum yang ada di pasaran maupun eksisting di lapangan.

4.3.3 Pembebanan

Menurut Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, ACI 318-14 / SNI 2847-2019 (SRPMK), beban – beban yang diperhitungkan terdiri dari beban mati, beban hidup dan beban gempa. Beban – beban tersebut dapat diuraikan sebagai berikut:

4.1.3.1 Beban Hidup (*Live Load*)

Ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, termasuk beban – beban pada plat lantai yang berasal dari barang – barang yang dapat berpindah, mesin- mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap gedung.

- Beban Orang dan Perlengkapan = 3.59 kN/m²

4.1.3.2 Beban Mati Tambahan (*Super Dead Load*)

Ialah berat semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, mesin – mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian tak terpisahkan dari gedung tersebut.

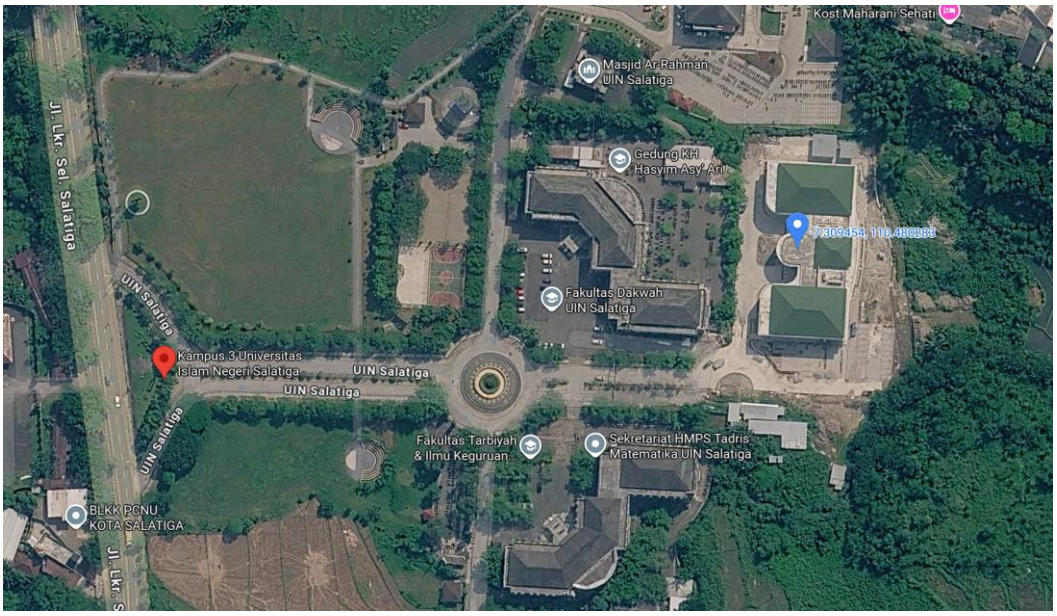
- Berat pasir setebal 1 cm = 0.16 kN/m²
- Berat spesi setebal 3 cm = 0.66 kN/m²
- Berat keramik setebal 1 cm = 0.24 kN/m²
- Berat plafon & penggantung = 0.2 kN/m²
- Berat instalasi ME = 0.25 kN/m²

  Total = 1.51 kN/m²

4.1.3.3 Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Ialah semua beban statistik ekivalen yang bekerja pada gedung atau bangunan yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa. Dalam hal ini pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan respon spektrum dari hasil **PUSKIM gempa Kota Salatiga** . Untuk gempa beton menggunakan IBC 2012 / SNI 2019.

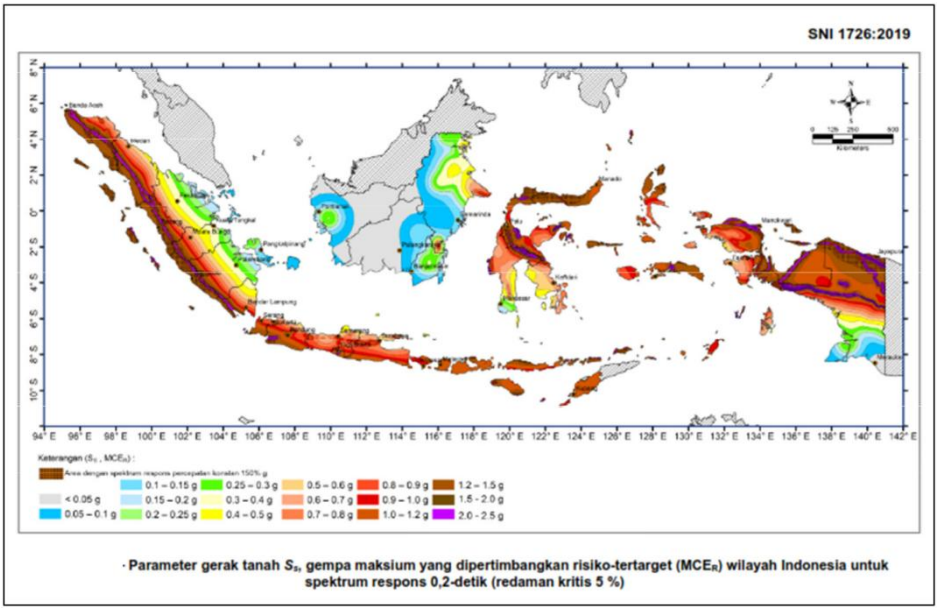
4.3.4 Peta Koordinat Gempa Puskim



Gambar 4. 8 Lokasi Jalan Lingkar Selatan Salatiga, Kec. Sidorejo, Kota Salatiga, Jawa Tengah 50716 (Koordinat @7°18'34.50"S 110°28'49.03"E)

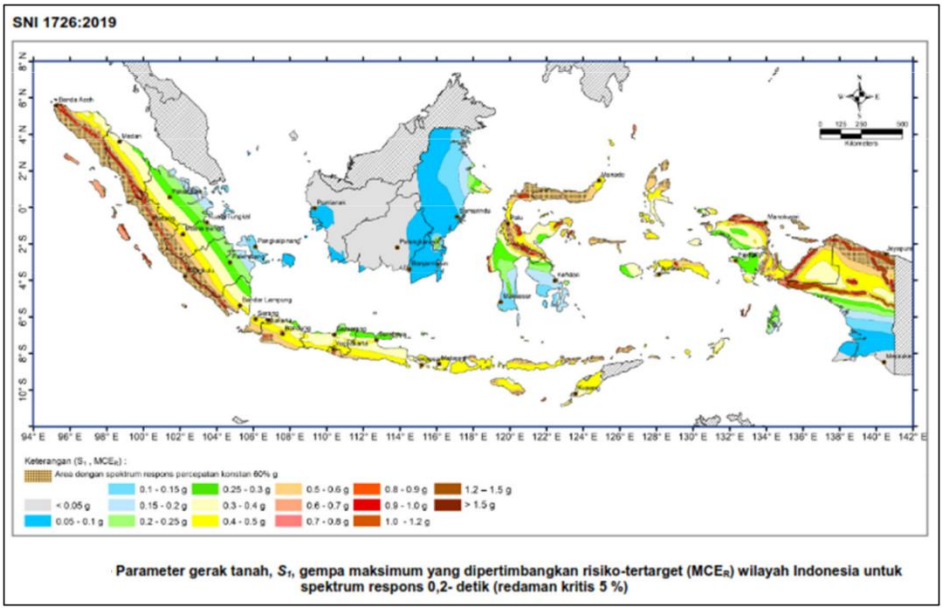
(Sumber : https://earth.google.com/(Koordinat @7°18'34.50"S 110°28'49.03"E)

Dalam penentuan gaya gempa menggunakan peraturan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non-Gedung, SNI-1726-2019 dengan peta gempa respon spektrum sebagai berikut :



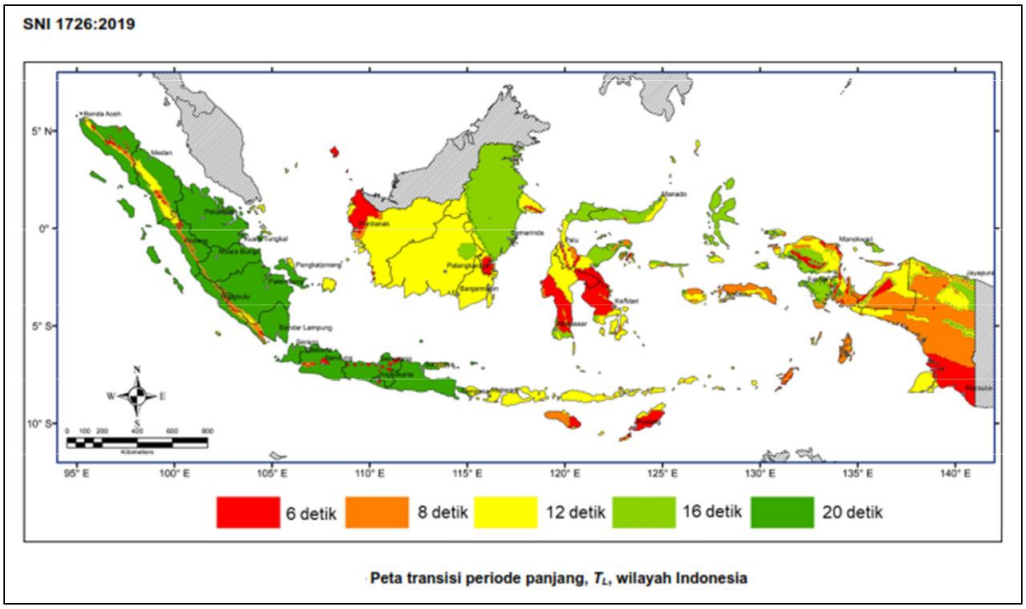
Gambar 4. 9 Percepatan Periode Pendek Ss (0,2 detik)

(Sumber : https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/)



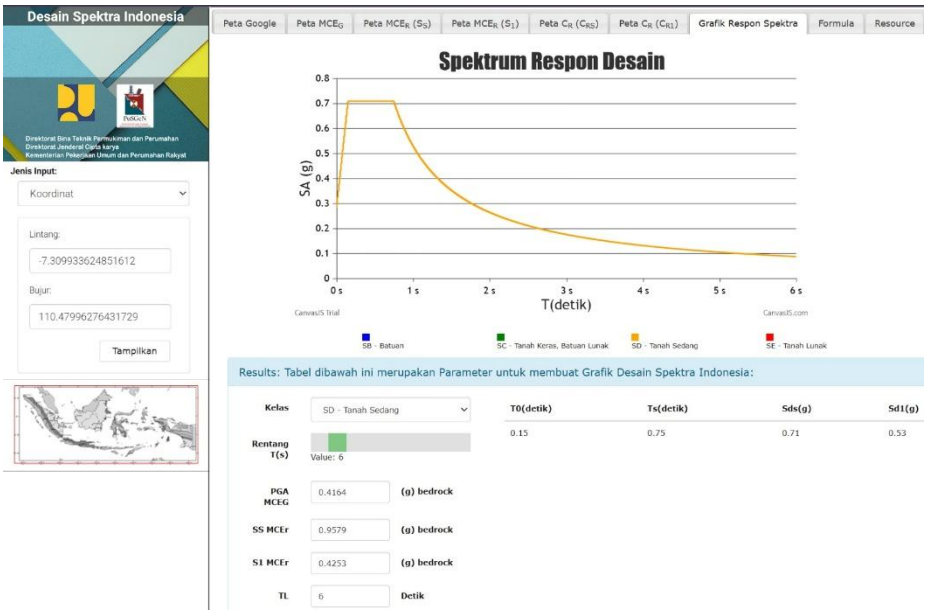
Gambar 4. 10 Percepatan periode S1 (1 detik)

(Sumber : https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/)



Gambar 4. 11 Peta Transisi Periode Panjang TL

(Sumber : https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/)



Gambar 4. 12 Spektrum Respon Desain Lokasi (Kota Salatiga)

(Sumber : https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/)

Kategori Kelas Situs Tanahnya :

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs harus diklasifikasi sebagai situs SA, SB, SC, SD, SE, Atau SF yang mengikut pada penentuan jenis tanah yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. 5 Penyelidikan Tanah Sondir

NO	KEDALAMAN	T(m)	N (SPT)	N'=T/N
1	0 – 2	2	30	0.07
2	2 – 4	2	60	0.03
3	4 – 6	2	36	0.06
4	6 – 8	2	31	0.06
5	8 – 10	2	60	0.03
6	10 – 12	2	50	0.04
7	12 – 14	2	42	0.05
8	14 – 16	2	46	0.04
9	16 – 18	2	42	0.05
10	18 – 20	2	38	0.05
11	20 - 22	2	47	0.04
12	22 – 24	2	55	0.04
13	24 - 26	2	47	0.04
14	26 - 28	2	56	0.04
15	28 - 30	2	46	0.04
Jumlah		30		0.69
			ΣN	43.77

(Sumber : Data Deep Drilling & Spt Test Uin Saga)

Tabel 4. 6 Klasifikasi Situs (SNI 1726 -2019)

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	N atau N_{ch}	$\bar{s}_u$ (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 sampai100*
SE (tanah lunak)	< 175	<15	*< 50*
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karateristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan H > 3 m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan H > 7,5 m dengan indeks plasitisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan H > 35 m dengan $\bar{s}_u < 50$kPa		

(Sumber : Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung SNI 1726-2019)

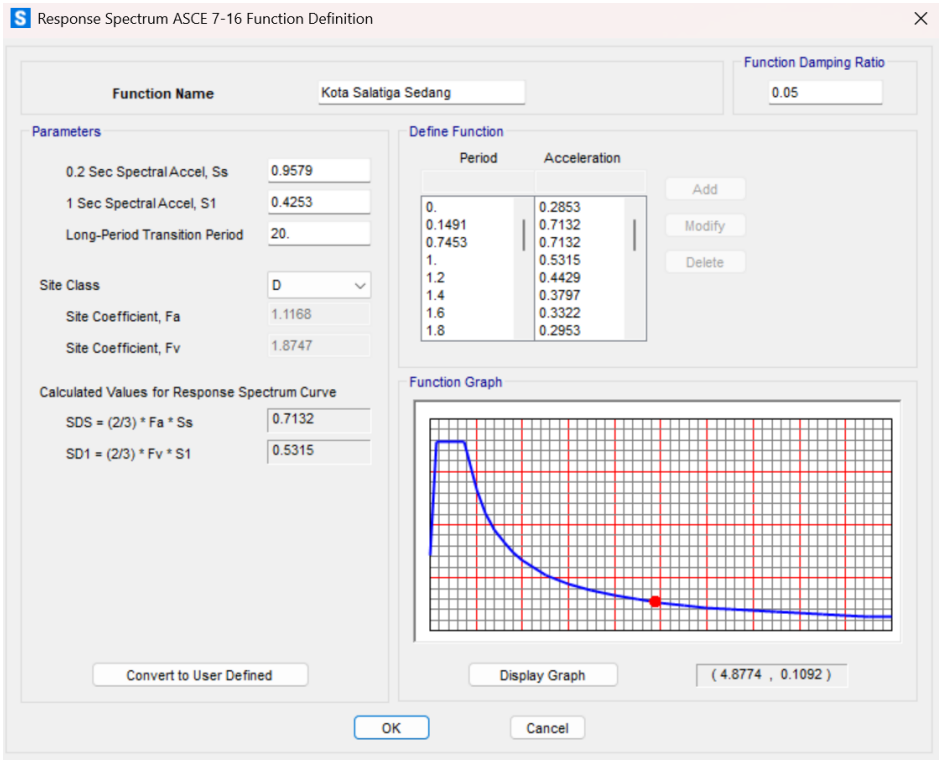
Maka tanah dikategorikan sebagai **SD (Tanah Sedang).**

Dapat disimpulkan berdasarkan pendekatan posisi bangunan pada peta gempa respon spektrum tersebut sebagai berikut :

Tabel 4. 7 Posisi Bangunan Pada Peta Gempa Respon Spektrum

No.	Subjek	Hasil	Keterangan
1	Nama Wilayah	Kota Salatiga	*Earth Maps*
2	Percepatan Ss	0,9579	Respon Spektrum Maps
3	Percepatan S1	0.4253	Respon Spektrum Maps
4	Transisi Periode Panjang	6 detik	Respon Spektrum Maps
5	Redaman	0,05	5%
6	Probabilitas Terlampaui	1%	Selama 50 Tahun
7	Kelas Jenis Tanah	D	Tanah Sedang

(Sumber : Data Penulis)



Gambar 4. 13 Input Response Spectrum

(Sumber : Input Response Spectrum SAP2000)

4.3.5 Sistem Struktur Penahan Gempa

Kategori Fungsi Bangunan Gedungnya :

Faktor keutamaan dan kategori risiko struktur bangunan merupakan koefisien-koefisien yang ditentukan berdasarkan peraturan-peraturan seperti Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa SNI 1726:2019 seperti pada tabel berikut :

Tabel 4. 8 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa (SNI 1726 -2019)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III

(Sumber : Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung SNI 1726-2019)

Tabel 4. 9 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa (lanjutan) (SNI 1726 -2019)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

(Sumber : Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung 1726-2019)

Tabel 4. 10 Faktor Keutamaan Gempa (Ie) (SNI 1726 -2019)

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber : Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung SNI 1726-2019)

Kategori Keutamaan Gempa Risiko **(*Ie*) I = 1,5**

Sistem Penahan Gaya Gempanya :

Semakin tinggi suatu bangunan, pentingnya aksi gaya lateral menjadi semakin berarti. Oleh sebab itu, perlu adanya sistem penahan gaya gempa yang digunakan sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi sistem penahan gaya gempa yaitu koefisien modifikasi respons (*R*), faktor kuat-lebih sistem (*Ω0*) dan koefisien amplifikasi defleksi (*Cd*).

Tabel 4. 11 Faktor R, Ω_0 dan C_d dalam Perancangan Sistem Penahan Gaya Gempa (SNI 1726 - 2019)

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R[a]	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0[b]	Faktor pembesaran defleksi, C_d[c]	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)[d]				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D[e]	E[e]	F[f]
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10[k]	TI[k]	TI[k]
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI[l]	TI[l]	TI[l]
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus[m]	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan[n]	3½	3[o]	3½	10	10	10	10	10

(Sumber : Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung SNI 1726-2019)

Nilai **Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus (R = 8; Ω_0 = 3; C_d = 5,5)**

Tabel 4. 12 Faktor Reduksi (SNI 2847-2019)

Kondisi Pembebanan	Faktor Reduksi
Penampang terkontrol-tarik	0.90
Penampang terkontrol-tekan : -Dengan tulangan Spiral	0.75
-Dengan Tulangan lainnya	0.70
Geser dan Torsi	0.75
Tumpuan Pada Beton	0.7

(Sumber :Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung SNI 2847-2019*)*

4.3.6 Klasifikasi Tinggi Resiko Kegempaan

Kategori Resiko : IV (tabel 3 SNI 1726 : 2019)

Faktor Keutamaan : 1.5 (tabel 4 SNI 1726 : 2019)

Ss : 0.9579 g (website : rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/)

S1 : 0.4253 (website : rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/)

TL (Periode transisi jangka panjang) : 6 detik (website : rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/)

T (Periode Fundamental) : 0.896 detik

Tabel 4. 13 Koefisien situs, F_a (SNI 1726:2019)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik, S_s					
	$S_s \leq 0{,}25$	$S_s = 0{,}5$	$S_s = 0{,}75$	$S_s = 1{,}0$	$S_s = 1{,}25$	$S_s \geq 1{,}5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS[(a)]					

(Sumber : Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung SNI 1726-2019)

CATATAN:

(a) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Tabel 4. 14 Koefisien situs, Fv (SNI 1726:2019)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0{,}1$	$S_1 = 0{,}2$	$S_1 = 0{,}3$	$S_1 = 0{,}4$	$S_1 = 0{,}5$	$S_1 \geq 0{,}6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS[(a)]					

(Sumber : Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung SNI 1726-2019)

CATATAN:

(a) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Dengan cara interpolasi untuk menentukan nilai yang tepat untuk koefisien situs *Fa* dan *Fv* :

- Nilai Ss yang diperoleh dari data : 0.958
- Nilai Ss yang diperoleh dari tabel diatas : 0.75 1.0
- Nilai Kelas Situs : 1.2 1.1
- Maka Nilai Fa

$$Fa = 1.2 + \left(\frac{0.958 - 0.75}{1 - 0.75}\right) x \frac{1}{0.75}$$

$$Fa = 1.117 \text{ g}$$

- Nilai S1 yang diperoleh dari data : 0.425
- Nilai S1 yang diperoleh dari tabel diatas : 0.4 0.5
- Nilai Kelas Situs : 1.9 1.8
- Maka Nilai Fa

$$Fv = 1.9 + \left(\frac{0.425 - 0.4}{0.5 - 0.4}\right) x \frac{1.8}{1.95}$$

$$Fv = 1.8747 \text{ g}$$

Koefisien Situs Fa : 1.117 g

Koefisien Situs Fv : 1.8747 g

S_{MS} (Ss x Fa) : 1.0698 g

S_{M1} (S1 x Fv) : 0.7973 g

S_{DS} (2/3 S_{MS}) : 0.7132 g

S_{D1} (2/3 S_{M1}) : 0.5315

Tabel 4. 15 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek (SNI 1726:2019)

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0{,}167$	A	A
$0{,}167 \leq S_{DS} < 0{,}33$	B	C
$0{,}33 \leq S_{DS} < 0{,}50$	C	D
$0{,}50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber : Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung SNI 1726-2019)

Tabel 4. 16 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik (SNI 1726:2019)

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0{,}067$	A	A
$0{,}067 \leq S_{D1} < 0{,}133$	B	C
$0{,}133 \leq S_{D1} < 0{,}20$	C	D
$0{,}20 \leq S_{D1}$	D	D

Tabel 4. 17 Kategori Desain Seismik (KDS) dan Resiko Kegempaan

Tinggi Resiko Kegempaan		
Rendah	**Menengah**	**Tinggi**
KDS : A, B	KDS : C	KDS : D, E, F
SRPMB / M /K	SRPMM / K	SRPMK

Keterangan:

- SRPMB : Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa
- SRPMM : Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah
- SRPMK : Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

KDS (Kategori Desain Seismic) : D (tabel 8 & 9 SNI 1726 : 2019)

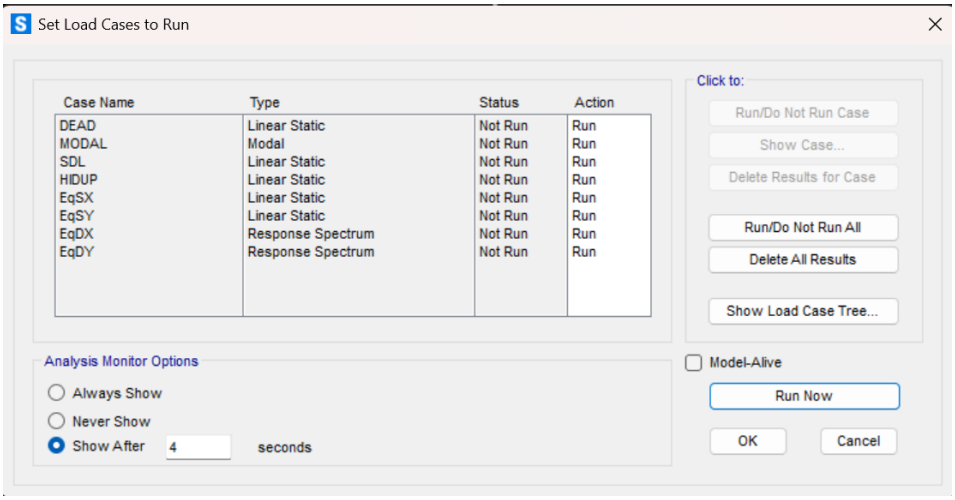
R (Faktor reduksi gempa) : 8 (tabel 12 SNI 1726 : 2019)

Faktor kuat lebih, Ω : 3 (tabel 12 SNI 1726 : 2019)

Faktor pembesaran defleksi, Cd : 5.5 (tabel 12 SNI 1726 : 2019)

4.3.7 Kombinasi Pembebanan Bangunan

- *Load Pattern in Building* :



Gambar 4. 14 Kombinasi Pembebanan

(Sumber : Pemodelan SAP2000)

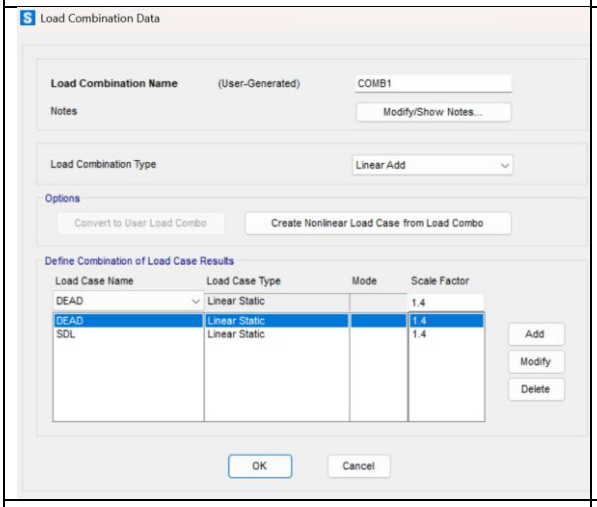
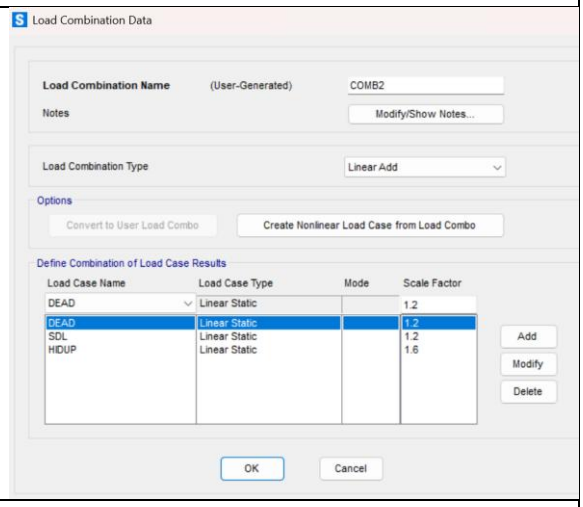
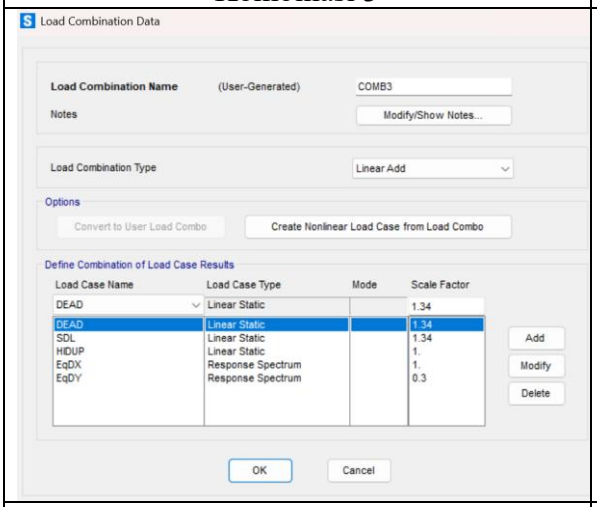
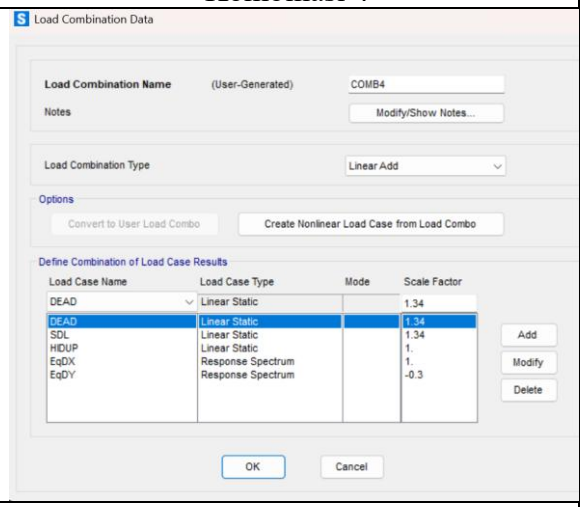
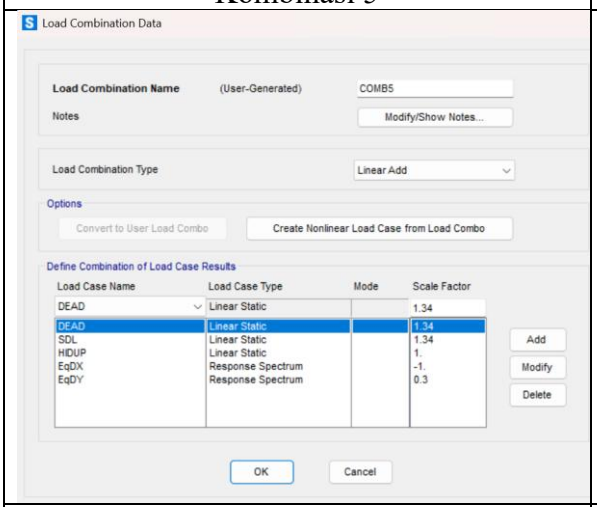
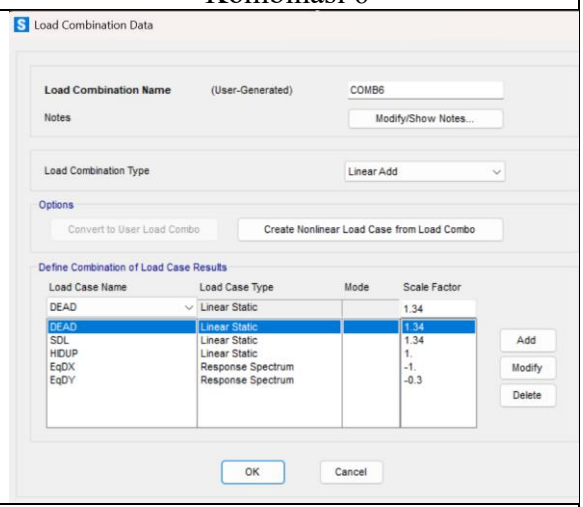
- Beban Hidup Fungsi Bangunan :

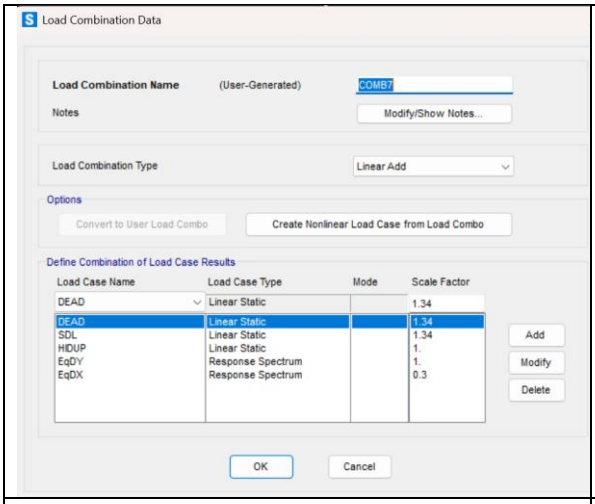
Beban hidup terdistribusi merata minimum, Lo dan beban hidup terpusat minimum (SNI 1727-2020)

Hunian atau penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m^2)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
Sekolah	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Ruang kelas	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor di atas lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor lantai pertama					
***Scuttles*, rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses**				200 (0,89)	
Jalan di pinggir untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	8.000 (35,60)	4.15
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	4.16
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	4.16
Gudang diatas langit-langit	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Gudang penyimpanan dan pekerja (harus dirancang untuk beban lebih berat jika diperlukan)					
Ringan	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)		
Berat	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)		
Toko					
Eceran	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Lantai pertama	75 (3,59)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Lantai diatasnya	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ys (4.7.3)	1.000 (4,45)	
Grosir, di semua lantai					
Penghalang kendaraan				Lihat Pasal 4.5.3	
Susuran jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		

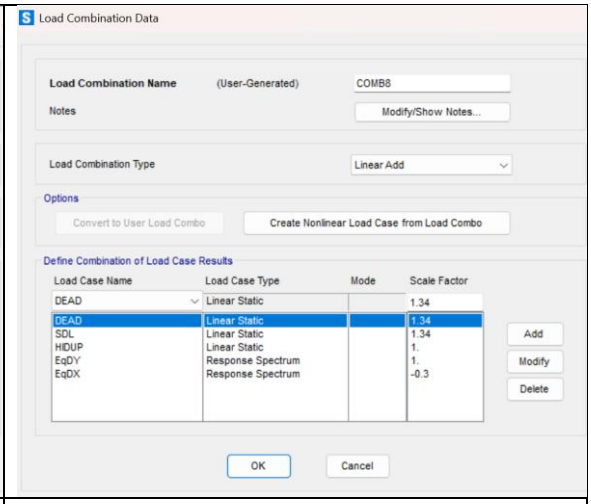
- Kombinasi Pembebanan Struktur :

Tabel 4. 18 Kombinasi pembebanan SAP2000

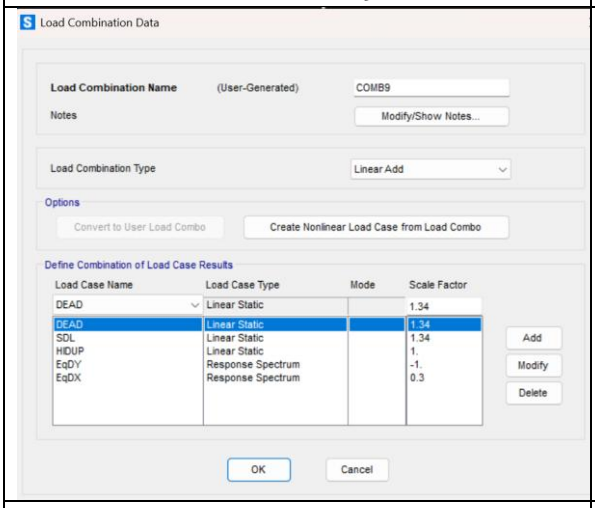
Kombinasi 1	Kombinasi 2
	
Kombinasi 3	Kombinasi 4
	
Kombinasi 5	Kombinasi 6
	
Kombinasi 7	Kombinasi 8



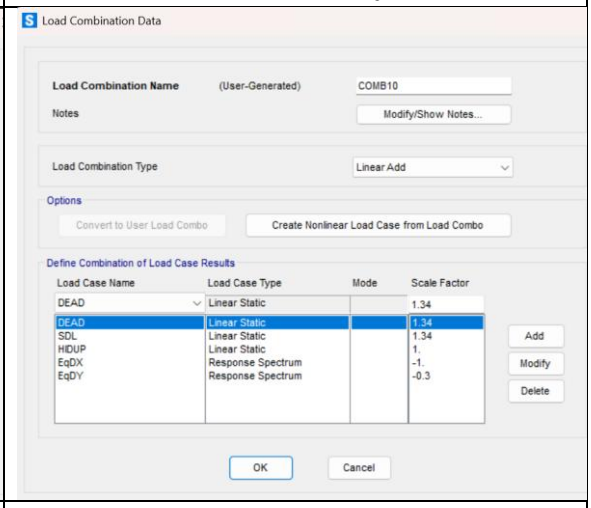
Kombinasi 9



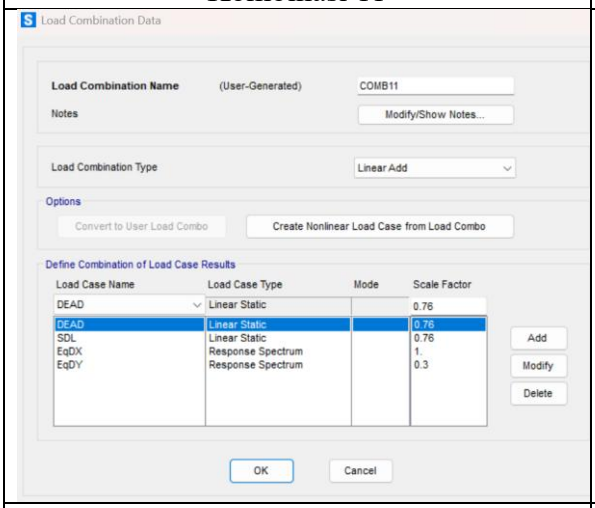
Kombinasi 10



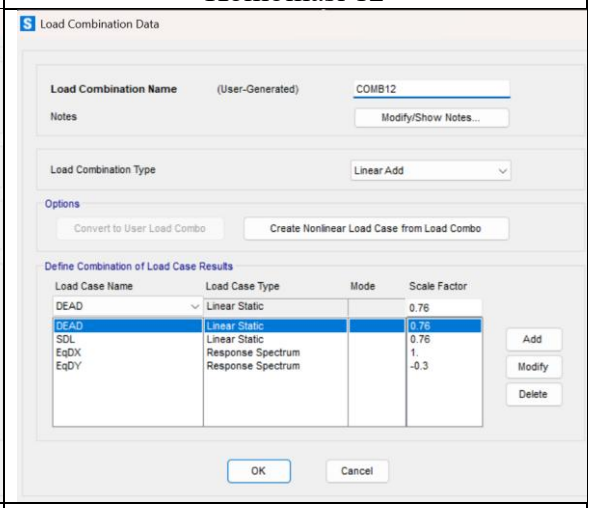
Kombinasi 11



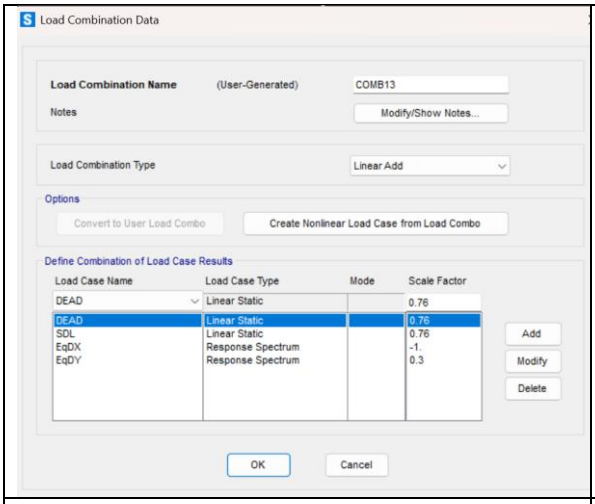
Kombinasi 12



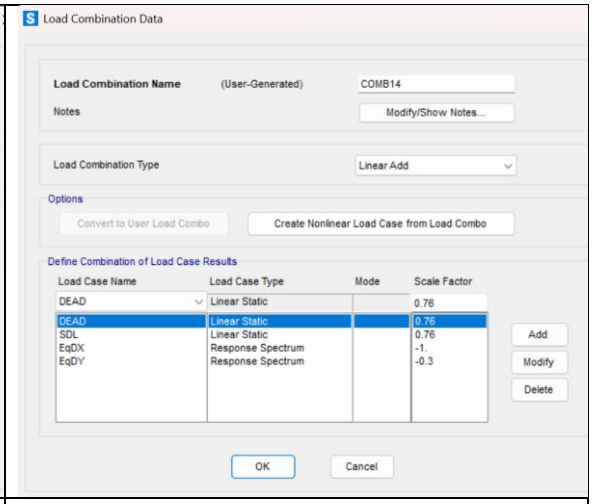
Kombinasi 13



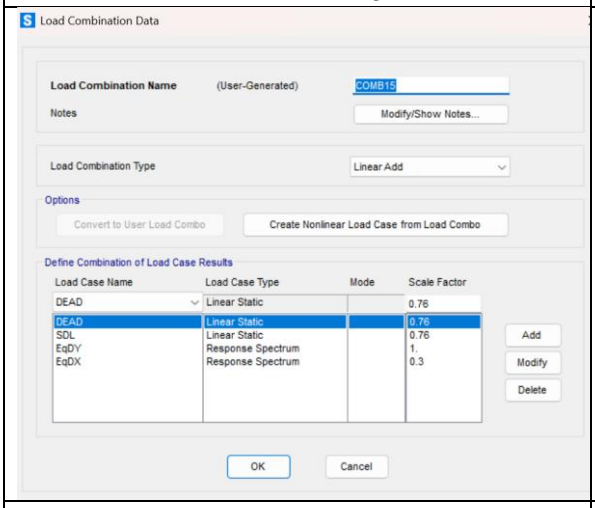
Kombinasi 14



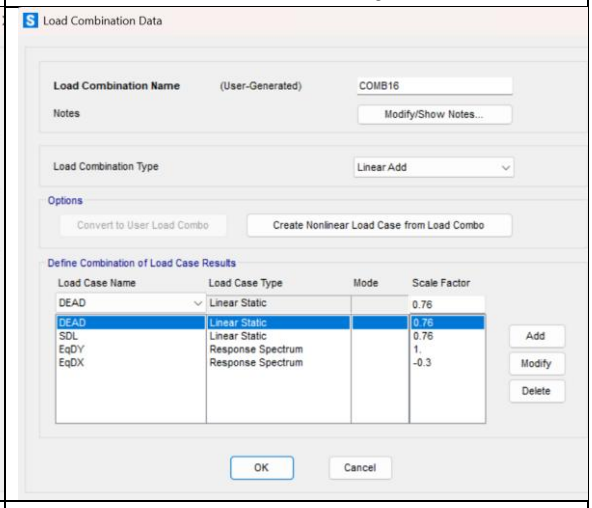
Kombinasi 15



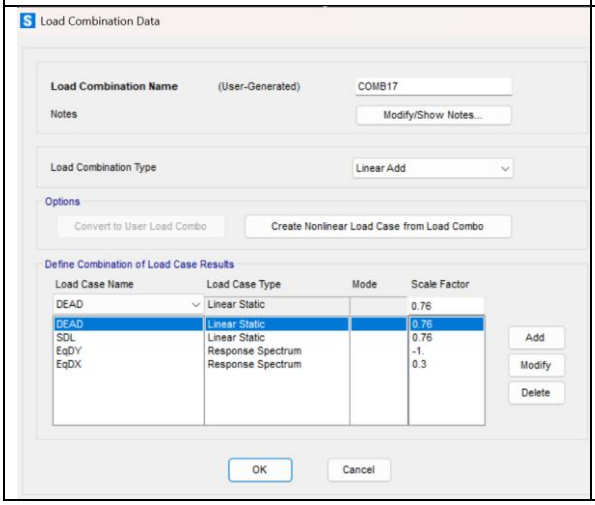
Kombinasi 16

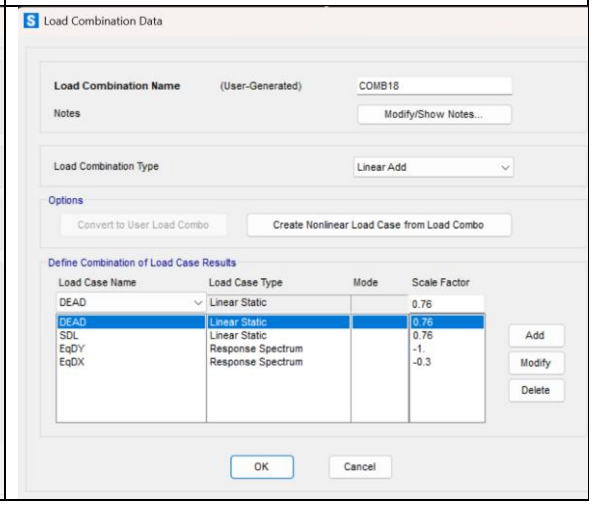


Kombinasi 17



Kombinasi 18

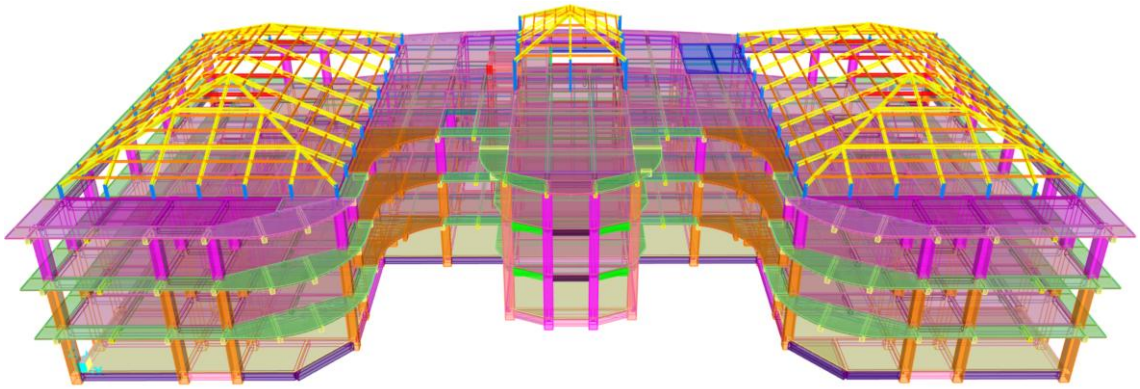




(Sumber : Permodelan SAP2000)

4.3.8 Permodelan Struktur

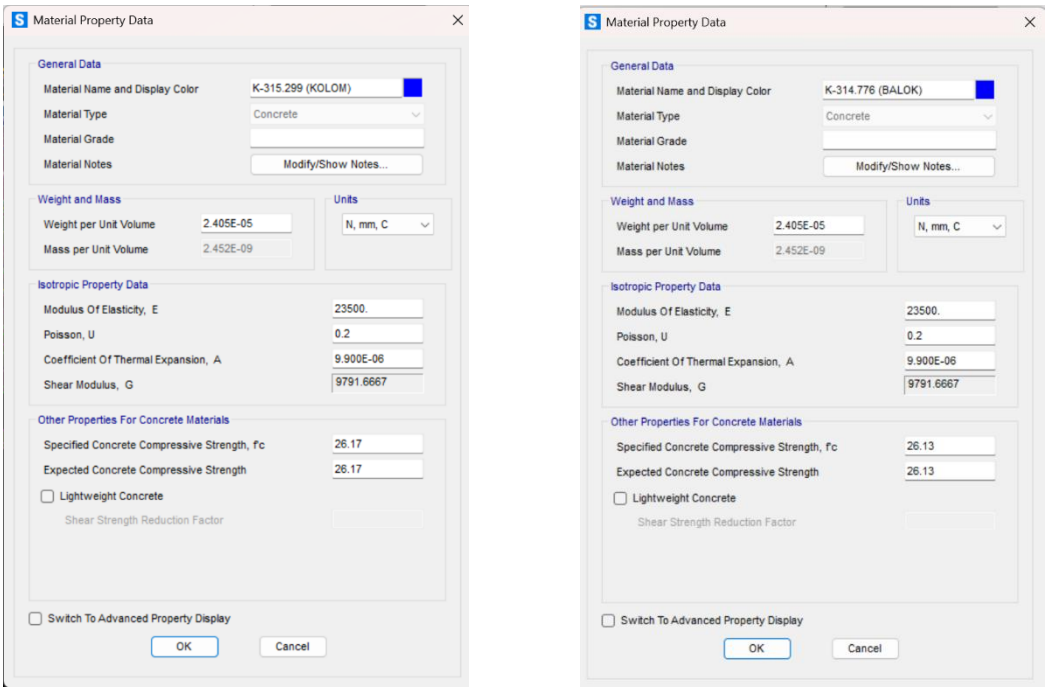
Permodelan struktur ini menggunakan bantuan software SAP2000 yang digunakan untuk menganalisa gedung bertingkat. Bentuk permodelan struktur pada SAP2000 dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. 15 Hasil Permodelan Strukur (SAP2000)

(Sumber : Pemodelan SAP2000)

4.3.9 Mutu Material



Gambar 4. 16 Mutu material yang digunakan di SAP2000

(Sumber : Pemodelan SAP2000)

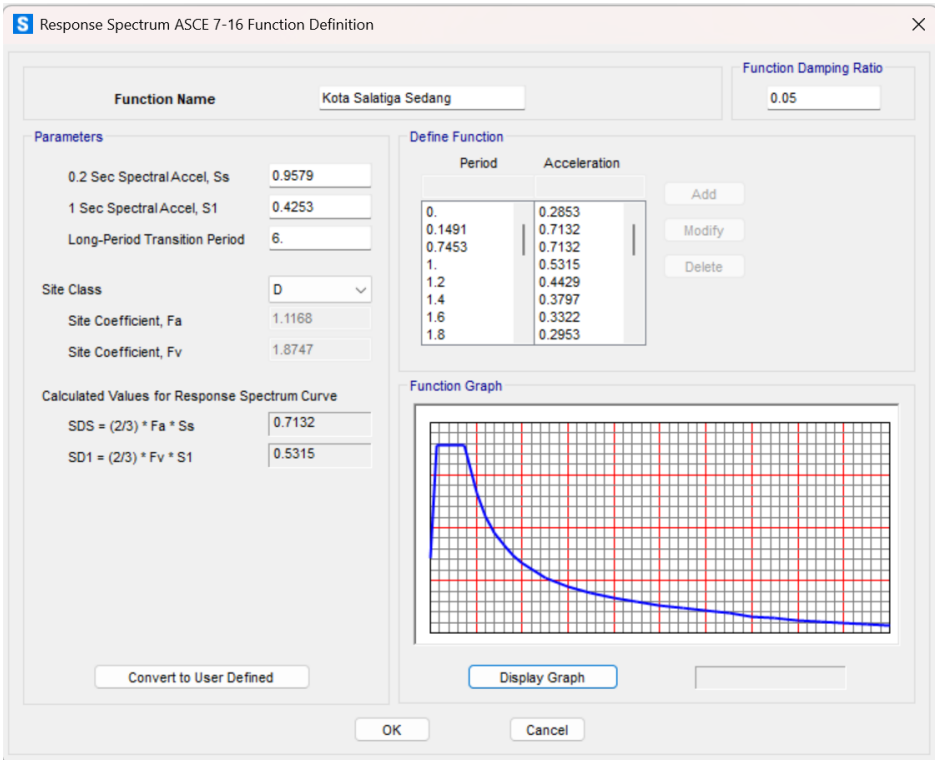
4.3.10 Profil

Tabel 4. 19 Frame Section Properties (SAP2000)

TABLE: Frame Section Properties 01 - General									
SectionName	Material	Shape	t3	t2	tf	tw	t2b	tfb	Area
Text	Text	Text	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm2
B1 35/70	K-314.776	Rectangular	700	350					245000
B10 30/65	K-314.776	Rectangular	650	300					195000
B11 25/45	K-314.776	Rectangular	450	250					112500
B12 25/40	K-314.776	Rectangular	400	250					100000
B13 25/35	K-314.776	Rectangular	350	250					87500
B14 25/50	K-314.776	Rectangular	500	250					125000
B15 45/80	K-314.776	Rectangular	800	450					360000
B16 40/75	K-314.776	Rectangular	750	400					300000
B17 30/50	K-314.776	Rectangular	500	300					150000
B18 25/40	K-314.776	Rectangular	400	250					100000
B19 20/80	K-314.776	Rectangular	800	200					160000
B1a 35/70	K-314.776	Rectangular	700	350					245000
B2 40/70	K-314.776	Rectangular	700	400					280000
B20 30/55	K-314.776	Rectangular	550	300					165000
B21 40/85	K-314.776	Rectangular	850	400					340000
B22 25/70	K-314.776	Rectangular	700	250					175000
B23 25/40	K-314.776	Rectangular	400	250					100000
B3 40/80	K-314.776	Rectangular	800	400					320000
B4 30/45	K-314.776	Rectangular	450	300					135000
B5 30/50	K-314.776	Rectangular	500	300					150000
B5a 30/50	K-314.776	Rectangular	500	300					150000
B6 30/65	K-314.776	Rectangular	650	300					195000
B7 45/80	K-314.776	Rectangular	800	450					360000
B7a 45/80	K-314.776	Rectangular	800	450					360000
B8 45/80	K-314.776	Rectangular	800	450					360000
B9 30/55	K-314.776	Rectangular	550	300					165000
Gording C 150x65x20x3.2	BJ37	Channel	150	65	3.2	3.2			875.52
K WF 200X150X6X9	BJ37	I/Wide Flange	200	150	9	6	150	9	3792
K1 75/75	K-315.299	Rectangular	750	750					562500
K2 75/75	K-315.299	Rectangular	750	750					562500
K3 75/75	K-315.299	Rectangular	750	750					562500
K4 70/70	K-315.299	Rectangular	700	700					490000
K4a 70/70	K-315.299	Rectangular	700	700					490000
K5 70/70	K-315.299	Rectangular	700	700					490000
K6 55/75	K-315.299	Rectangular	750	550					412500
K7 55/55	K-315.299	Rectangular	550	550					302500
K8 25/25/50 (L)	K-315.299	SD Section							187500
L1 12/55	K-300	Rectangular	550	120					66000
L2 12/55	K-300	Rectangular	550	120					66000
L3 15/55	K-300	Rectangular	550	150					82500
L4 120/400	K-300	Rectangular	400	120					48000
L4a	K-300	Rectangular	400	120					48000
Rafter WF 300x150x5.5x8	BJ37	I/Wide Flange	300	150	8	5.5	150	8	3962
S1 40/65	K-314.776	Rectangular	650	400					260000
S2 35/55	K-314.776	Rectangular	550	350					192500
S3 30/50	K-314.776	Rectangular	500	300					150000
S4 25/40	K-314.776	Rectangular	500	250					125000
S5 35/60	K-314.776	Rectangular	600	350					210000
S6 30/60	K-314.776	Rectangular	600	300					180000
WF 250X125X6X9	BJ37	I/Wide Flange	250	125	9	6	125	9	3642

(Sumber : Pemodelan SAP2000)

4.3.11 Analisis Respon Spektra Gempa Dinamik

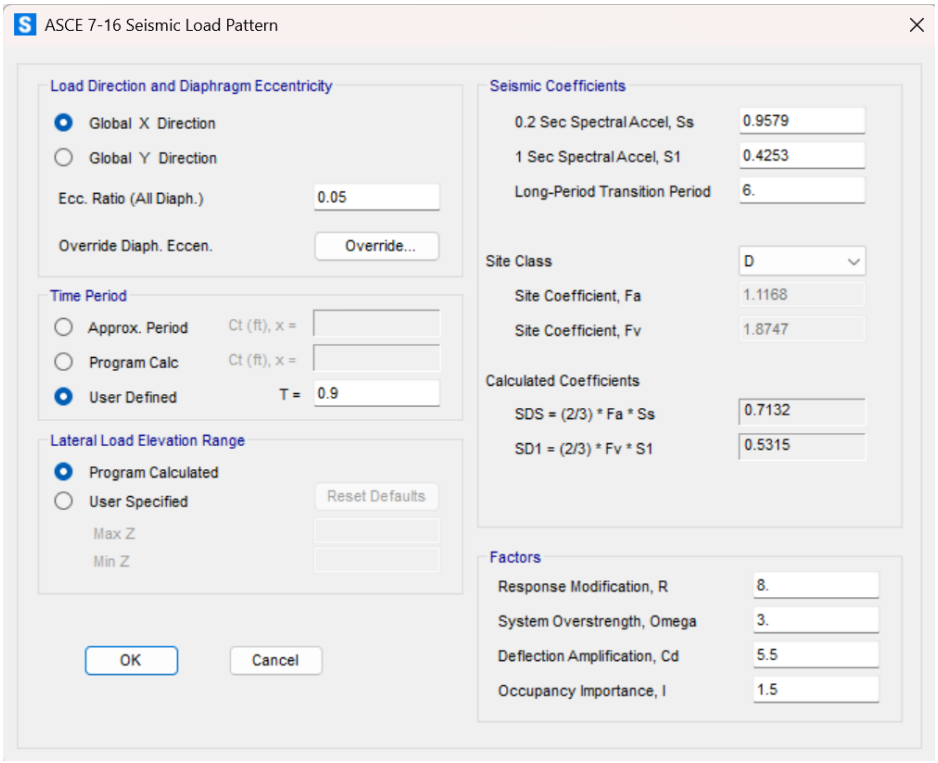


Gambar 4. 17 Response Spectrum (SAP2000)

(Sumber : Pemodelan SAP2000)

- Nilai Ss = 0.9579 (Sesuai PUSKIM) – korelasi SNI 2019 peta gempa “Kota Salatiga”
- Nilai S1 = 0.4253 (Sesuai PUSKIM) – korelasi SNI 2019 peta gempa “Kota Salatiga”
- *Site Class* = Tanah Sedang (D)

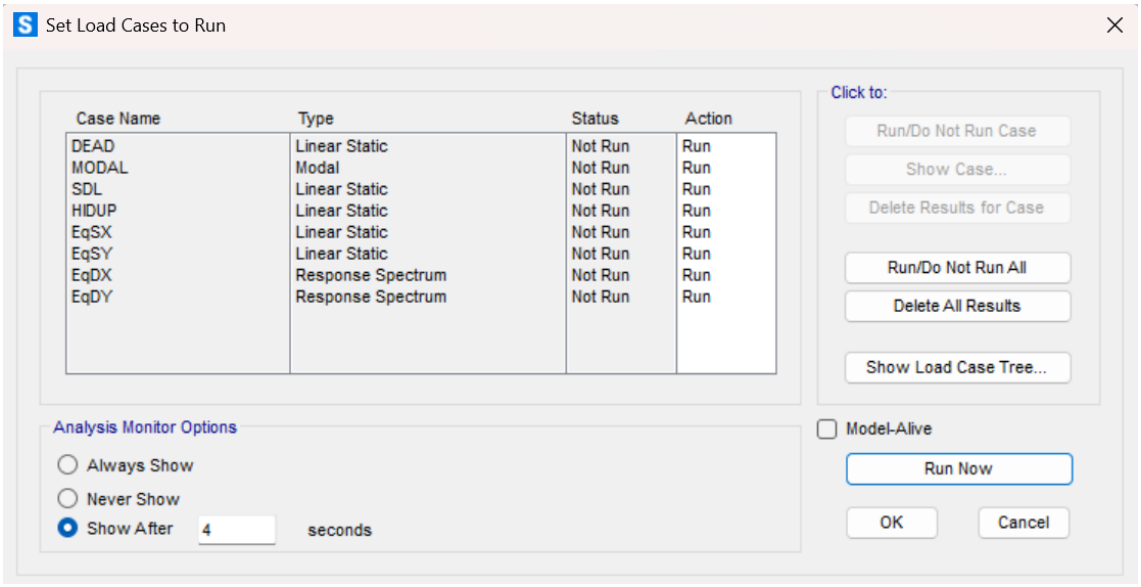
4.3.12 Analisis Statik Ekivalen



Gambar 4. 18 Nilai Seismic Load Pattern Berdasarkan ASCE 7-16 (SAP2000)

(Sumber : Pemodelan SAP2000)

4.3.13 Running Program



Gambar 4. 19 Running Program (SAP2000)

(Sumber : Pemodelan SAP2000)

4.3.14 Check Partisipasi Massa

Pada perencanaan gedung ini sesuai persyaratan yang ada pada SNI Gempa-03-1726-2019 pasal 7.9.1 dilakukan analisis untuk menentukan ragam getar alami struktur. Pada analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi (sumbu X dan Y) sebesar paling sedikit 90 % dari massa aktual dari masing masing arah horisontal orthogonal dari response yang ditinjau oleh model.

Tabel 4. 20 *Modal Load Participation Ratios* (SAP2000)

TABLE: Modal Participating Mass Ratios															
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0.614609	0.14	0.529	4.407E-06	0.14	0.529	4.41E-06	0.027	0.001894	0.042	0.027	0.001894	0.042
MODAL	Mode	2	0.6109	0.375	0.183	2.694E-07	0.514	0.712	4.68E-06	0.009268	0.005139	0.155	0.037	0.007033	0.197
MODAL	Mode	3	0.566349	0.205	0.0005033	8.353E-07	0.719	0.712	5.51E-06	0.0000491	0.002346	0.511	0.037	0.009378	0.708
MODAL	Mode	4	0.267742	1.873E-08	0.00004551	8.372E-07	0.719	0.713	6.35E-06	8.524E-06	3.583E-08	0.00003034	0.037	0.009378	0.708
MODAL	Mode	5	0.204972	0.00006241	0.056	0.00009897	0.719	0.769	0.000105	0.036	1.195E-05	0.0002962	0.072	0.00939	0.709
MODAL	Mode	6	0.202341	0.062	0.00003228	3.761E-06	0.782	0.769	0.000109	9.794E-06	0.008981	0.011	0.072	0.018	0.72
MODAL	Mode	7	0.192402	0.0003271	0.023	0.0001189	0.782	0.792	0.000228	0.009508	8.371E-05	0.000424	0.082	0.018	0.72
MODAL	Mode	8	0.188851	0.011	8.399E-06	9.423E-07	0.794	0.792	0.000229	6.437E-05	0.001157	0.051	0.082	0.02	0.771
MODAL	Mode	9	0.119533	0.022	6.616E-06	8.664E-09	0.816	0.792	0.000229	2.043E-07	0.0003845	0.0004888	0.082	0.02	0.772
MODAL	Mode	10	0.117385	3.867E-07	0.023	0.0001177	0.816	0.814	0.000347	0.0009931	1.673E-06	0.000000518	0.083	0.02	0.772
MODAL	Mode	11	0.028749	0.0001934	0.156	6.665E-06	0.816	0.971	0.000353	0.049	3.118E-05	0.00003063	0.132	0.02	0.772
MODAL	Mode	12	0.028156	0.159	0.0002009	8.946E-06	0.975	0.971	0.000362	6.785E-05	0.014	0.001172	0.132	0.034	0.773

Syarat : Partisipasi massa harus > 90 % .....OK .....OK

(Sumber : Pemodelan SAP2000)

Partisipai massa > (90%) = OK

Kondisi Aktual (Partisipasi massa dinamik X = 97.5% > 90% = OK)

(Partisipasi massa dinamik Y = 97.1%> 90% = OK)

4.3.15 Check Periode Getar

Dalam pengecekan ini untuk melihat apakah analisis yang digunakan sudah sesuai prosedur perencanaan atau perlu ditinjau ulang analisis sebelumnya baik dalam penentuan periode gedung frekuensi ataupun beban yang lain. Yang disesuaikan dengan SNI 03-1726-2019 pasal 7.9.3 sebagai berikut :

Tabel 4. 21 Modal Periods And Frequencies (SAP2000)

TABLE: Modal Periods And Frequencies							
OutputCase	StepType	StepNum	Period		Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	%	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.614609	19.56%	1.62705	10.22306	104.5109
MODAL	Mode	2	0.6109	19.44%	1.63693	10.28513	105.784
MODAL	Mode	3	0.566349	18.03%	1.765697	11.0942	123.0813
MODAL	Mode	4	0.267742	8.52%	3.734936	23.4673	550.7141
MODAL	Mode	5	0.204972	6.52%	4.878723	30.65392	939.6628
MODAL	Mode	6	0.202341	6.44%	4.942156	31.05248	964.2565
MODAL	Mode	7	0.192402	6.12%	5.197445	32.65651	1066.448
MODAL	Mode	8	0.188851	6.01%	5.29519	33.27066	1106.937
MODAL	Mode	9	0.119533	3.80%	8.365897	52.56448	2763.025
MODAL	Mode	10	0.117385	3.74%	8.518973	53.52628	2865.063
MODAL	Mode	11	0.028749	0.91%	34.78356	218.5515	47764.77
MODAL	Mode	12	0.028156	0.90%	35.51612	223.1544	49797.87

(Sumber : Pemodelan SAP2000)

Ada yang lebih dari 15% menggunakan sistem getar alami **SRSS**

Tidak ada yang lebih dari 15% menggunakan sistem getar alami **CQC**

Tabel 4. 22 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (SNI 1726-2019)

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
≥ 0,4	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
≤ 0,1	1,7

(Sumber : Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung SNI 1726-2019)

- **Periode Fundamental Pendekatan**

  Periode fundamental pendekatan (*Ta*), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t \, h_n^x$$

Keterangan:

hn adalah ketinggian struktur (*m*), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien *Ct* dan *x* ditentukan dari Tabel

Tabel 4. 23 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (SNI 1726-2019)

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

(Sumber : Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung SNI 1726-2019)

- **Periode Minimum (Tmin)**

  Tmin = Ct x Hn^x

  = 0.0466 x 18.39^0.9

  = 0.6402 detik

- **Periode Maksimum (Tmax)**

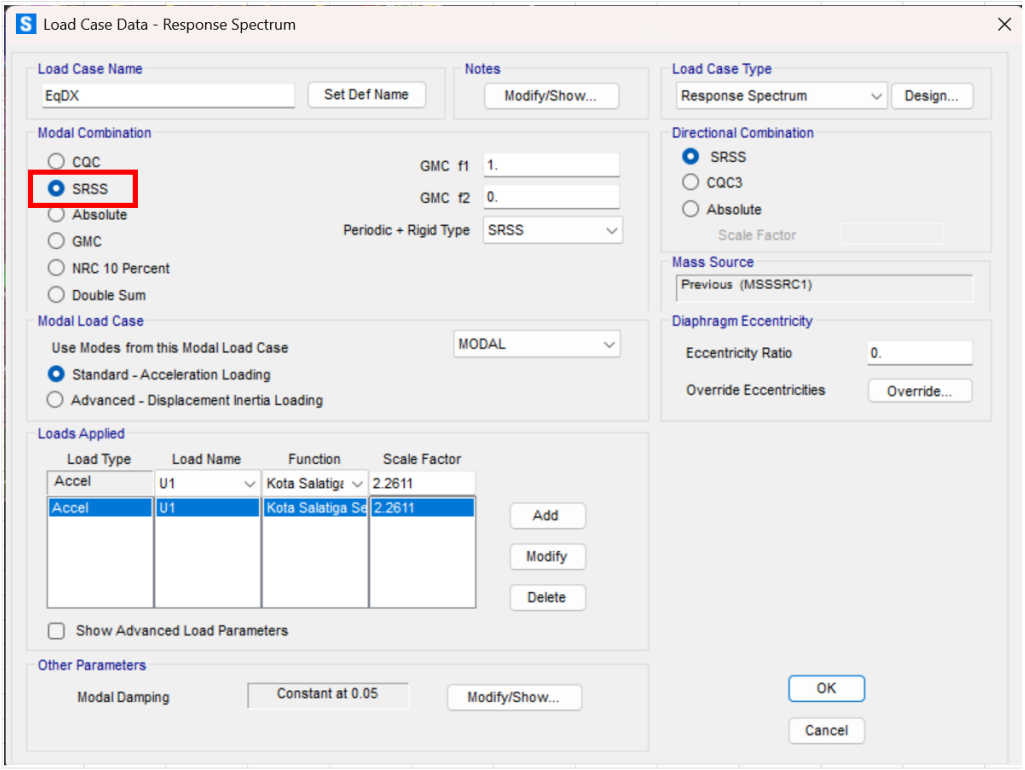
  Tmax = Cu x Tmin

  = 1.4 x 0.6402

  = 0.89624 detik

  T max > T (1) = **OK**

  0.89624 > 0.6402 = OK



Gambar 4. 20 Load Case Data (SAP2000)

4.3.16 Check Perbandingan Respon Spektrum dengan Statik Ekivalen

Pada persyaratan SNI 03-1726-2019 pasal 7.9.4.1. dalam perencanaan pembebanan gaya gempa maka beban yang diisyaratkan untuk respon spectrum harus memenuhi minimal 100% dari beban statik atau V dinamik ≥ 100 % V statik. Dari analisis menggunakan faktor skala diatas didapat sebagai berikut :

Tabel 4. 24 Base Reactions (SAP2000)

TABLE: Base Reactions								
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
EqSX	LinStatic		-16594.612	9.627E-09	-6.616E-10	-1.252E-07	-140757.755	377954.6924
EqSY	LinStatic		-2.525E-09	-16594.612	-7.76E-11	140757.755	2.904E-08	-665094.78
EqDX	LinRespSpec	Max	16594.842	696.435	27.649	6225.4229	137458.2187	370378.4046
EqDY	LinRespSpec	Max	648.502	16594.917	63.075	140047.861	5712.0859	603219.8628

(Sumber : Pemodelan SAP2000)

Target Respons Spektrum>100% Statik Ekivalen

Sumbu X = (Respon Spektrum / Linier Statik)

= (16594.842 / 16594.612 = **100.001 % > 100 %**)

Sumbu Y = (Respon Spektrum / Linier Statik)

= (16594.917 / 16594.612 = **100.002 % > 100 %**)

4.3.17 Check Simpangan Antar Lantai

Pada SNI 03-1726-2019 pasal 7.8.6. simpangan antar lantai tingkat desain (Δx) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin (Δa) seperti pada tabel dibawah ini untuk semua tingkat.

Tabel 4. 25 Simpangan Antar Lantai Ijin (Δa) (SNI 1726-2019)

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0{,}025h_{sx}{}^{c}$	$0{,}02h_{sx}$	$0{,}015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata[d]	$0{,}010h_{sx}$	$0{,}010h_{sx}$	$0{,}010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0{,}007h_{sx}$	$0{,}007h_{sx}$	$0{,}007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0{,}020h_{sx}$	$0{,}015h_{sx}$	$0{,}010h_{sx}$

(Sumber : Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung SNI 1726-2019)

Tabel 4. 26 Joint Displacements

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2
Text	Text	Text	Text	mm	mm
119	EqDX	LinRespSpec	Max	0.380792	0.353921
119	EqDY	LinRespSpec	Max	0.326018	0.436233
221	EqDX	LinRespSpec	Max	7.224413	6.85645
221	EqDY	LinRespSpec	Max	6.200121	8.265388
571	EqDX	LinRespSpec	Max	13.793018	13.146279
571	EqDY	LinRespSpec	Max	11.898894	16.011964
789	EqDX	LinRespSpec	Max	17.688477	16.82157
789	EqDY	LinRespSpec	Max	15.251936	20.561125

(Sumber : Pemodelan SAP2000)

Simpangan antar lantai (Δx max) :

$$\Delta_x = \frac{(\delta 2 - \delta 1) x CD}{I} < \Delta_a \rightarrow \Delta_a = 0{,}010$$

Δ_x = simpangan antar lantai

δ = defleksi yang tejadi

I = faktor keutamaan gempa = 1.5 (tabel 4 SNI 1726 : 2019)

Hx = tinggi tingkat dibawah x = 4200mm

CD = faktor pembesaran defleksi = 5.5 (tabel 12 SNI 1726 : 2019)

Tabel 4. 27 Kontrol Simpangan Antar Lantai

Simpangan Lantai Arah x (∆x)

Lantai	Hsx (mm)	dx (mm)	∆x (mm)	∆a (Ijin) (mm) 0.010 x Hsx	kontrol ∆x < ∆ ijin
ATAP	4200	17.6885	14.2833	42	OK
LT.3	4200	13.7930	24.0849	42	OK
LT.2	4200	7.2244	25.0933	42	OK
Dasar	0	0	1	0	

Simpangan Lantai Arah y (∆y)

Lantai	Hsx (mm)	dy (mm)	∆y (mm)	∆a (Ijin) (mm)	kontrol ∆y < ∆ ijin
ATAP	4200	20.5611	16.6803	42	OK
LT.3	4200	16.0120	28.4041	42	OK
LT.2	4200	8.2654	29.0087	42	OK
Dasar	0	0	0	0	

(Sumber : Data Penulis)

4.4 Analisa Sturktur Bawah

4.4.1 Hasil Pengujian dan Interprelasi Data Tanah

Daya dukung tiang tunggal dihitung berdasarkan data sondir (Pile CPT) dengan metode *Decourt-Quaresma*, karena metode tersebut umum digunakan dalam praktik rekayasa pondasi di Indonesia. Geometri tiang dimodelkan mengikuti dimensi pada *shop drawing*, dengan diameter tiang seragam sebesar 80 cm. Pada setiap *pile cap*, tersedia tiga data hasil penyelidikan tanah (*bore hole*) di sekitar lokasi, dan nilai daya dukung terkecil di antara ketiganya digunakan sebagai acuan pada tahap analisis kelompok tiang, sebagai pendekatan yang konservatif.

Efisiensi kelompok tiang dikoreksi menggunakan persamaan *Converse-Labarre*, sedangkan reaksi tumpuan pada tiap *pile cap* diperoleh dari output SAP2000 dengan *load case kombinasi envelope* (kombinasi maksimum). Kriteria yang digunakan untuk menyatakan suatu *pile cap* memenuhi persyaratan adalah sebagai berikut:

1. Rasio daya dukung, yaitu perbandingan antara kapasitas kelompok tiang terkoreksi dan beban maksimum yang bekerja, harus lebih besar dari 1,00

2. Kapasitas momen nominal terfaktor pada penampang *bore pile* (*ΦMn*) harus melampaui momen ultimit yang bekerja (*Mu*)

3. Besar penurunan pondasi tidak melampaui 25 mm, mengacu pada NAVFAC DM 7.02 (*Foundations and Earth Structures*)

4. Defleksi tiang arah lateral tidak melampaui 25 mm, mengacu pada SNI 8460:2017.

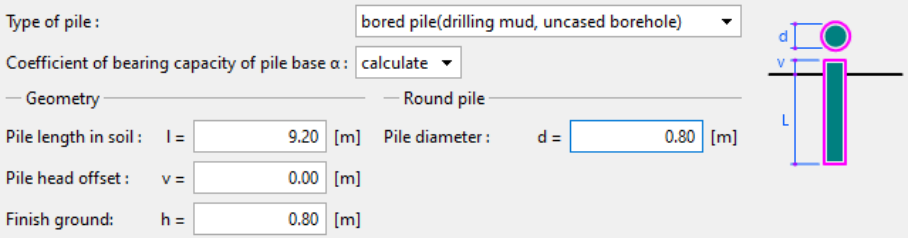
Kontrol defleksi lateral dilakukan dengan meninjau tiang sebagai tiang tunggal (*single pile*), sedangkan kontrol penurunan dilakukan dengan meninjau tiang sebagai kelompok tiang (*group pile*), keduanya menggunakan program bantu *Allpile 7.0*. Kontrol kapasitas penampang terhadap kombinasi beban aksial dan lentur dilakukan dengan program bantu PCA Column atau modul *dimensioning* pada GEO5, tergantung metode pemodelan yang digunakan pada masing-masing pile cap.

4.4.2 Pengelompokan Jenis Kolom, P1-P11

4.4.2.1 Kasus P1

1. Hitung daya dukung tiang tunggal menggunakan analisis *Pile CPT*.

2. Pemodelan struktur tiang wajib disesuaikan dengan *Shop Drawing*.



Gambar 4. 21 Pemodelan Pile CPT di Aplikasi GEO5

(Sumber : Pemodelan GEO5)

3. Analisis dilakukan dengan menginput tiga data *Bore Hole*, di mana nilai daya dukung terkecil yang diperoleh digunakan sebagai acuan. Spesifikasi tiang disesuaikan secara presisi dengan desain eksisting, yaitu diameter 80 cm dan panjang kedalaman L = 9,2 m. Berdasarkan parameter tersebut, diperoleh nilai daya dukung izin tiang tunggal (P*ijin*) sebagai berikut :

Tabel 4. 28 Tabel Daya Dukung Tanah

Data Tanah	BH 1	BH 2	BH 3
Skin Faction	1994.53 kN	1688.32 kN	1813.18 kN
Point Bearing	6031.86 kN	4724.96 kN	3216.99 kN
Bearing Capacity	8026,39 kN	6413.27 kN	5030.17 kN

(digunakan daya dukung paling kecil)

(Sumber : DEEP DRILLING & SPT TEST.pdf)

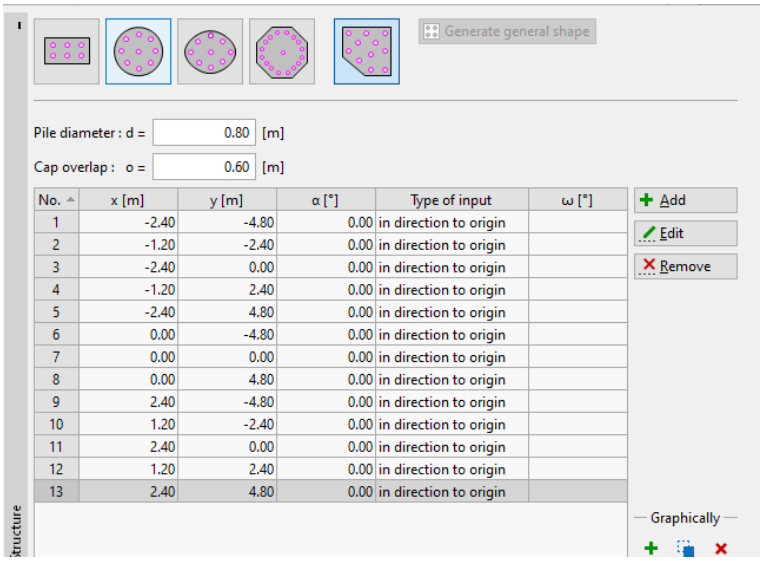
4. Reaksi perletakan (*Joint Reaction*) pada kolom yang ditumpu oleh *Pile Cap* P1 diperoleh dari luaran analisis program SAP2000, dengan mengacu pada *Shop Drawing* Lembar 2 (Denah Fondasi *Pile Cap*). Evaluasi menggunakan kombinasi pembebanan *Envelope* untuk mendapatkan nilai beban maksimum. *Pile Cap* P1 dirancang untuk menopang dua kelompok kolom, yaitu:

   - Kelompok 1: Kolom 679, 677, 683, 687, 693, dan 721
   - Kelompok 2: Kolom 1086, 1088, 1090, 1092, 1098, dan 1100

   Reaksi perletakan dari tiap kelompok kolom dijumlahkan secara kumulatif, kemudian nilai terbesar (maksimum) dari kedua kelompok tersebut diambil sebagai beban rencana dengan hasil sebagai berikut:

   Hx (F^1) = 1993.10 kN
   Hy (F^2) = 1920.10 kN
   P (F^3) = 13716.71 kN
   Mx (M^1) = 3304.09 kN m
   My (M^2) = 3029.12 kN m
   Mputir = 25.38 kN m (tidak diperhitungkan karena nilainya kecil)

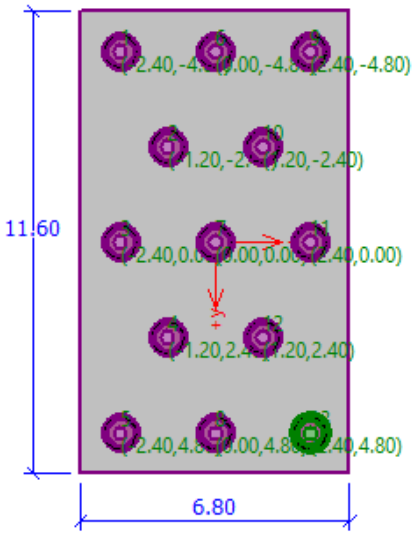
5. Pemodelan konfigurasi tiang pada kelompok tiang (*pile group*) dilakukan dengan mengacu pada ketentuan teknis yang tercantum dalam *Shop Drawing*.



No.	x [m]	y [m]	α [°]	Type of input	ω [°]
1	-2.40	-4.80	0.00	in direction to origin	
2	-1.20	-2.40	0.00	in direction to origin	
3	-2.40	0.00	0.00	in direction to origin	
4	-1.20	2.40	0.00	in direction to origin	
5	-2.40	4.80	0.00	in direction to origin	
6	0.00	-4.80	0.00	in direction to origin	
7	0.00	0.00	0.00	in direction to origin	
8	0.00	4.80	0.00	in direction to origin	
9	2.40	-4.80	0.00	in direction to origin	
10	1.20	-2.40	0.00	in direction to origin	
11	2.40	0.00	0.00	in direction to origin	
12	1.20	2.40	0.00	in direction to origin	
13	2.40	4.80	0.00	in direction to origin	

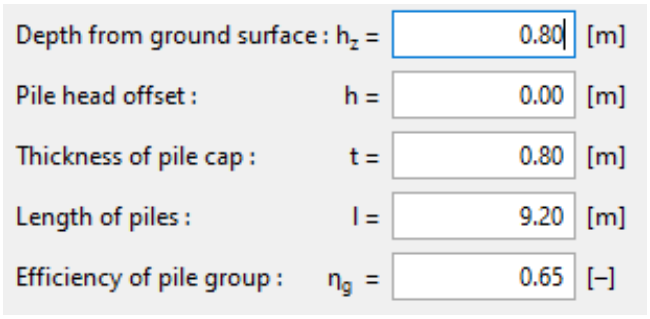
Gambar 4. 22 Pemodelan Stuktur Pile Cap (GEO5)

(Sumber : Pemodelan GEO5)



Gambar 4. 23 Model Stuktur P1 Sesuai Shop Drawing (GEO5)

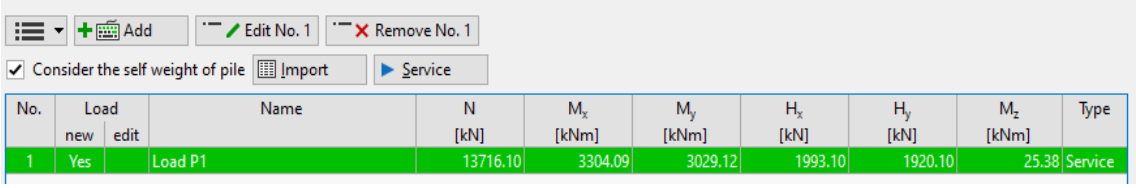
(Sumber : Pemodelan GEO5)



Gambar 4. 24 Geometri P1(GEO5)

(Sumber : Pemodelan GEO5)

6. Masukan beban layan.

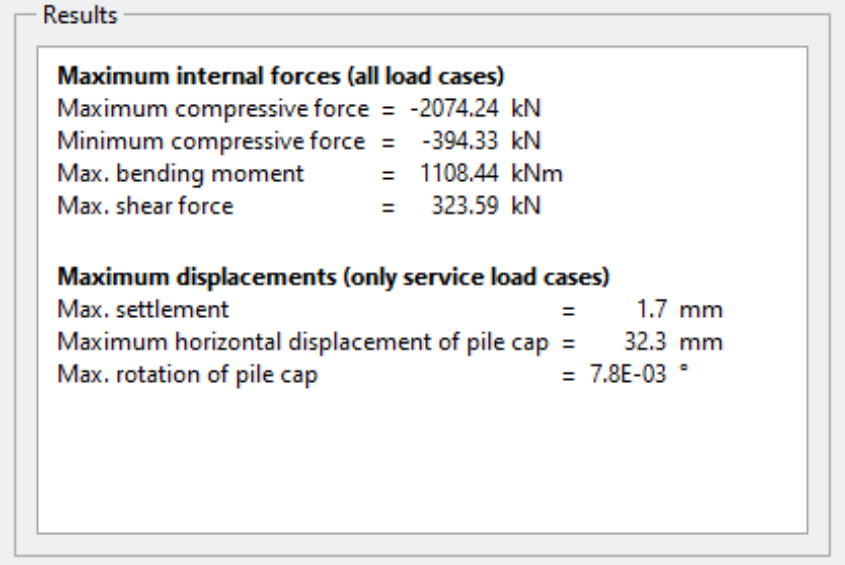


No.	Load new	Load edit	Name	N [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	H_x [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	Type
1	Yes		Load P1	13716.10	3304.09	3029.12	1993.10	1920.10	25.38	Service

Gambar 4. 25 Beban Layan dari SAP2000

(Sumber : Pemodelan GEO5)

7. Analisis dilakukan menggunakan pemodelan *Pile Group* untuk memperoleh besaran gaya aksial maksimum (*P*maks), gaya aksial minimum (*P*min), momen lentur (*bending moment*), dan gaya geser (*shear force*).



Gambar 4. 26 Hasil Analisis P1 (GEO5)

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Pmax = 2074.24 kN

Pmin = 394.33 kN

Bending Momen = 1108.44 kN m

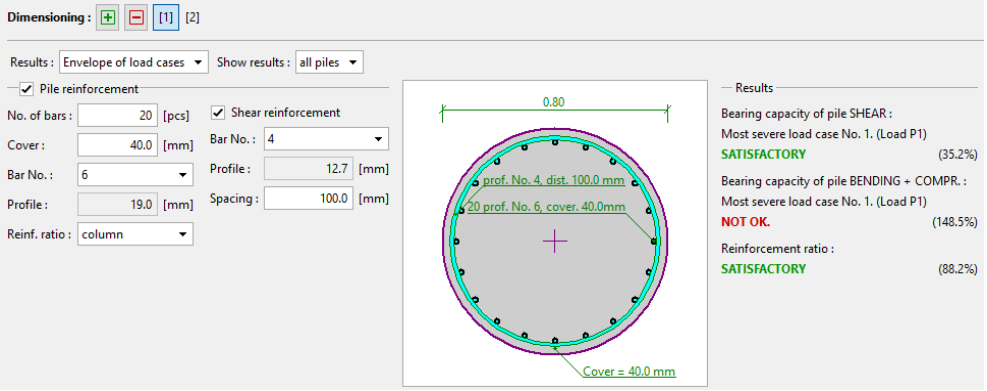
Shear Max = 323.59 kN

Efisiensi Kelompok = $1 - \frac{\theta}{90}\left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn}\right]$

$= 1 - \frac{18{,}43}{90}\ x\ 1.692$

= 0.65 (Koreksi Eg Metode Converse & Labarre)

8. Analisis Kapasitas Tulangan Terpasang Daerah Momen Maksimum.



Gambar 4. 27 Hasil Analisa Tulangan pada P1

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Verification of cross section in bending and compression:
Most severe load case No. 1. (Load P1)
Pile diameter: d=0.80m
Reinforcement - 20 pc bar No. 6; cover 40.0 mm
Type of structure (reinforcement ratio) : column
Reinforcement ratio $\rho = 1.134\ \% > 1.000\ \% = \rho_{min}$
Load : $P_u = 394.33$ kN (compression) ; $M_u = 1108.44$ kNm
Bearing capacity : $\phi P_n = 265.58$ kN; $\phi M_n = 746.54$ kNm
Designed pile reinforcement is NOT SATISFACTORY
Verification of cross section in shear:
Most severe load case No. 1. (Load P1)
Shear reinf. - bar No. 4; spacing 100.0 mm
$A_v = 2 \times 1266.8 = 2533.5\ mm^2$
Ultimate shear force: $\phi V_n = 919.39$ kN > 323.59 kN = V_u
Cross-section is SATISFACTORY.
only minimal shear reinforcement

Gambar 4. 28 Verifikasi Tulangan P1

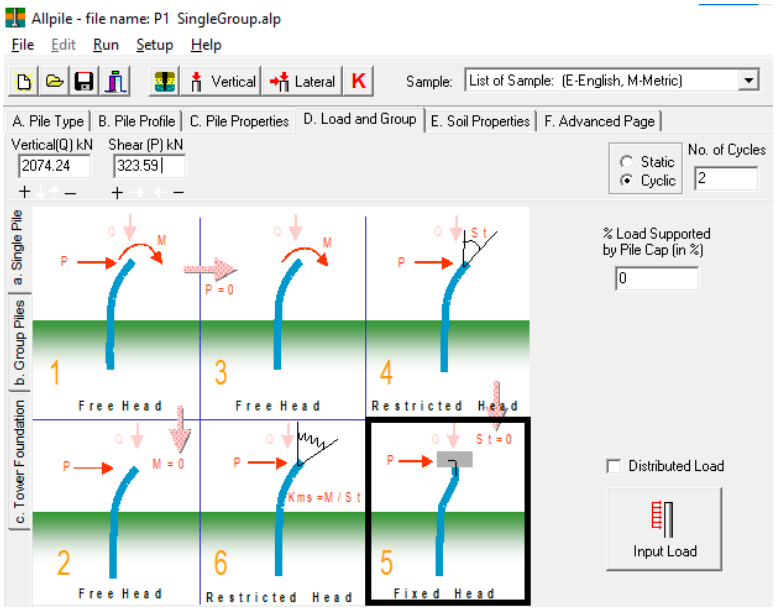
(Sumber : Pemodelan GEO5)

9. Pemeriksaan rasio daya dukung dilakukan untuk memastikan keamanan fondasi terhadap beban yang bekerja. Kontrol Rasio Qg > 1, Daya dukung fondasi memenuhi, Qg < 1, menggunakan Metode Mayerhof.

$$Rasio = \frac{egroup \times pijin}{pmax} = \frac{0.65 \times 5030.17}{2074.24} = 1.6\ (OK, Aman)$$

10. Evaluasi defleksi lateral dan penurunan (*settlement*) pada tiang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak ***Allpile 7.0***.

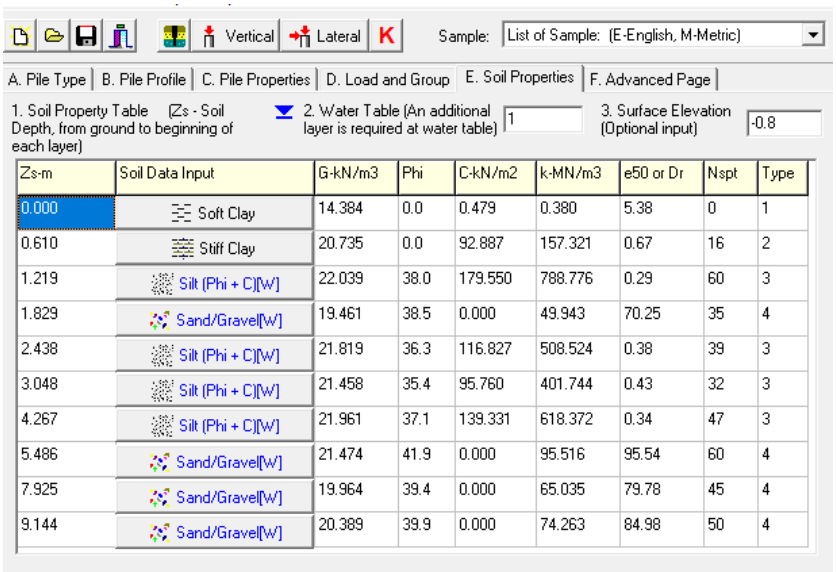
- Evaluasi defleksi lateral dianalisis berdasarkan pendekatan tiang tunggal (*single pile*) dengan memasukkan parameter pembebanan sebagai berikut:



Gambar 4. 29 Single Pile P1

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Penentuan parameter dan profil data tanah diselaraskan dengan hasil pengujian *Bore Hole* yang dipilih

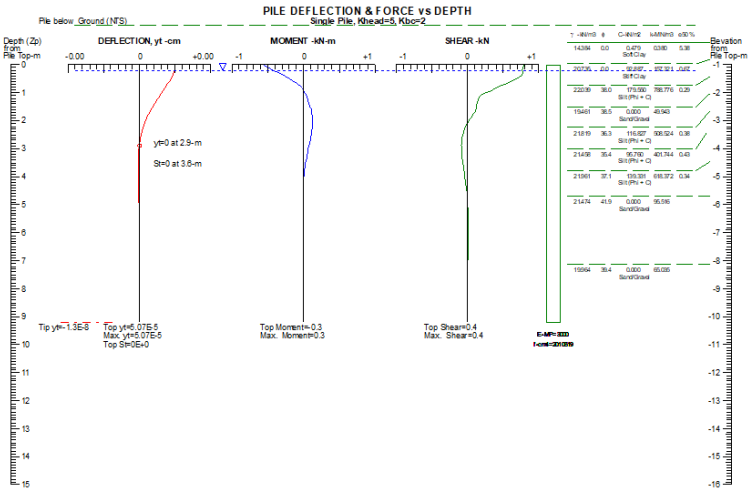


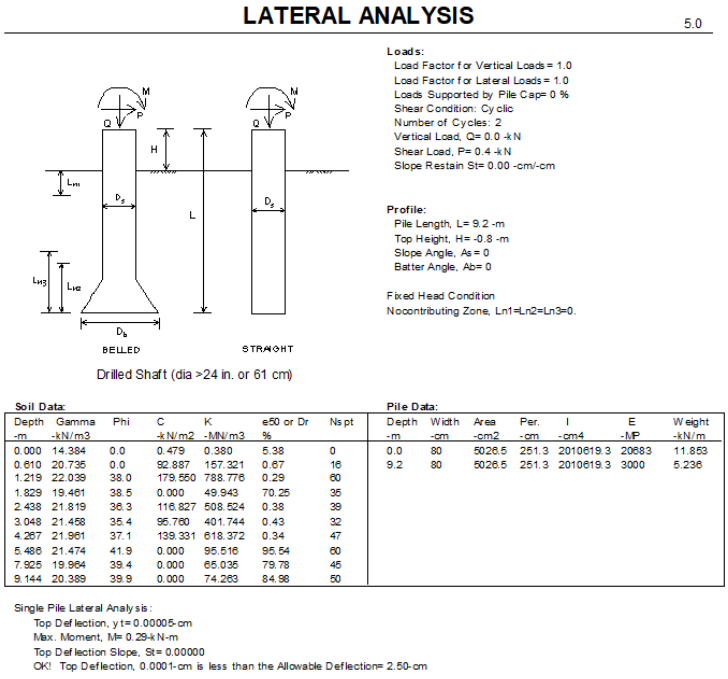
Zs-m	Soil Data Input	G-kN/m3	Phi	C-kN/m2	k-MN/m3	e50 or Dr	Nspt	Type
0.000	Soft Clay	14.384	0.0	0.479	0.380	5.38	0	1
0.610	Stiff Clay	20.735	0.0	92.887	157.321	0.67	16	2
1.219	Silt (Phi + C)[W]	22.039	38.0	179.550	788.776	0.29	60	3
1.829	Sand/Gravel[W]	19.461	38.5	0.000	49.943	70.25	35	4
2.438	Silt (Phi + C)[W]	21.819	36.3	116.827	508.524	0.38	39	3
3.048	Silt (Phi + C)[W]	21.458	35.4	95.760	401.744	0.43	32	3
4.267	Silt (Phi + C)[W]	21.961	37.1	139.331	618.372	0.34	47	3
5.486	Sand/Gravel[W]	21.474	41.9	0.000	95.516	95.54	60	4
7.925	Sand/Gravel[W]	19.964	39.4	0.000	65.035	79.78	45	4
9.144	Sand/Gravel[W]	20.389	39.9	0.000	74.263	84.98	50	4

Gambar 4. 30 Parameter dan Profil Tanah

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Analisis Defleksi Lateral.





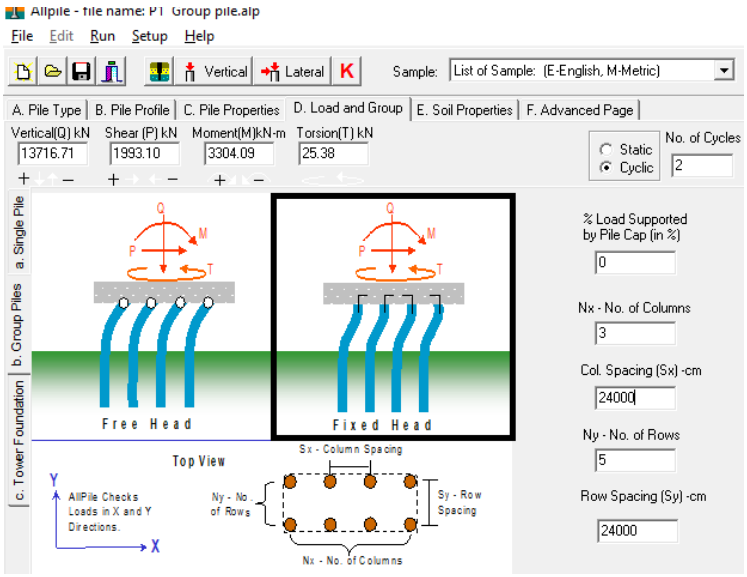
Gambar 4. 31 Hasil Analisis Defleksi Lateral

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Defleksi lateral = 0.00 mm

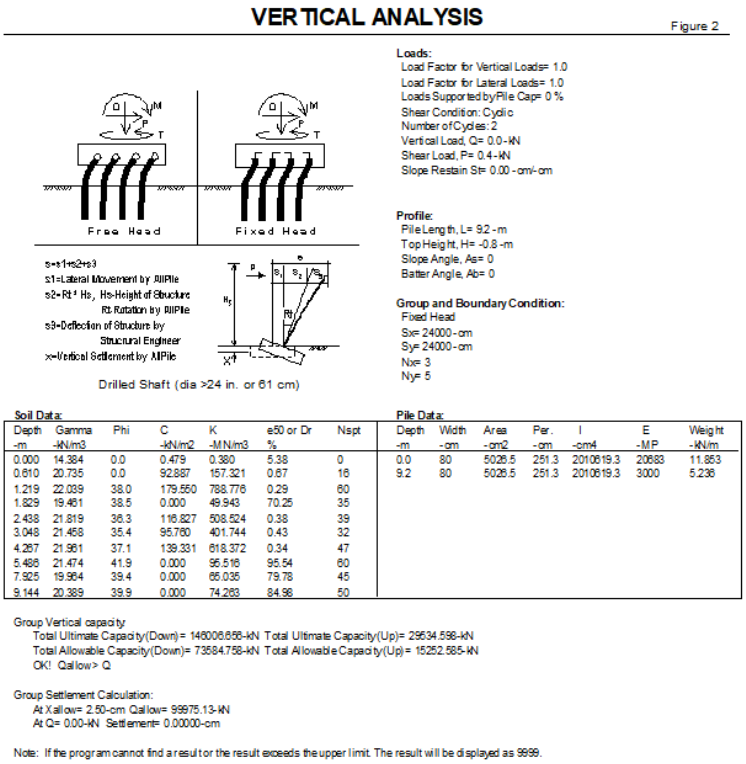
Kesimpulan = Memenuhi

- Analisis penurunan (*settlement*) ditinjau berdasarkan perilaku kelompok tiang (*group pile*). Penurunan fondasi yang diijinkan adalah sebesar 2.5 cm (SNI 8460:2017).



Gambar 4. 32 Input Load P1 untuk Group Pile

(Sumber : Pemodelan AllPile)



Gambar 4. 33 Hasil Analisis Setlement (Penurunan)

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Setlement = 0.00 mm (Memenuhi)

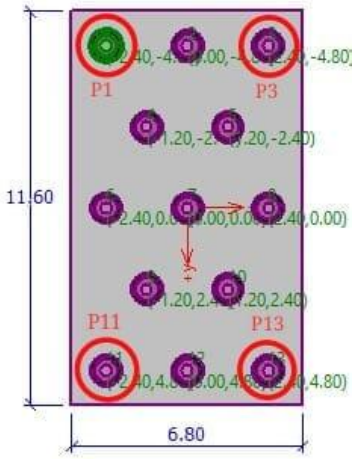
Tabel 4. 29 Ringkasan Hasil Analisis P1

	Hasil Kontrol	Nilai Rujukan	Keterangan
Rasio Daya Dukung Tekan	1.60	> 1,00	Aman
Penulangan *Bore pile*	*ΦMn < Mu*	*ΦMn > Mu*	Gagal
Setlement	0.00 mm	< 25 mm (NAVFAC DM 7.02 (*Founda ons and Earth Structures*))	Aman
Defleksi Lateral	0.00 mm	< 25 mm (SNI 8460:2017)	Aman

(Sumber : Data Penulis)

9. Rekomendasi Penulangan dan Mitigasi Bangunan Eksisting:

   Hasil evaluasi menunjukkan bahwa kapasitas momen penampang belum memenuhi kriteria keamanan (*ΦMn < Mu*). Oleh karena itu, penulangan ulang perlu dilakukan pada tiang *Bore pile* 1, 3, 11, dan 13 (sebagaimana ditandai pada gambar).



Gambar 4. 34 Pemodelan Ulang Tulangan Bore pile

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Pile 1 = yang awalnya 20D19 direkomendasikan untuk ditingkatkan menjadi 32D19.

Pile 3 = yang awalnya 20D19 direkomendasikan untuk ditingkatkan menjadi 26D19.

Pile 11 = yang awalnya 20D19 direkomendasikan untuk ditingkatkan menjadi 27D19.

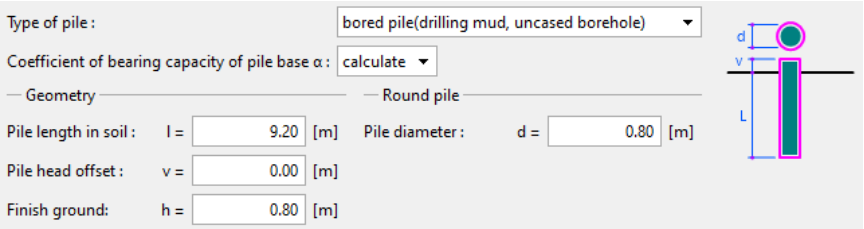
Pile 13 = yang awalnya 20D19 direkomendasikan untuk ditingkatkan menjadi 21D19.

Mengingat kondisi bangunan di lapangan telah terbangun dan aktif digunakan, rekomendasi penyesuaian ditujukan pada aspek manajemen risiko dan keandalan struktur:

- Saran Evaluasi Operasional: Melakukan audit struktur berkala dan memberlakukan pembatasan beban layan (*operational load restriction*) pada area atas fondasi terkait guna menjaga keamanan penampang dari potensi kegagalan lentur.
- Saran Pemantauan Kinerja (*Monitoring*): Memasang instrumen pemantau penurunan (*settlement meter*) dan defleksi lateral untuk memverifikasi bahwa kinerja fondasi eksisting tetap stabil di bawah kondisi beban aktual.

4.4.2.2 Kasus P2

1. Hitung daya dukung tiang tunggal menggunakan analisis *Pile CPT*.
2. Pemodelan struktur tiang wajib disesuaikan dengan *Shop Drawing*.



Gambar 4. 35 Pemodelan Pile CPT diAplikasi GEO 5

(Sumber : Pemodelan GEO5)

3. Analisis dilakukan dengan menginput tiga data *Bore Hole*, di mana nilai daya dukung terkecil yang diperoleh digunakan sebagai acuan. Spesifikasi tiang disesuaikan secara presisi dengan desain eksisting, yaitu diameter 80 cm dan panjang kedalaman L = 9,2 m. Berdasarkan parameter tersebut, diperoleh nilai daya dukung izin tiang tunggal (P*ijin*) sebagai berikut.

Tabel 4. 30 Daya Dukung Tanah

Data Tanah	BH 1	BH 2	BH 3
Skin Faction	1994.53 kN	1688.32 kN	1813.18 kN
Point Bearing	6031.86 kN	4724.96 kN	3216.99 kN
Bearing Capacity	8026,39 kN	6413.27 kN	5030.17 kN

(digunakan daya dukung paling kecil)

(Sumber : DEEP DRILLING & SPT TEST.pdf)

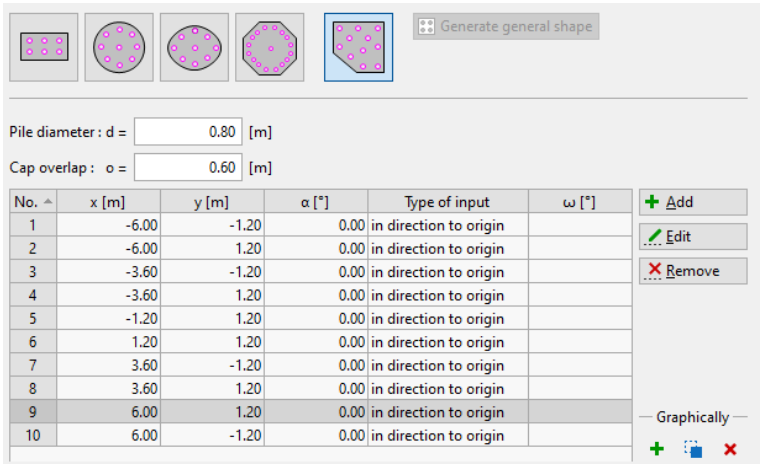
4. Reaksi perletakan (*Joint Reaction*) pada kolom yang ditumpu oleh *Pile Cap* P2 diperoleh dari luaran analisis program SAP2000, dengan mengacu pada *Shop Drawing* Lembar 2 (Denah Fondasi *Pile Cap*). Evaluasi menggunakan kombinasi pembebanan *Envelope* untuk mendapatkan nilai beban maksimum. *Pile Cap* P2 dirancang untuk menopang empat kolom, yakni :

   - 1036
   - 1038
   - 1114
   - 1115.

   Reaksi perletakan dari tiap kelompok kolom dijumlahkan secara kumulatif, kemudian nilai terbesar (maksimum) dari kedua kelompok tersebut diambil sebagai beban rencana dengan hasil sebagai berikut:

   Hx (F^1) = 1455.77 kN
   Hy (F^2) = 972.16 kN
   P (F^3) = 9213.26 kN
   Mx (M^1) = 2148.48 kN m
   My (M^2) = 2219.05 kN m
   Mputir = 19.61 kN m (tidak diperhitungkan karena nilainya kecil)

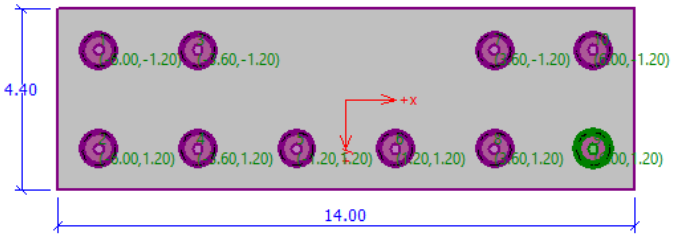
5. Pemodelan konfigurasi tiang pada kelompok tiang (*pile group*) dilakukan dengan mengacu pada ketentuan teknis yang tercantum dalam *Shop Drawing*.



No.	x [m]	y [m]	α [°]	Type of input	ω [°]
1	-6.00	-1.20	0.00	in direction to origin	
2	-6.00	1.20	0.00	in direction to origin	
3	-3.60	-1.20	0.00	in direction to origin	
4	-3.60	1.20	0.00	in direction to origin	
5	-1.20	1.20	0.00	in direction to origin	
6	1.20	1.20	0.00	in direction to origin	
7	3.60	-1.20	0.00	in direction to origin	
8	3.60	1.20	0.00	in direction to origin	
9	6.00	1.20	0.00	in direction to origin	
10	6.00	-1.20	0.00	in direction to origin	

Gambar 4. 36 Pemodelan Stuktur Pile Cap (GEO5)

(Sumber : Pemodelan GEO5)



Gambar 4. 37 Model Stuktur P2 Sesuai Shop Drawing

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Depth from ground surface : h_z =	0.80	[m]
Pile head offset :	h =	0.00	[m]
Thickness of pile cap :	t =	0.80	[m]
Length of piles :	l =	9.20	[m]
Efficiency of pile group :	η_g =	0.67	[–]

Gambar 4. 38 Geometri P2

(Sumber : Pemodelan GEO5)

6. Masukan beban layan.

Add | Edit No. 1 | Remove No. 1

Consider the self weight of pile | Import | Service

No.	Load new	Load edit	Name	N [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	H_x [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	Type
1	Yes		Load P2	9213.26	2148.48	2219.05	1455.77	972.16	19.61	Service

Gambar 4. 39 Beban Layan dari Hasil SAP2000

(Sumber : Pemodelan GEO5)

7. Analisis dilakukan menggunakan pemodelan *Pile Group* untuk memperoleh besaran gaya aksial maksimum (*P*maks), gaya aksial minimum (*P*min), momen lentur (*bending moment*), dan gaya geser (*shear force*).

Results

Maximum internal forces (all load cases)

Maximum compressive force = -1575.91 kN
Minimum compressive force = -489.52 kN
Max. bending moment = 795.49 kNm
Max. shear force = 233.27 kN

Maximum displacements (only service load cases)

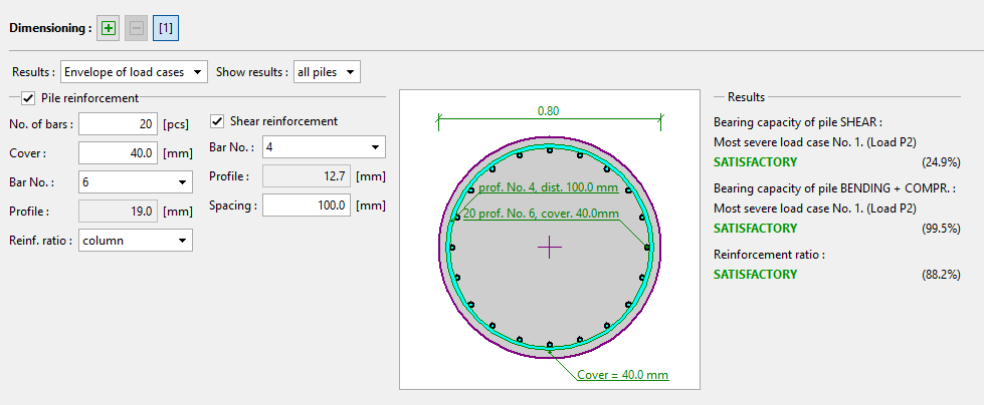
Max. settlement = 1.4 mm
Maximum horizontal displacement of pile cap = 23.6 mm
Max. rotation of pile cap = 1.2E-02 °

Gambar 4. 40 Hasil Analisis P2 (GEO5)

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Pmax	=	1575.91 kN
Pmin	=	489.52 kN
Bending Momen	=	795.49 kN m
Shear Max	=	233.27 kN
Efisiensi Kelompok	=	$1 - \frac{\theta}{90}[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn}]$
		$1 - \frac{18{,}43}{90}\ x\ 1.600$
		0.67 (Koreksi Eg Metode Converse & Labarre)

8. Analisis Kapasitas Tulangan Terpasang Daerah Momen Maksimum.



Gambar 4. 41 Hasil Analisis Tulangan P2

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Verification of cross section in bending and compression:
Most severe load case No. 1. (Load P2)
Pile diameter: d=0.80m
Reinforcement - 20 pc bar No. 6; cover 40.0 mm
Type of structure (reinforcement ratio) : column
Reinforcement ratio ρ = 1.134 % > 1.000 % = ρ_{min}
Load : P_u = 489.52 kN (compression) ; M_u = 795.49 kNm
Bearing capacity : ϕP_n = 491.77 kN; ϕM_n = 799.14 kNm
Designed pile reinforcement is SATISFACTORY
Verification of cross section in shear:
Most severe load case No. 1. (Load P2)
Shear reinf. - bar No. 4; spacing 100.0 mm
A_v = 2 x 1266.8 = 2533.5 mm²
Ultimate shear force: ϕV_n = 938.43 kN > 233.27 kN = V_u
Cross-section is SATISFACTORY.
only minimal shear reinforcement

Gambar 4. 42 Verifikasi Tulangan P2

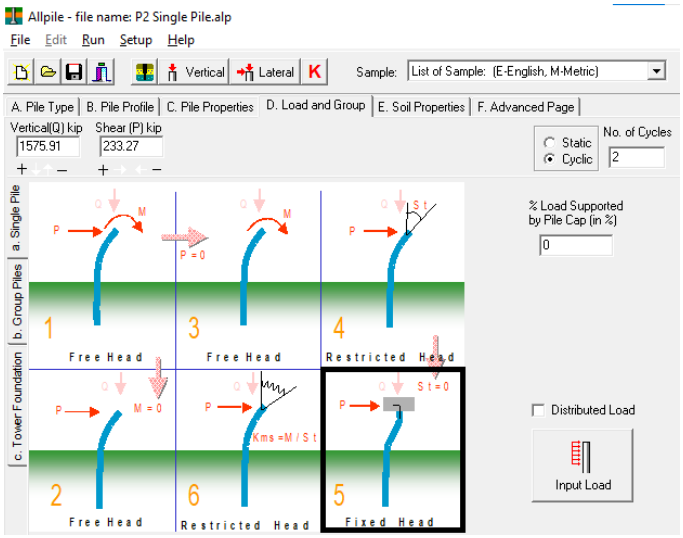
(Sumber : Pemodelan GEO5)

9. Pemeriksaan rasio daya dukung dilakukan untuk memastikan keamanan fondasi terhadap beban yang bekerja. Kontrol Rasio Qg > 1, Daya dukung fondasi memenuhi, Qg < 1, menggunakan Metode Mayerhof.

$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmax} = \frac{0.67\text{x}5030.17}{1575.91} = 2.15\ (OK\ Aman)$$

10. Evaluasi defleksi lateral dan penurunan (*settlement*) pada tiang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak **Allpile 7.0**.

- Evaluasi defleksi lateral dianalisis berdasarkan pendekatan tiang tunggal (*single pile*) dengan memasukkan parameter pembebanan sebagai berikut:



Gambar 4. 43 Single Pile P2

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Penentuan parameter dan profil data tanah diselaraskan dengan hasil pengujian *Bore Hole* yang dipilih

File Edit Run Setup Help

Vertical Lateral K Sample: List of Sample: (E-English, M-Metric)

A. Pile Type | B. Pile Profile | C. Pile Properties | D. Load and Group | E. Soil Properties | F. Advanced Page

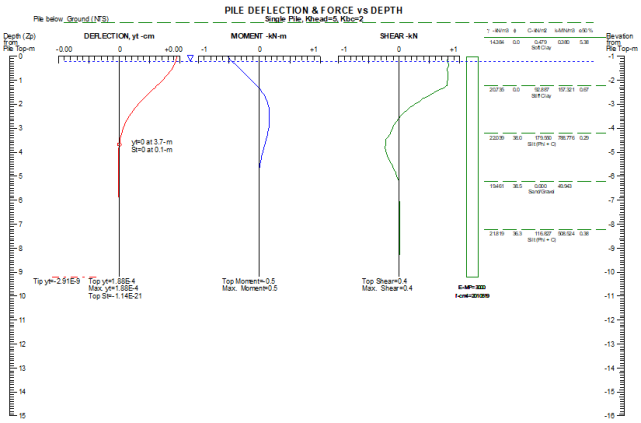
1. Soil Property Table (Zs - Soil Depth, from ground to beginning of each layer) 2. Water Table (An additional layer is required at water table) 1 3. Surface Elevation (Optional input) -0.8

Zs-ft	Soil Data Input	G-lb/f3	Phi	C-kp/f2	k-lb/i3	e50 or Dr	Nspt	Type
0	Soft Clay	91.5	0.0	0.01	1.4	5.38	0	1
2	Stiff Clay	131.9	0.0	1.94	579.6	0.67	16	2
4	Silt (Phi + C)	140.2	38.0	3.75	2906.0	0.29	60	3
6	Sand/Gravel	123.8	38.5	0.00	184.0	70.25	35	4
8	Silt (Phi + C)	138.8	36.3	2.44	1873.5	0.38	39	3
10	Silt (Phi + C)	136.5	35.4	2.00	1480.1	0.43	32	3
14	Silt (Phi + C)	139.7	37.1	2.91	2278.2	0.34	47	3
18	Sand/Gravel	136.6	41.9	0.00	351.9	95.54	60	4
26	Sand/Gravel	127.0	39.4	0.00	239.6	79.78	45	4
30	Sand/Gravel	129.7	39.9	0.00	273.6	84.98	50	4

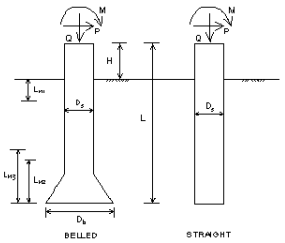
Gambar 4. 44 Parameter dan Profil Tanah

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Analisis Defleksi Lateral.



LATERAL ANALYSIS 5.0



Drilled Shaft (dia >24 in. or 61 cm)

Loads:
Load Factor for Vertical Loads = 1.0
Load Factor for Lateral Loads = 1.0
Loads Supported by Pile Cap= 0 %
Shear Condition: Cyclic
Number of Cycles: 2
Vertical Load, Q= 0.0 -kN
Shear Load, P= 0.4 -kN
Slope Restain St= 0.00 -cm/-cm

Profile:
Pile Length, L= 9.2 -m
Top Height, H= -0.8 -m
Slope Angle, As = 0
Batter Angle, Ab= 0

Fixed Head Condition
Nocontributing Zone, Ln1=Ln2=Ln3=0.

Soil Data:

Depth -m	Gamma -kN/m3	Phi	C -kN/m2	K -MN/m3	e50 or Dr %	Nspt
0.000	14.384	0.0	0.479	0.380	5.38	0
2	20.736	0.0	92.887	157.321	0.67	16
4	22.039	38.0	179.550	788.776	0.29	60
6	19.461	38.5	0.000	49.943	70.25	35
8	21.819	36.3	116.827	508.524	0.38	39
10	21.458	35.4	95.760	401.744	0.43	32

Pile Data:

Depth -m	Width -cm	Area -cm2	Per. -cm	I -cm4	E -MP	Weight -kN/m
0.0	80	5026.5	251.3	2010619.3	20683	11.853
9.2	80	5026.5	251.3	2010619.3	3000	5.236

Single Pile Lateral Analysis:
Top Deflection, y t= 0.00019-cm
Max. Moment, M= 0.52-k N-m
Top Deflection Slope, St= 0.00000
OK! Top Deflection, 0.0002-cm is less than the Allowable Deflection= 2.50-cm

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.
The Max. Moment calculated by program is an internal force from the applied load conditions. Structural engineer has to check whether the pile has enough capacity to resist the moment with adequate factor of safety. If not, the pile may fail under the load conditions.

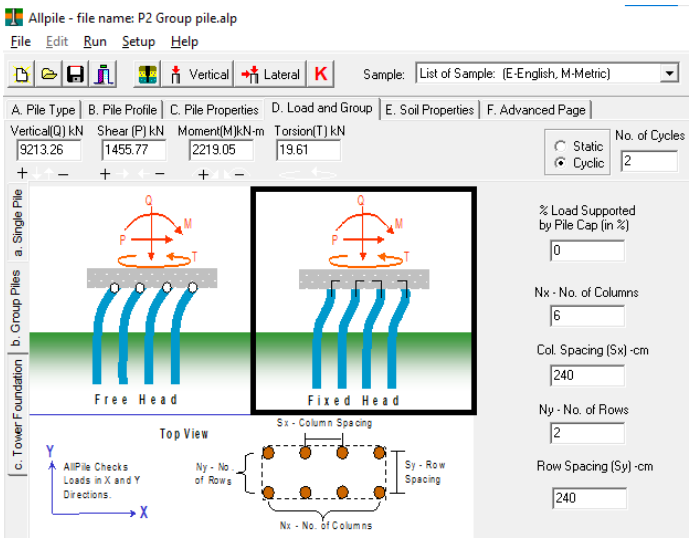
Gambar 4. 45 Hasil Analisis Defleksi Lateral

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Defleksi lateral = 0.00

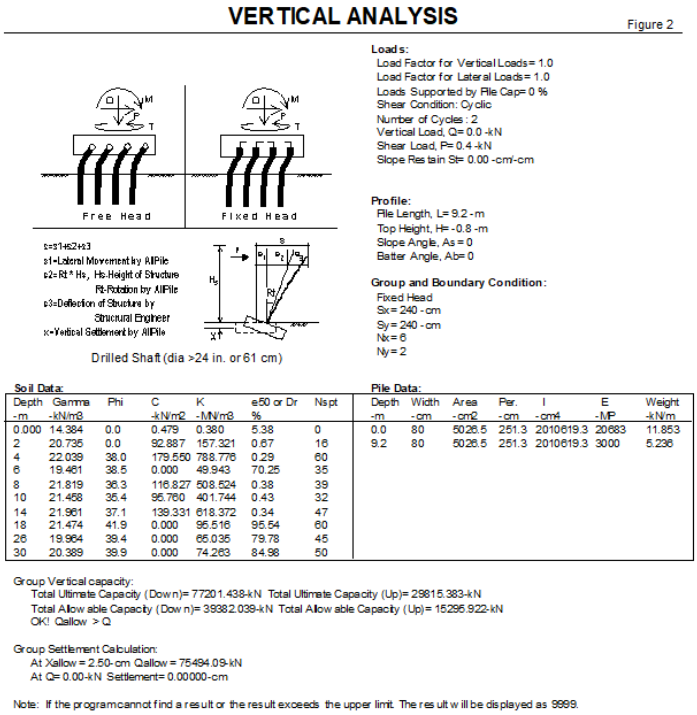
Kesimpulan = Memenuhi

- Analisis penurunan (*settlement*) ditinjau berdasarkan perilaku kelompok tiang (*group pile*). Penurunan fondasi yang diijinkan adalah sebesar 2.5 cm (SNI 8460:2017).



Gambar 4. 46 Input Beban P2 untuk Group Pile

(Sumber : Pemodelan AllPile)



Gambar 4. 47 Hasil Analisis Setlement

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Setlement = 0.00 mm (Memenuhi)

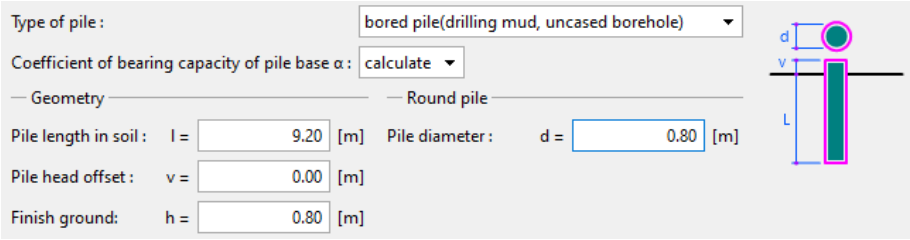
Tabel 4. 31 Hasil Ringkasan untuk P2

	Hasil Kontrol	Nilai Rujukan	Keterangan
Rasio Daya Dukung Tekan	2.15	> 1,00	Aman
Penulangan *Bore pile*	ΦMn < Mu	ΦMn > Mu	Aman
Setlement	0.00 mm	< 25 mm (NAVFAC DM 7.02 (Founda ons and Earth Structures))	Aman
Defleksi Lateral	0.00 mm	< 25 mm (SNI 8460:2017)	Aman

(Sumber : Data Penulis)

4.4.2.3 Kasus P3

1. Hitung daya dukung tiang tunggal menggunakan analisis Pile CPT.
2. Pemodelan struktur tiang wajib disesuaikan dengan *Shop Drawing*.



Gambar 4. 48 Pemodelan Pile CPT (GEO 5)

(Sumber : Pemodelan GEO5)

3. Analisis dilakukan dengan menginput tiga data *Bore Hole*, di mana nilai daya dukung terkecil yang diperoleh digunakan sebagai acuan. Spesifikasi tiang disesuaikan secara presisi dengan desain eksisting, yaitu diameter 80 cm dan panjang kedalaman L = 9,2 m. Berdasarkan parameter tersebut, diperoleh nilai daya dukung izin tiang tunggal (P*ijin*) sebagai berikut.

Tabel 4. 32 Daya Dukung Tanah

Data Tanah	BH 1	BH 2	BH 3
Skin Faction	1994.53 kN	1688.32 kN	1813.18 kN
Point Bearing	6031.86 kN	4724.96 kN	3216.99 kN
Bearing Capacity	8026,39 kN	6413.27 kN	5030.17 kN

(digunakan daya dukung paling kecil)

(Sumber : DEEP DRILLING & SPT TEST.pdf)

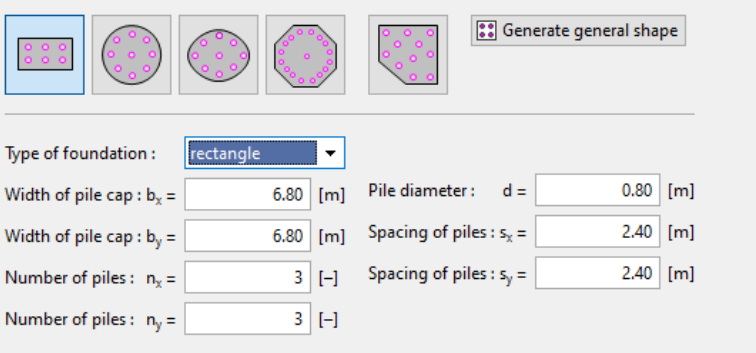
4. Reaksi perletakan (*Joint Reaction*) pada kolom yang ditumpu oleh *Pile Cap* P3 diperoleh dari luaran analisis program SAP2000, dengan mengacu pada *Shop Drawing* Lembar 2 (Denah Fondasi *Pile Cap*). Evaluasi menggunakan kombinasi pembebanan *Envelope* untuk mendapatkan nilai beban maksimum. Sebagai informasi bahwasanya Pile Cap P3 bekerja dengan menopang empat kolom. Yakni:

   - 288 ; 292 ; 1003 ; 1007
   - 1062 ; 1064 ; 1074 ; 1076

   Reaksi perletakan dari tiap kelompok kolom dijumlahkan secara kumulatif, kemudian nilai terbesar (maksimum) dari kedua kelompok tersebut diambil sebagai beban rencana dengan hasil sebagai berikut:

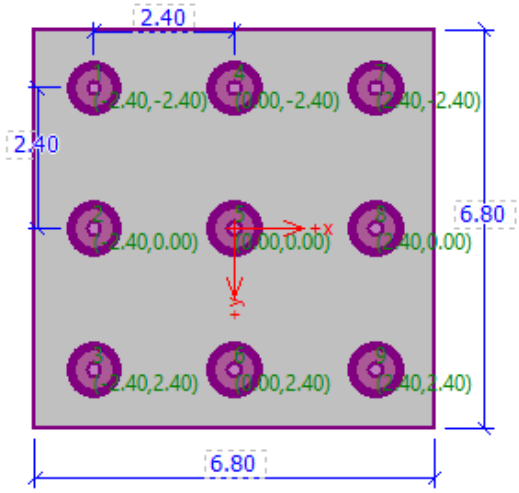
   Hx (F^1) = 1231.92 kN
   Hy (F^2) = 1341.55 kN
   P (F^3) = 10188.49 kN
   Mx (M^1) = 2217.04 kN m
   My (M^2) = 1571.89 kN m
   Mputir = 16.92 kN m (tidak diperhitungkan karena nilainya kecil)

5. Pemodelan konfigurasi tiang pada kelompok tiang (*pile group*) dilakukan dengan mengacu pada ketentuan teknis yang tercantum dalam *Shop Drawing*.



Gambar 4. 49 Pemodelan Struktur Pile Cap (GEO5)

(Sumber : Pemodelan GEO5)



Gambar 4. 50 Model Stuktur P3 Sesuai Shop Drawing (GEO5)

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Depth from ground surface : h_z =	0.80	[m]
Pile head offset :	h =	0.00	[m]
Thickness of pile cap :	t =	0.80	[m]
Length of piles :	l =	9.20	[m]
Efficiency of pile group :	η_g =	0.73	[–]

Gambar 4. 51 Geometri P3

(Sumber : Pemodelan GEO5)

6. Masukan beban layan.

Add | Edit No. 1 | Remove No. 1

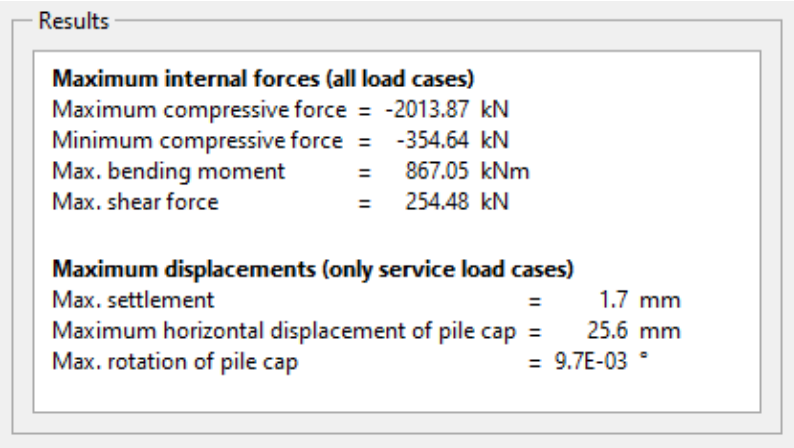
Consider the self weight of pile | Import | Service

No.	Load new	Load edit	Name	N [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	H_x [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	Type
1	Yes		Load P3	10188.49	2217.04	1571.89	1231.92	1341.55	16.92	Service

Gambar 4. 52 Beban Layan dari Hasil SAP2000

(Sumber : Pemodelan GEO5)

7. Analisis dilakukan menggunakan pemodelan *Pile Group* untuk memperoleh besaran gaya aksial maksimum (*P*maks), gaya aksial minimum (*P*min), momen lentur (*bending moment*), dan gaya geser (*shear force*).



Gambar 4. 53 Hasil Analisis P3 (GEO5)

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Pmax = 2013.87 kN

Pmin = 354.64 kN

Bending Momen = 867.05 kN m

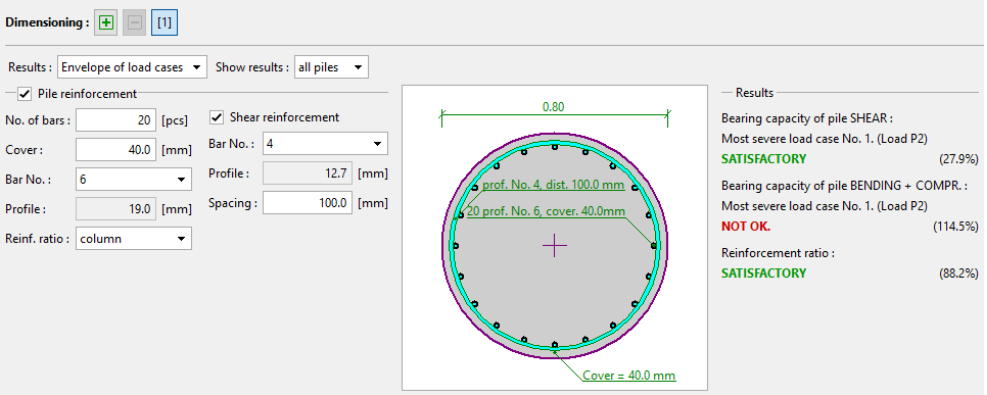
Shear Max = 254.48 kN

Efisiensi Kelompok = $1 - \frac{\theta}{90}\left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn}\right]$

$1 - \frac{18{,}43}{90}\ x\ 1.333$

0.73 (Koreksi Eg Metode Converse & Labarre)

8. Analisis Kapasitas Tulangan Terpasang Daerah Momen Maksimum.



Gambar 4. 54 Hasil Anlisis Tulangan pada P3

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Verification of cross section in bending and compression:
Most severe load case No. 1. (Load P2)
Pile diameter: d=0.80m
Reinforcement - 20 pc bar No. 6; cover 40.0 mm
Type of structure (reinforcement ratio) : column
Reinforcement ratio ρ = 1.134 % > 1.000 % = ρ_{min}
Load : P_u = 354.64 kN (compression) ; M_u = 867.05 kNm
Bearing capacity : ϕP_n = 309.70 kN; ϕM_n = 757.17 kNm
Designed pile reinforcement is NOT SATISFACTORY
Verification of cross section in shear:
Most severe load case No. 1. (Load P2)
Shear reinf. - bar No. 4; spacing 100.0 mm
A_v = 2 x 1266.8 = 2533.5 mm²
Ultimate shear force: ϕV_n = 911.45 kN > 254.48 kN = V_u
Cross-section is SATISFACTORY.
only minimal shear reinforcement

Gambar 4. 55 Verifikasi P3

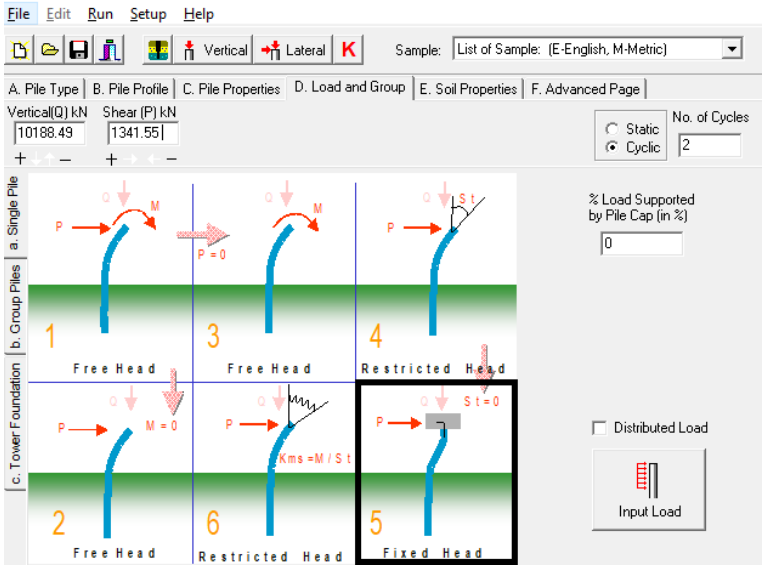
(Sumber : Pemodelan GEO5)

9. Pemeriksaan rasio daya dukung dilakukan untuk memastikan keamanan fondasi terhadap beban yang bekerja. Kontrol Rasio Qg > 1, Daya dukung fondasi memenuhi, Qg < 1, menggunakan Metode Mayerhof.

$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmax} = \frac{0.73\text{x}5030.17}{2013.87} = 1.82\ (OK\ Aman)$$

10. Evaluasi defleksi lateral dan penurunan (*settlement*) pada tiang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak **Allpile 7.0**.

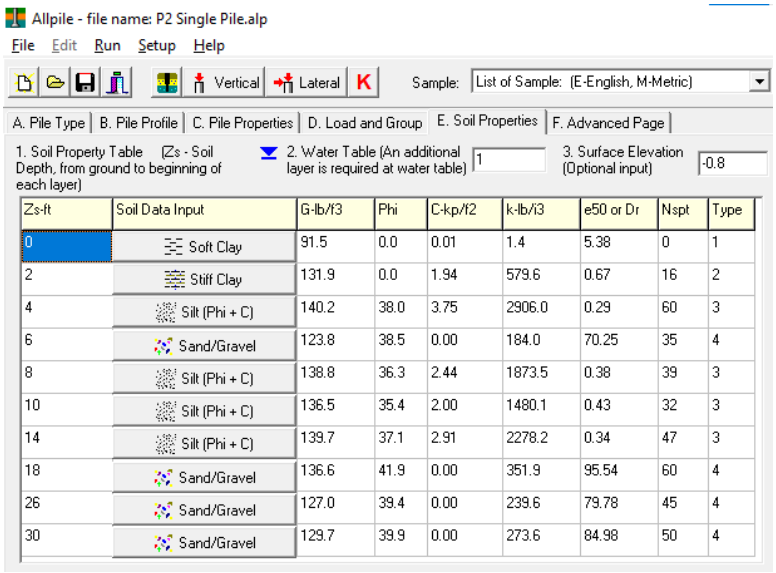
    - Evaluasi defleksi lateral dianalisis berdasarkan pendekatan tiang tunggal (*single pile*) dengan memasukkan parameter pembebanan sebagai berikut:



Gambar 4. 56 Input Beban Single Pile

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Penentuan parameter dan profil data tanah diselaraskan dengan hasil pengujian *Bore Hole* yang dipilih

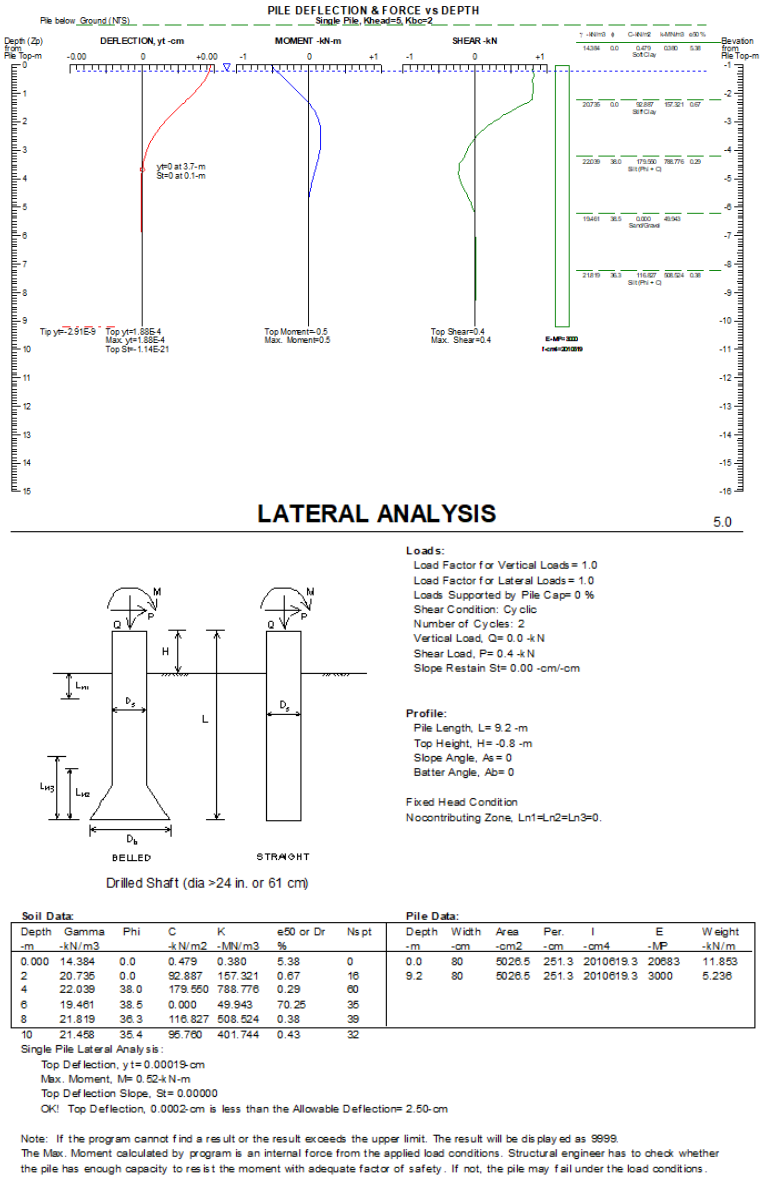


Zs-ft	Soil Data Input	G-lb/f3	Phi	C-kp/f2	k-lb/i3	e50 or Dr	Nspt	Type
0	Soft Clay	91.5	0.0	0.01	1.4	5.38	0	1
2	Stiff Clay	131.9	0.0	1.94	579.6	0.67	16	2
4	Silt (Phi + C)	140.2	38.0	3.75	2906.0	0.29	60	3
6	Sand/Gravel	123.8	38.5	0.00	184.0	70.25	35	4
8	Silt (Phi + C)	138.8	36.3	2.44	1873.5	0.38	39	3
10	Silt (Phi + C)	136.5	35.4	2.00	1480.1	0.43	32	3
14	Silt (Phi + C)	139.7	37.1	2.91	2278.2	0.34	47	3
18	Sand/Gravel	136.6	41.9	0.00	351.9	95.54	60	4
26	Sand/Gravel	127.0	39.4	0.00	239.6	79.78	45	4
30	Sand/Gravel	129.7	39.9	0.00	273.6	84.98	50	4

Gambar 4. 57 Parameter dan Profil Tanah

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Analisis Defleksi Lateral.



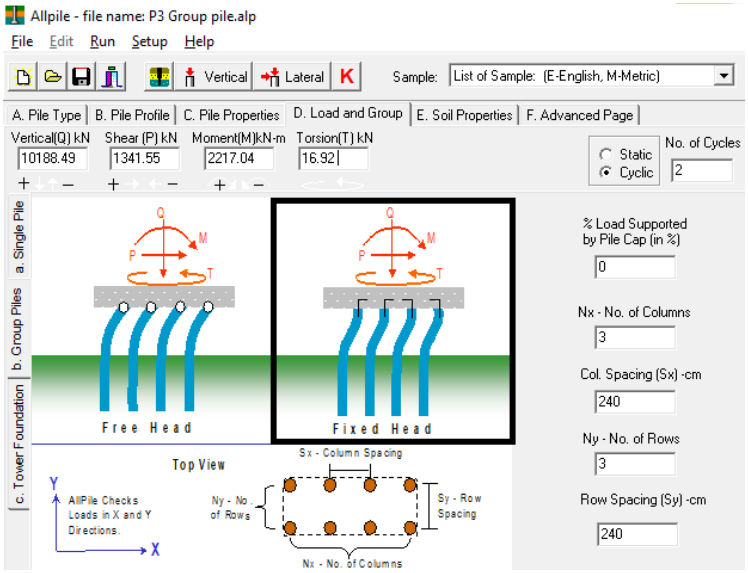
Gambar 4. 58 Hasil Analisis Defleksi Lateral

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Defleksi lateral = 0.00 mm

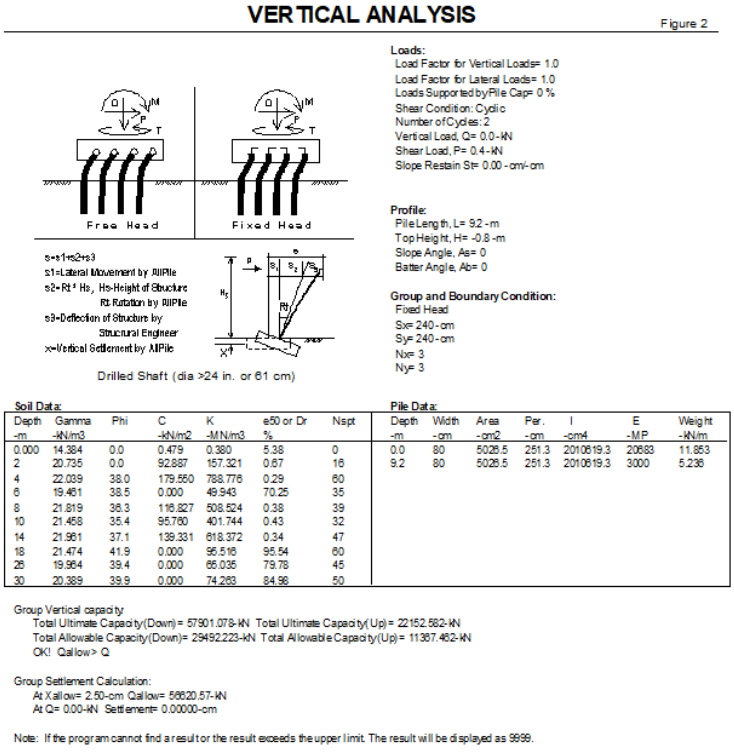
Kesimpulan = Memenuhi

- Analisis penurunan (*settlement*) ditinjau berdasarkan perilaku kelompok tiang (*group pile*). Penurunan fondasi yang diijinkan adalah sebesar 2.5 cm (SNI 8460:2017).



Gambar 4. 59 Input Beban P3 untuk Group Pile

(Sumber : Pemodelan AllPile)



VERTICAL ANALYSIS Figure 2

Loads:
Load Factor for Vertical Loads= 1.0
Load Factor for Lateral Loads= 1.0
Loads Supported by Pile Cap= 0 %
Shear Condition: Cyclic
Number of Cycles: 2
Vertical Load, Q= 0.0 -kN
Shear Load, P= 0.4 -kN
Slope Restain St= 0.00 -cm/-cm

Profile:
Pile Length, L= 9.2 -m
Top Height, H= -0.8 -m
Slope Angle, As= 0
Batter Angle, Ab= 0

Group and Boundary Condition:
Fixed Head
Sx= 240 -cm
Sy= 240 -cm
Nx= 3
Ny= 3

Free Head
Fixed Head
s=s1+s2+s3
s1=Lateral Movement by AllPile
s2=Rt * Hs, Hs-Height of Structure
Rt-Rotation by AllPile
s3=Deflection of Structure by Structural Engineer
x=Vertical Settlement by AllPile

Drilled Shaft (dia >24 in. or 61 cm)

Soil Data:

Depth -m	Gamma -kN/m3	Phi	C -kN/m2	K -MN/m3	e50 or Dr %	Nspt
0.000	14.384	0.0	0.479	0.380	5.38	0
2	20.735	0.0	92.887	157.321	0.67	16
4	22.039	38.0	179.550	788.776	0.29	60
6	19.461	38.5	0.000	49.943	70.25	35
8	21.819	36.3	116.827	508.524	0.38	39
10	21.458	35.4	95.760	401.744	0.43	32
14	21.961	37.1	139.331	618.372	0.34	47
18	21.474	41.9	0.000	95.516	95.54	60
26	19.964	39.4	0.000	65.035	79.78	45
30	20.389	39.9	0.000	74.263	84.98	50

Pile Data:

Depth -m	Width -cm	Area -cm2	Per. -cm	I -cm4	E -MP	Weight -kN/m
0.0	80	5026.5	251.3	2010619.3	20683	11.853
9.2	80	5026.5	251.3	2010619.3	3000	5.236

Group Vertical capacity
Total Ultimate Capacity(Down)= 57901.078-kN Total Ultimate Capacity(Up)= 22152.582-kN
Total Allowable Capacity(Down)= 29492.223-kN Total Allowable Capacity(Up)= 11367.462-kN
OK! Qallow> Q

Group Settlement Calculation:
At Xallow= 2.50-cm Qallow= 56820.57-kN
At Q= 0.00-kN Settlement= 0.00000-cm

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.

Gambar 4. 60 Hasil Analisis Setlement

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Setlement = 0.00 mm (Memenuhi)

Tabel 4. 33 Ringkasan Hasil Analisis Fondasi Tipe P3

	Hasil Kontrol	Nilai Rujukan	Keterangan
Rasio Daya Dukung Tekan	1.82	> 1,00	Aman
Penulangan *Bore pile*	ΦMn < Mu	ΦMn > Mu	Gagal
Setlement	0.00 mm	< 25 mm (NAVFAC DM 7.02 (*Founda ons and Earth Structures*))	Aman
Defleksi Lateral	0.00 mm	< 25 mm (SNI 8460:2017)	Aman

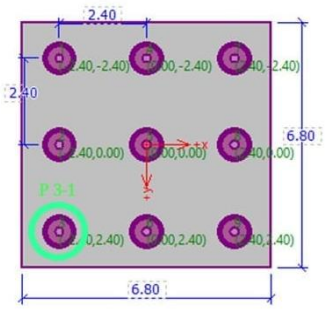
(Sumber : Data Penulis)

11. Rekomendasi Evaluasi dan Redesain Penulangan:

Hasil analisis kapasitas penampang tiang bor (*bored pile*) menunjukkan kondisi *ΦMn < Mu*, yang mengindikasikan bahwa kapasitas momen nominal terfaktor penampang belum mencukupi untuk menahan momen ultimat rencana. Pemilihan rasio tulangan eksisting belum memadai untuk memenuhi kebutuhan kapasitas struktur.

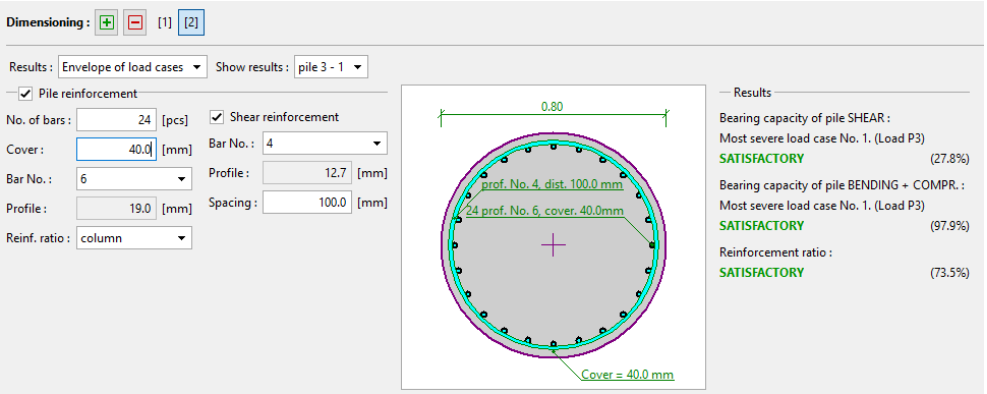
Berdasarkan evaluasi tersebut, disampaikan rekomendasi penyesuaian desain penulangan sebagai berikut:

- Revisi Penulangan Umum: Konfigurasi tulangan awal 20D19 disarankan untuk ditingkatkan menjadi 24D19 agar kebutuhan rasio tulangan dan kapasitas momen penampang teruji aman.
- Penyesuaian Khusus Titik Pile 3-1 yang diberi lingkaran pada gamar dibawah **:** Khusus untuk lokasi Pile 3-1, direkomendasikan penggunaan penulangan 24D19, yang dinilai telah mencukupi untuk memenuhi kriteria kapasitas lentur minimum pada penampang tersebut.



Gambar 4. 61 Letak Titik Pile yang Tidak Memenuhi Penulangannya

(Sumber : Pemodelan GEO5)



Gambar 4. 62 Hasil Setelah Direkomendasikan

(Sumber : Pemodelan GEO5)

12. Saran Teknis Apabila Bangunan Telah Terbangun dan Beroperasi:

Apabila kondisi di lapangan menunjukkan bahwa struktur bangunan saat ini telah selesai dibangun dan aktif digunakan, maka perkuatan fisik secara langsung pada elemen tiang bor di bawah tanah akan sangat sulit dilaksanakan. Sebagai bentuk solusi akademis dan manajerial pada Tugas Akhir ini, disarankan langkah-langkah berikut:

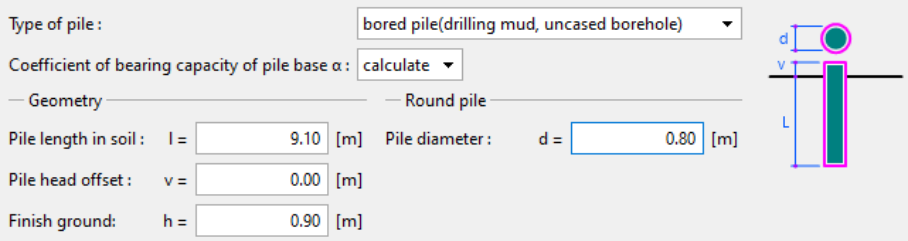
1. Pemantauan Kinerja Struktur secara Berkala (*Monitoring*): Melakukan pemantauan penurunan (*settlement monitoring*) dan defleksi lateral secara berkala untuk memverifikasi bahwa kinerja fondasi eksisting di lapangan tetap berada dalam batas toleransi aman.

2. Audit Kelayakan Struktur & Pembatasan Beban Operasional (*Load Restriction*): Melakukan audit kapasitas struktur secara menyeluruh dan, jika diperlukan, memberlakukan pembatasan beban hidup (*live load*) pada lantai/ruangan di atas fondasi tersebut guna mencegah timbulnya momen ultimat yang melampaui kapasitas penampang terpasang.

Evaluasi Distribusi Beban Elemen Atas: Mengkaji opsi perkuatan pada elemen *pile cap* atau penambahan balok pengikat (*tie beam*) di tingkat dasar guna membantu meredistribusi gaya momen secara lebih merata ke tiang-tiang di sekitarnya.

4.4.2.4 Kasus P4

1. Hitung daya dukung tiang tunggal menggunakan analisis *Pile CPT*.
2. Pemodelan struktur tiang wajib disesuaikan dengan *Shop Drawing*.



Gambar 4. 63 Pemodelan Pile CPT di Aplikasi GEO5

(Sumber : Pemodelan GEO5)

3. Analisis dilakukan dengan menginput tiga data *Bore Hole*, di mana nilai daya dukung terkecil yang diperoleh digunakan sebagai acuan. Spesifikasi tiang disesuaikan secara presisi dengan desain eksisting, yaitu diameter 90 cm dan panjang kedalaman L = 9,1 m. Berdasarkan parameter tersebut, diperoleh nilai daya dukung izin tiang tunggal (P*ijin*) sebagai berikut

Tabel 4. 34 Hasil Daya Dukung Tanah

Data Tanah	BH 1	BH 2	BH 3
Skin Faction	1986.62 kN	1683.18 kN	1807.82 kN
Point Bearing	6031.86 kN	4724.96 kN	3216.99 kN
Bearing Capacity	8018.48 kN	6408.13 kN	5024.81 kN

(digunakan daya dukung paling kecil)

(Sumber : DEEP DRILLING & SPT TEST.pdf)

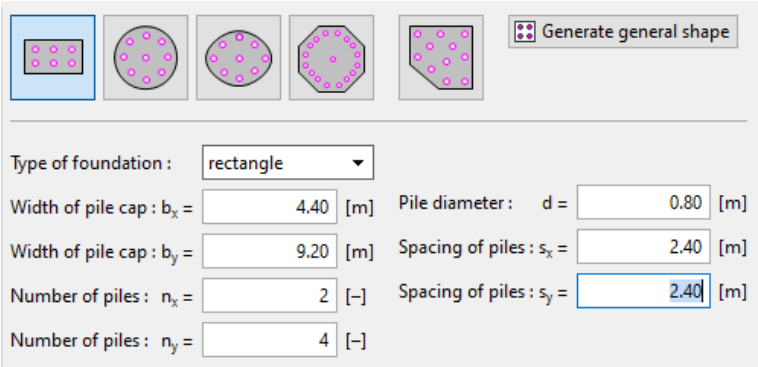
4. Reaksi perletakan (*Joint Reaction*) pada kolom yang ditumpu oleh *Pile Cap* P4 diperoleh dari luaran analisis program SAP2000, dengan mengacu pada *Shop Drawing* Lembar 2 (Denah Fondasi *Pile Cap*). Evaluasi menggunakan kombinasi pembebanan *Envelope* untuk mendapatkan nilai beban maksimum. Sebagai informasi bahwasanya Pile Cap P4 bekerja dengan menopang dua kolom. Yakni pada *Join Reaction*:

   - 348 & 1027
   - 340 & 975
   - 1024 & 1030

Reaksi perletakan dari tiap kelompok kolom dijumlahkan secara kumulatif, kemudian nilai terbesar (maksimum) dari kedua kelompok tersebut diambil sebagai beban rencana dengan hasil sebagai berikut:

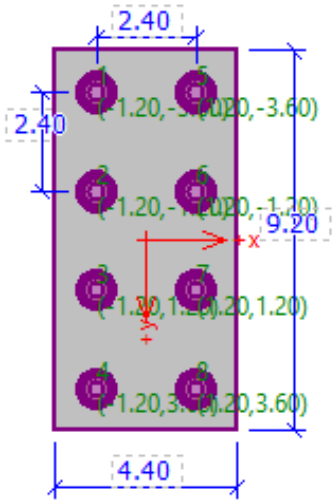
Hx (F^1) = 633.45 kN
Hy (F^2) = 923.65 kN
P (F^3) = 10190.21 kN
Mx (M^1) = 1255.24 kN m
My (M^2) = 1013.48 kN m
Mputir = 11.15 kN m (tidak diperhitungkan karena nilainya kecil)

5. Pemodelan konfigurasi tiang pada kelompok tiang (*pile group*) dilakukan dengan mengacu pada ketentuan teknis yang tercantum dalam *Shop Drawing*.



Gambar 4. 64 Pemodelan Struktur P4 sesuai Shop Drawing (GEO5)

(Sumber : Pemodelan GEO5)



Gambar 4. 65 Geometri P4 (GEO5)

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Depth from ground surface : h_z =	0.90	[m]
Pile head offset :	h =	0.00	[m]
Thickness of pile cap :	t =	0.90	[m]
Length of piles :	l =	9.10	[m]
Efficiency of pile group :	η_g =	0.73	[–]

Gambar 4. 66 Geometri P4

(Sumber : Pemodelan GEO5)

6. Masukan beban layan.

Add | Edit No. 1 | Remove No. 1

Consider the self weight of pile | Import | Service

No.	Load new	Load edit	Name	N [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	H_x [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	Type
1	Yes		Load P4	10190.21	1255.24	1013.48	633.45	923.65	11.15	Service

Gambar 4. 67 Beban Layan dari Hasil SAP2000

7. Analisis dilakukan menggunakan pemodelan *Pile Group* untuk memperoleh besaran gaya aksial maksimum (*P*maks), gaya aksial minimum (*P*min), momen lentur (*bending moment*), dan gaya geser (*shear force*).

Results

Maximum internal forces (all load cases)

Maximum compressive force	=	-2057.80	kN
Minimum compressive force	=	-852.51	kN
Max. bending moment	=	591.93	kNm
Max. shear force	=	172.76	kN

Maximum displacements (only service load cases)

Max. settlement	=	1.7	mm
Maximum horizontal displacement of pile cap	=	17.7	mm
Max. rotation of pile cap	=	7.9E-03	°

Gambar 4. 68 Hasil Analisis P4 (GEO5)

(Sumber : Pemodelan GEO5)

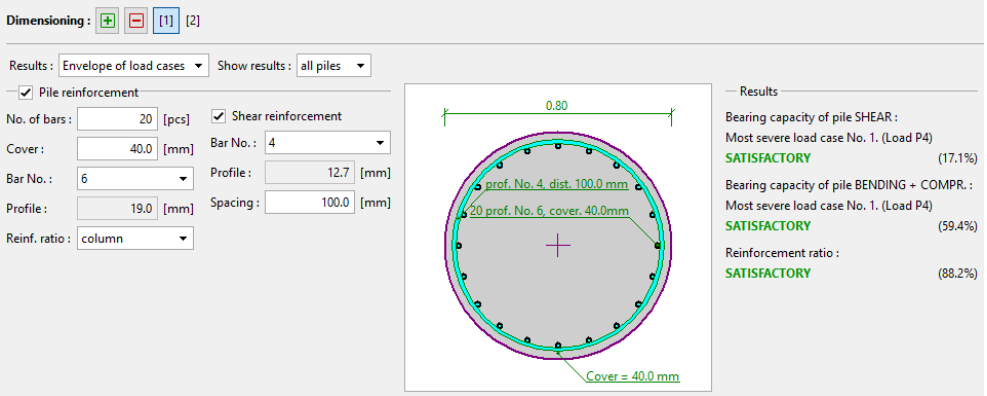
Pmax	=	2057.80 kN
Pmin	=	852.51 kN
Bending Momen	=	591.93 kN m
Shear Max	=	172.76 kN

Efisiensi Kelompok $= 1 - \frac{\theta}{90}\left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn}\right]$

$1 - \frac{18{,}43}{90}\ x\ 1.250$

0.74 (Koreksi Eg Metode Converse & Labarre)

8. Analisis Kapasitas Tulangan Terpasang Daerah Momen Maksimum.



Gambar 4. 69 Hasil Analisis Tulangan P4

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Verification of cross section in bending and compression:
Most severe load case No. 1. (Load P4)
Pile diameter: d=0.80m
Reinforcement - 20 pc bar No. 6; cover 40.0 mm
Type of structure (reinforcement ratio) : column
Reinforcement ratio ρ = 1.134 % > 1.000 % = ρ_{min}
Load : P_u = 852.51 kN (compression) ; M_u = 591.93 kNm
Bearing capacity : ϕP_n = 1434.97 kN; ϕM_n = 996.37 kNm
Designed pile reinforcement is SATISFACTORY
Verification of cross section in shear:
Most severe load case No. 1. (Load P4)
Shear reinf. - bar No. 4; spacing 100.0 mm
A_v = 2 x 1266.8 = 2533.5 mm²
Ultimate shear force: ϕV_n = 1011.03 kN > 172.76 kN = V_u
Cross-section is SATISFACTORY.
only minimal shear reinforcement

Gambar 4. 70 Verifikasi P4

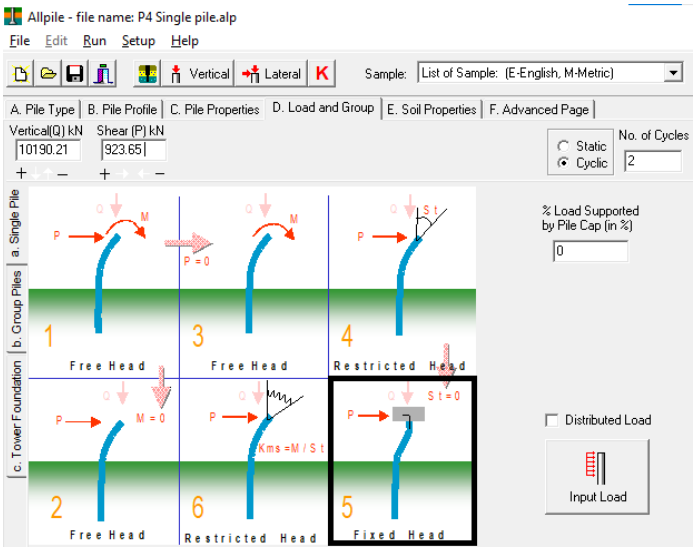
(Sumber : Pemodelan GEO5)

9. Pemeriksaan rasio daya dukung dilakukan untuk memastikan keamanan fondasi terhadap beban yang bekerja. Kontrol Rasio Qg > 1, Daya dukung fondasi memenuhi, Qg < 1, menggunakan Metode Mayerhof.

$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmax} = \frac{0.74\text{x}5024.81}{2057.80} = 1.82\ (OK\ Aman)$$

10. Evaluasi defleksi lateral dan penurunan (*settlement*) pada tiang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak **Allpile 7.0**.

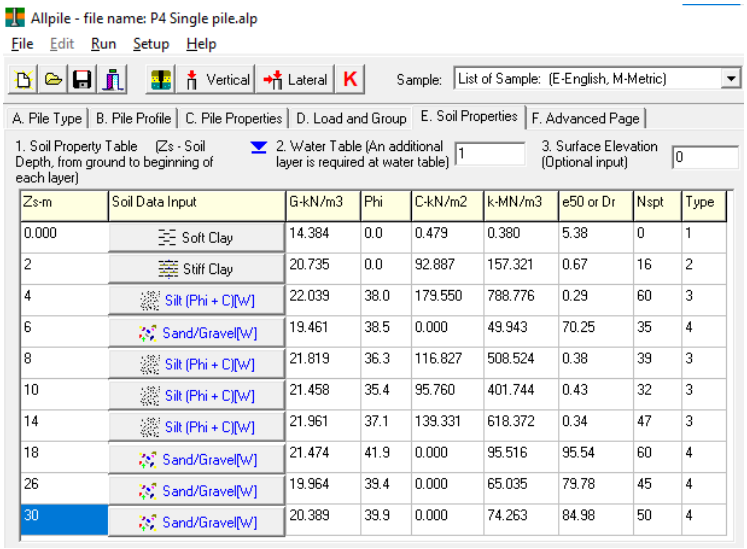
- Evaluasi defleksi lateral dianalisis berdasarkan pendekatan tiang tunggal (*single pile*) dengan memasukkan parameter pembebanan sebagai berikut:



Gambar 4. 71 Single Pile P4

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Penentuan parameter dan profil data tanah diselaraskan dengan hasil pengujian *Bore Hole* yang dipilih.

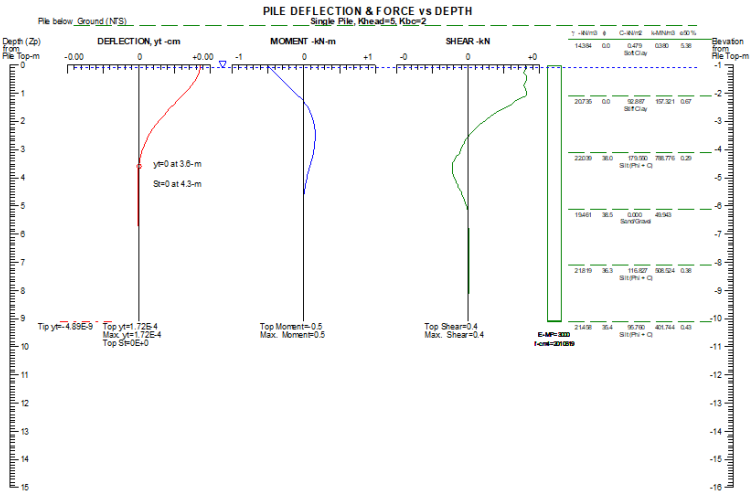


Zs-m	Soil Data Input	G-kN/m3	Phi	C-kN/m2	k-MN/m3	e50 or Dr	Nspt	Type
0.000	Soft Clay	14.384	0.0	0.479	0.380	5.38	0	1
2	Stiff Clay	20.735	0.0	92.887	157.321	0.67	16	2
4	Silt (Phi + C)[W]	22.039	38.0	179.550	788.776	0.29	60	3
6	Sand/Gravel[W]	19.461	38.5	0.000	49.943	70.25	35	4
8	Silt (Phi + C)[W]	21.819	36.3	116.827	508.524	0.38	39	3
10	Silt (Phi + C)[W]	21.458	35.4	95.760	401.744	0.43	32	3
14	Silt (Phi + C)[W]	21.961	37.1	139.331	618.372	0.34	47	3
18	Sand/Gravel[W]	21.474	41.9	0.000	95.516	95.54	60	4
26	Sand/Gravel[W]	19.964	39.4	0.000	65.035	79.78	45	4
30	Sand/Gravel[W]	20.389	39.9	0.000	74.263	84.98	50	4

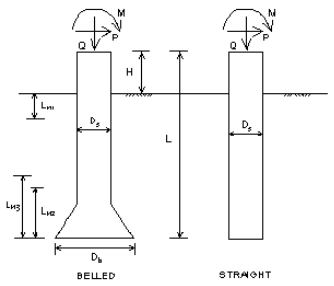
Gambar 4. 72 Parameter dan Profil Tanah

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Analisis Defleksi Lateral.



LATERAL ANALYSIS 5.0



Drilled Shaft (dia >24 in. or 61 cm)

Loads:
Load Factor for Vertical Loads = 1.0
Load Factor for Lateral Loads = 1.0
Loads Supported by Pile Cap= 0 %
Shear Condition: Cyclic
Number of Cycles: 2
Vertical Load, Q= 0.0 -kN
Shear Load, P= 0.4 -kN
Slope Restain St= 0.00 -cm/-cm

Profile:
Pile Length, L= 9.1 -m
Top Height, H= -0.9 -m
Slope Angle, As= 0
Batter Angle, Ab= 0

Fixed Head Condition
Nocontributing Zone, Ln1=Ln2=Ln3=0.

Soil Data:

Depth -m	Gamma -kN/m3	Phi	C -kN/m2	K -MN/m3	e50 or Dr %	Nspt
0.000	14.384	0.0	0.479	0.380	5.38	0
2	20.735	0.0	92.887	157.321	0.67	16
4	22.039	38.0	179.550	788.776	0.29	60
6	19.461	38.5	0.000	49.943	70.25	35
8	21.819	36.3	116.827	508.524	0.38	39
10	21.458	35.4	95.760	401.744	0.43	32
14	21.961	37.1	139.331	618.372	0.34	47

Pile Data:

Depth -m	Width -cm	Area -cm2	Per. -cm	I -cm4	E -MP	Weight -kN/m
0.0	80	5026.5	251.3	2010619.3	20683	11.853
9.1	80	5026.5	251.3	2010619.3	3000	5.236

Single Pile Lateral Analysis:
Top Deflection, yt= 0.00017-cm
Max. Moment, M= 0.50-kN-m
Top Deflection Slope, St= 0.00000
OK! Top Deflection, 0.0002-cm is less than the Allowable Deflection= 2.50-cm

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.
The Max. Moment calculated by program is an internal force from the applied load conditions. Structural engineer has to check whether the pile has enough capacity to resist the moment with adequate factor of safety. If not, the pile may fail under the load conditions.

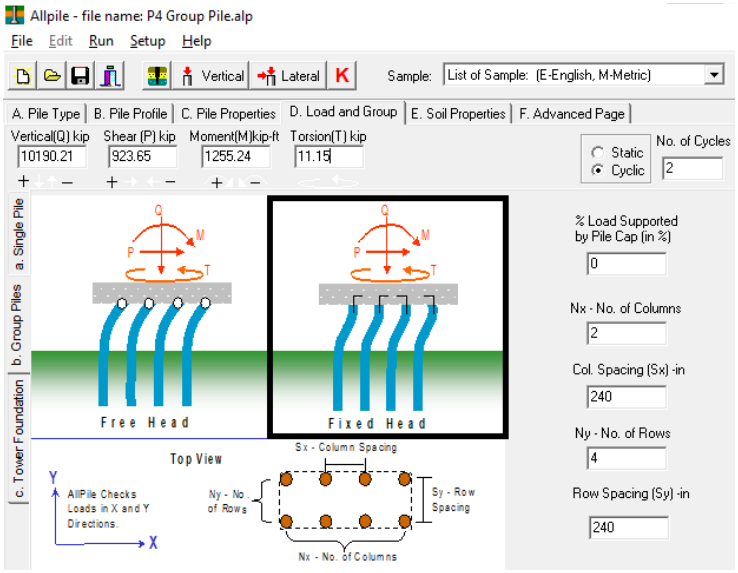
Gambar 4. 73 Hasil Analisis Defleksi Lateral

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Defleksi lateral = 0.00 mm

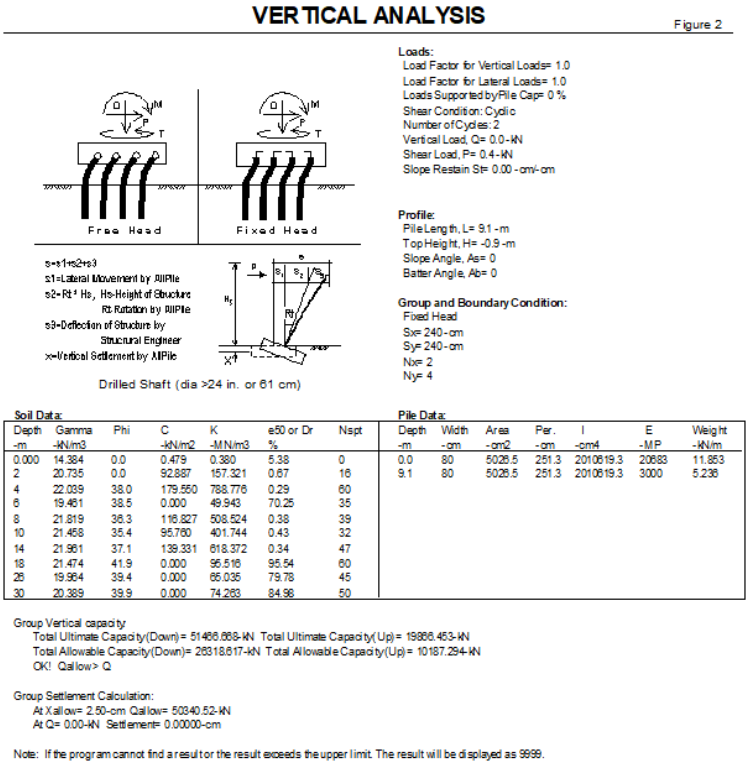
Kesimpulan = Memenuhi

- Analisis penurunan (*settlement*) ditinjau berdasarkan perilaku kelompok tiang (*group pile*). Penurunan fondasi yang diijinkan adalah sebesar 2.5 cm (SNI 8460:2017).



Gambar 4. 74 Input Beban P4 untuk Group Pile

(Sumber : Pemodelan AllPile)



Gambar 4. 75 Hasil Analisis Setlement P4

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Setlement = 0.00 mm (Memenuhi)

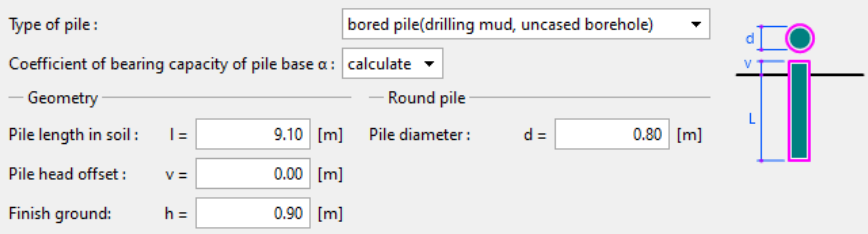
Tabel 4. 35 Ringkasan Hasil Analisis Fondasi Tipe P4

	Hasil Kontrol	Nilai Rujukan	Keterangan
Rasio Daya Dukung Tekan	1.82	> 1,00	Aman
Penulangan *Bore pile*	ΦMn < Mu	ΦMn > Mu	Aman
Setlement	0.00 mm	< 25 mm (NAVFAC DM 7.02 (*Founda ons and Earth Structures*))	Aman
Defleksi Lateral	0.00 mm	< 25 mm (SNI 8460:2017)	Aman

(Sumber : Data Penulis)

4.4.2.5 Kasus P4a

1. Hitung daya dukung tiang tunggal menggunakan analisis *Pile CPT*.
2. Pemodelan struktur tiang wajib disesuaikan dengan *Shop Drawing*.



Gambar 4. 76 Pemodelan Pile CPT (GEO5)

(Sumber : Pemodelan GEO5)

3. Analisis dilakukan dengan menginput tiga data *Bore Hole*, di mana nilai daya dukung terkecil yang diperoleh digunakan sebagai acuan. Spesifikasi tiang disesuaikan secara presisi dengan desain eksisting, yaitu diameter 80 cm dan panjang kedalaman L = 9,1 m. Berdasarkan parameter tersebut, diperoleh nilai daya dukung izin tiang tunggal (P*ijin*) sebagai berikut.

Tabel 4. 36 Daya Dukung Tanah

Data Tanah	BH 1	BH 2	BH 3
Skin Faction	1986.62 kN	1683.18 kN	1807.82 kN
Point Bearing	6031.86 kN	4724.96 kN	3216.99 kN
Bearing Capacity	8018.48kN	6408.13 kN	5024.81 kN

(digunakan daya dukung paling kecil)

(Sumber : DEEP DRILLING & SPT TEST.pdf)

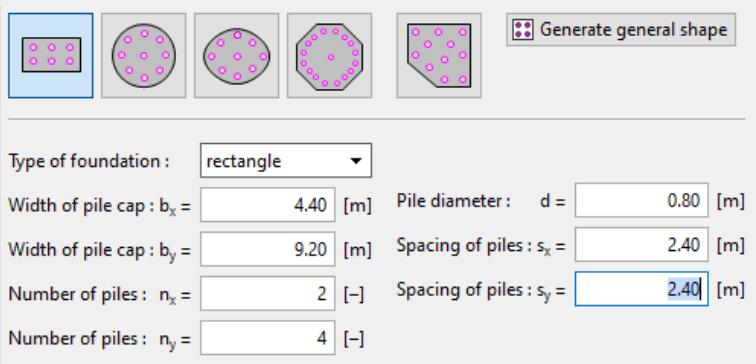
4. Reaksi perletakan (*Joint Reaction*) pada kolom yang ditumpu oleh *Pile Cap* P4a diperoleh dari luaran analisis program SAP2000, dengan mengacu pada *Shop Drawing* Lembar 2 (Denah Fondasi *Pile Cap*). Evaluasi menggunakan kombinasi pembebanan *Envelope* untuk mendapatkan nilai beban maksimum. Sebagai informasi bahwasanya Pile Cap P4a bekerja dengan menopang dua kolom. Yakni pada *Join Reaction*

   - 1040 & 1785.

   Reaksi perletakan dari tiap kelompok kolom dijumlahkan secara kumulatif, kemudian nilai terbesar (maksimum) dari kedua kelompok tersebut diambil sebagai beban rencana dengan hasil sebagai berikut:

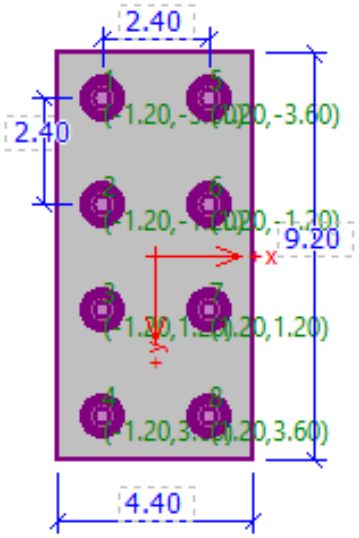
   Hx (F^1) = 393.05 kN
   Hy (F^2) = 400.44 kN
   P (F^3) = 5150.97 kN
   Mx (M^1) = 108.024 kN m
   My (M^2) = 84.84 kN m
   Mputir = 2.82 kN m (tidak diperhitungkan karena nilainya kecil)

5. Pemodelan konfigurasi tiang pada kelompok tiang (*pile group*) dilakukan dengan mengacu pada ketentuan teknis yang tercantum dalam *Shop Drawing*.



Gambar 4. 77 Pemodelan Stuktur Pile Cap (GEO5)

(Sumber : Pemodelan GEO5)



Gambar 4. 78 Model Stuktur P4a Sesuai Shop Drawing (GEO5)

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Depth from ground surface : h_z =	0.90	[m]
Pile head offset :	h =	0.00	[m]
Thickness of pile cap :	t =	0.90	[m]
Length of piles :	l =	9.10	[m]
Efficiency of pile group :	η_g =	0.74	[–]

Gambar 4. 79 Geometri P4a

(Sumber : Pemodelan GEO5)

6. Masukan beban layan.

Add | Edit No. 1 | Remove No. 1

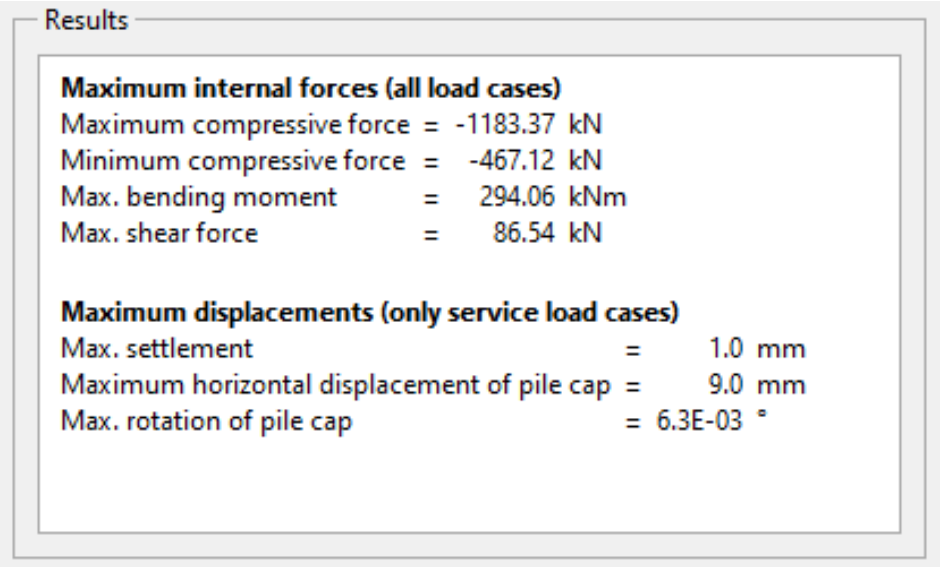
Consider the self weight of pile | Import | Service

No.	Load new	Load edit	Name	N [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	H_x [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	Type
1	Yes		Load P4a	5150.97	108.02	84.84	393.05	400.44	2.81	Service

Gambar 4. 80 Beban Layan dari SAP2000

(Sumber : Pemodelan GEO5)

7. Analisis dilakukan menggunakan pemodelan *Pile Group* untuk memperoleh besaran gaya aksial maksimum (*P*maks), gaya aksial minimum (*P*min), momen lentur (*bending moment*), dan gaya geser (*shear force*).



Gambar 4. 81 Hasil Analisis P4a (GEO5)

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Pmax = 1183.37 kN

Pmin = 467.12 kN

Bending Momen = 294.06 kN m

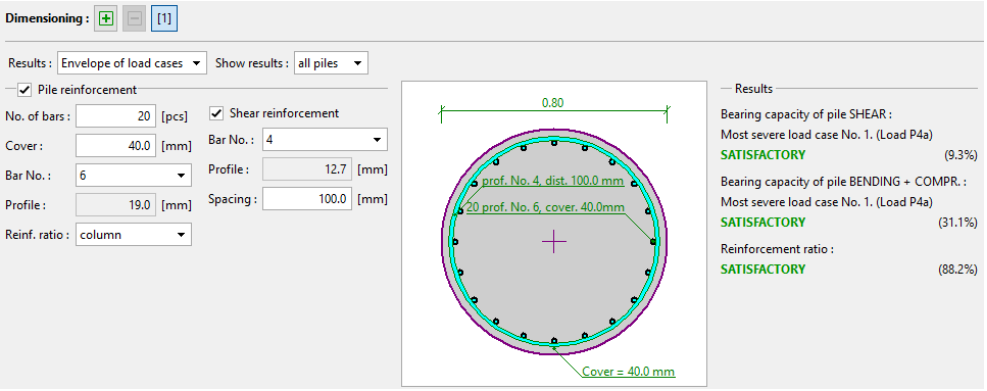
Shear Max = 86.54 kN

Efisiensi Kelompok = $1 - \frac{\theta}{90}\left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn}\right]$

$1 - \frac{18{,}43}{90}\ x\ 1.250$

0.74 (Koreksi Eg Metode Converse & Labarre)

8. Analisis Kapasitas Tulangan Terpasang Daerah Momen Maksimum.



Gambar 4. 82 Hasil Analisis Tulangan P4a

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Verification of cross section in bending and compression:
Most severe load case No. 1. (Load P4a)
Pile diameter: d=0.80m
Reinforcement - 20 pc bar No. 6; cover 40.0 mm
Type of structure (reinforcement ratio) : column
Reinforcement ratio ρ = 1.134 % > 1.000 % = ρ_{min}
Load : P_u = 1183.37 kN (compression) ; M_u = 294.06 kNm
Bearing capacity : ϕP_n = 3803.27 kN; ϕM_n = 945.09 kNm
Designed pile reinforcement is SATISFACTORY
Verification of cross section in shear:
Most severe load case No. 1. (Load P4a)
Shear reinf. - bar No. 4; spacing 100.0 mm
A_v = 2 x 1266.8 = 2533.5 mm²
Ultimate shear force: ϕV_n = 933.95 kN > 86.54 kN = V_u
Cross-section is SATISFACTORY.
only minimal shear reinforcement

Gambar 4. 83 Verifikasi Tulangan P4a

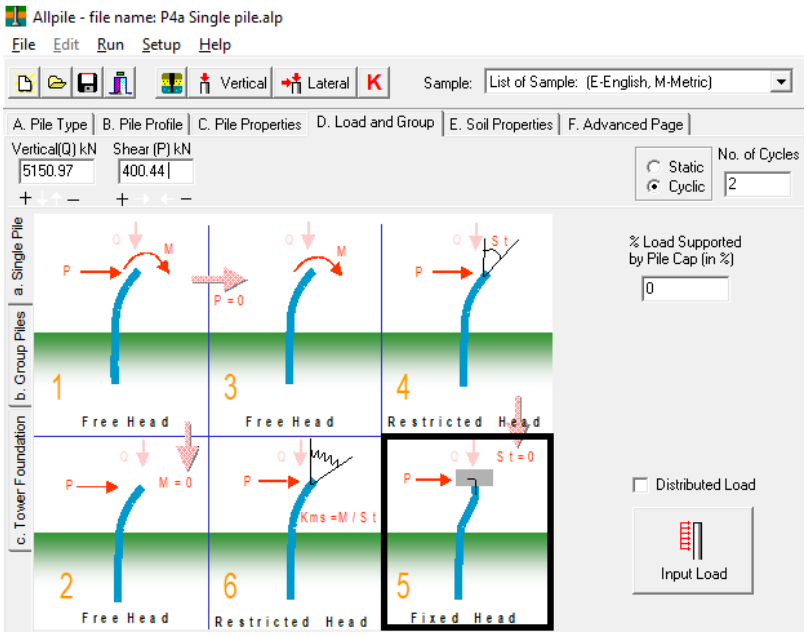
(Sumber : Pemodelan GEO5)

9. Pemeriksaan rasio daya dukung dilakukan untuk memastikan keamanan fondasi terhadap beban yang bekerja. Kontrol Rasio Qg > 1, Daya dukung fondasi memenuhi, Qg < 1, menggunakan Metode Mayerhof.

$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmax} = \frac{0.74\text{x}5024.81}{1183.37} = 3.16\ (OK\ Aman)$$

10. Evaluasi defleksi lateral dan penurunan (*settlement*) pada tiang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak **Allpile 7.0**.

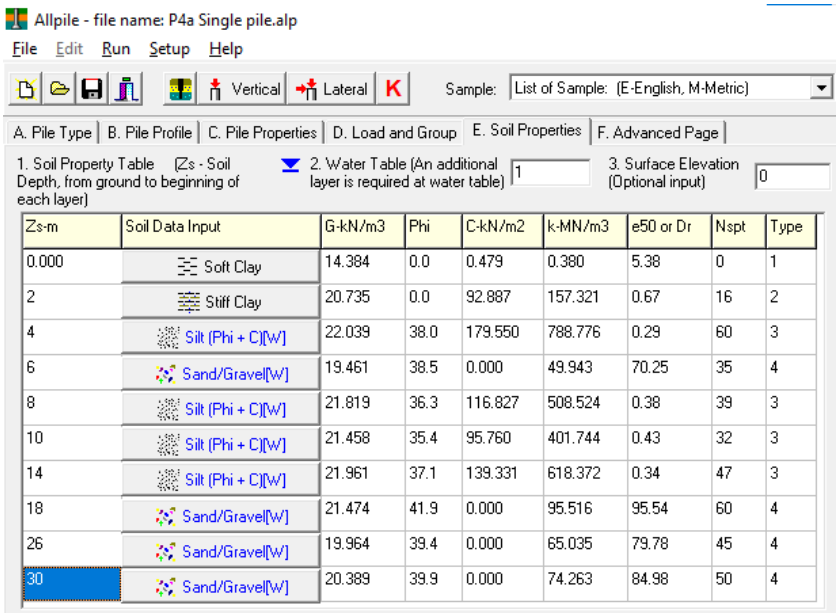
    - Evaluasi defleksi lateral dianalisis berdasarkan pendekatan tiang tunggal (*single pile*) dengan memasukkan parameter pembebanan sebagai berikut:



Gambar 4. 84 Memasukan Beban Layan ke Single Pile

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Penentuan parameter dan profil data tanah diselaraskan dengan hasil pengujian *Bore Hole* yang dipilih

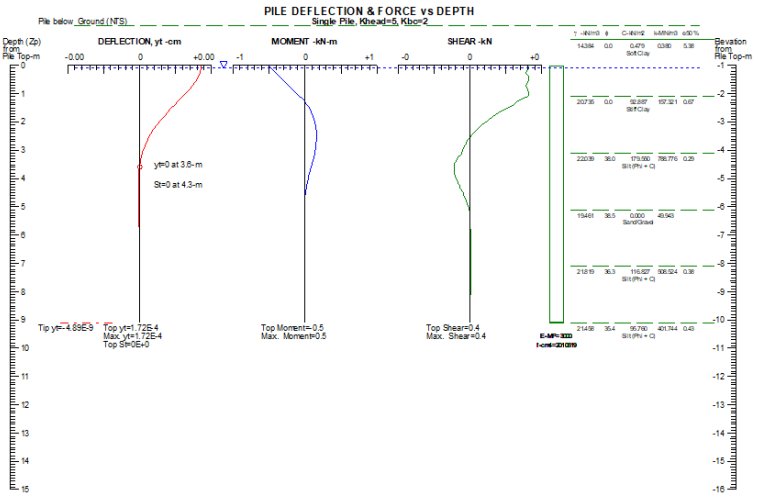


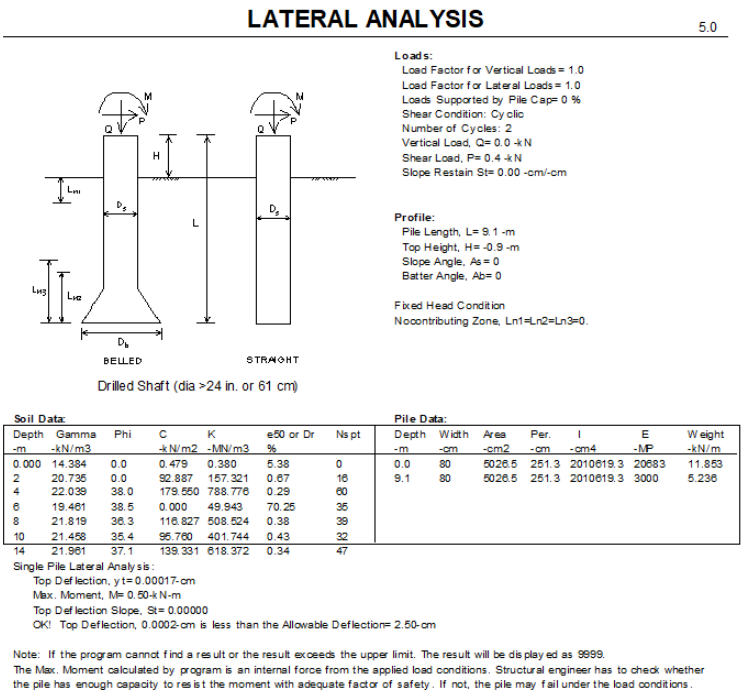
Zs-m	Soil Data Input	G-kN/m3	Phi	C-kN/m2	k-MN/m3	e50 or Dr	Nspt	Type
0.000	Soft Clay	14.384	0.0	0.479	0.380	5.38	0	1
2	Stiff Clay	20.735	0.0	92.887	157.321	0.67	16	2
4	Silt (Phi + C)[W]	22.039	38.0	179.550	788.776	0.29	60	3
6	Sand/Gravel[W]	19.461	38.5	0.000	49.943	70.25	35	4
8	Silt (Phi + C)[W]	21.819	36.3	116.827	508.524	0.38	39	3
10	Silt (Phi + C)[W]	21.458	35.4	95.760	401.744	0.43	32	3
14	Silt (Phi + C)[W]	21.961	37.1	139.331	618.372	0.34	47	3
18	Sand/Gravel[W]	21.474	41.9	0.000	95.516	95.54	60	4
26	Sand/Gravel[W]	19.964	39.4	0.000	65.035	79.78	45	4
30	Sand/Gravel[W]	20.389	39.9	0.000	74.263	84.98	50	4

Gambar 4. 85 Parameter dan Profil Tanah

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Analisis Defleksi Lateral.





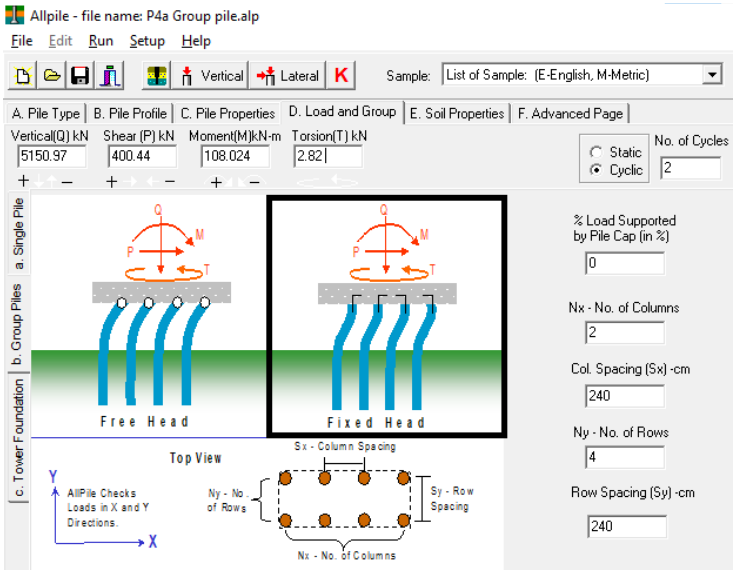
Gambar 4. 86 Hasil Analisis Defleksi Lateral

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Defleksi lateral = 0.00 mm

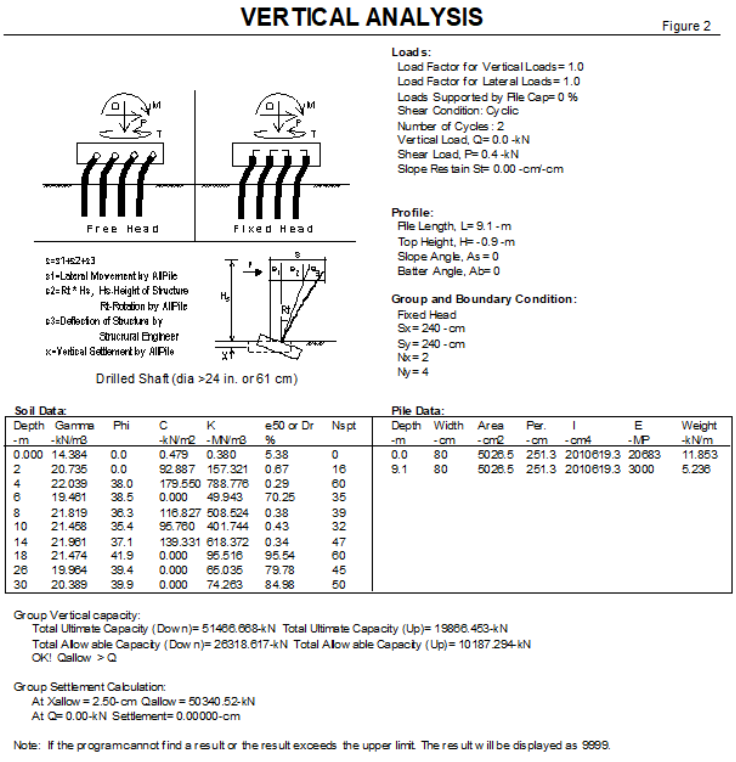
Kesimpulan = Memenuhi

- Analisis penurunan (*settlement*) ditinjau berdasarkan perilaku kelompok tiang (*group pile*). Penurunan fondasi yang diijinkan adalah sebesar 2.5 cm (SNI 8460:2017).



Gambar 4. 87 Input Beban P4a untuk Group Pile

(Sumber : Pemodelan AllPile)



Gambar 4. 88 Hasil Analisis Setlement

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Setlement = 0.00 mm (Memenuhi)

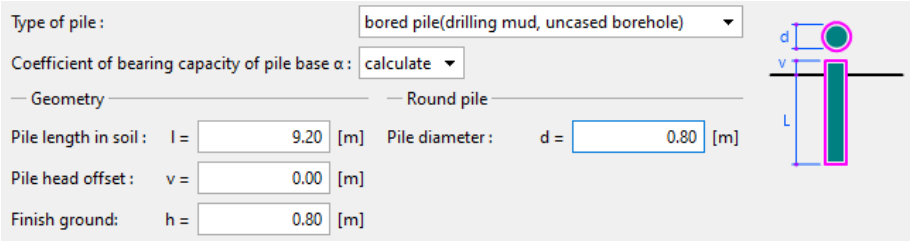
Tabel 4. 37 Ringkasan Hasil Analisis Fondasi Tipe P4a

	Hasil Kontrol	Nilai Rujukan	Keterangan
Rasio Daya Dukung Tekan	3.16	> 1,00	Aman
Penulangan *Bore pile*	ΦMn < Mu	ΦMn > Mu	Aman
Setlement	0.00 mm	< 25 mm (NAVFAC DM 7.02 (*Founda ons and Earth Structures*))	Aman
Defleksi Lateral	0.00 mm	< 25 mm (SNI 8460:2017)	Aman

(Sumber : Data Penulis)

4.4.2.6 Kasus P5

1. Hitung daya dukung tiang tunggal menggunakan analisis *Pile CPT*.
2. Pemodelan struktur tiang wajib disesuaikan dengan *Shop Drawing*.



Gambar 4. 89 Pemodelan Pile CPT (GEO5)

(Sumber : Pemodelan GEO5)

3. Analisis dilakukan dengan menginput tiga data *Bore Hole*, di mana nilai daya dukung terkecil yang diperoleh digunakan sebagai acuan. Spesifikasi tiang disesuaikan secara presisi dengan desain eksisting, yaitu diameter 80 cm dan panjang kedalaman L = 9,2 m. Berdasarkan parameter tersebut, diperoleh nilai daya dukung izin tiang tunggal (P*ijin*) sebagai berikut.

Tabel 4. 38 Hasil Daya Dukung Tanah

Data Tanah	BH 1	BH 2	BH 3
Skin Faction	1994.53 kN	1688.32 kN	1813.18 kN
Point Bearing	6031.86 kN	4724.96 kN	3216.99 kN
Bearing Capacity	8026,39 kN	6413.27 kN	5030.17 kN

(digunakan daya dukung paling kecil)

(Sumber : DEEP DRILLING & SPT TEST.pdf)

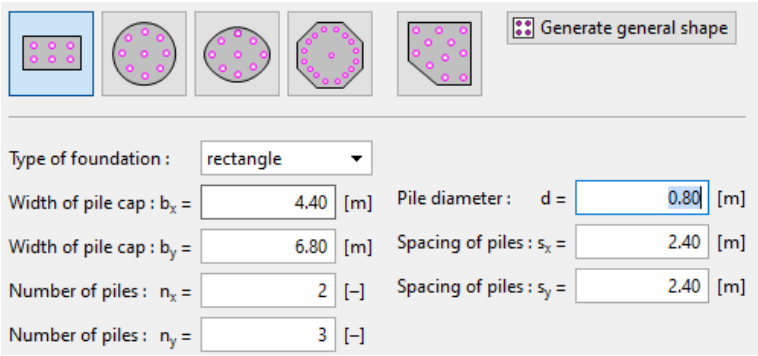
4. Reaksi perletakan (*Joint Reaction*) pada kolom yang ditumpu oleh *Pile Cap* P4a diperoleh dari luaran analisis program SAP2000, dengan mengacu pada *Shop Drawing* Lembar 2 (Denah Fondasi *Pile Cap*). Evaluasi menggunakan kombinasi pembebanan *Envelope* untuk mendapatkan nilai beban maksimum. Sebagai informasi bahwasanya Pile Cap P4a bekerja dengan menopang dua kolom. Yakni pada *Join Reaction*

   - 1040 & 1785.

   Reaksi perletakan dari tiap kelompok kolom dijumlahkan secara kumulatif, kemudian nilai terbesar (maksimum) dari kedua kelompok tersebut diambil sebagai beban rencana dengan hasil sebagai berikut:

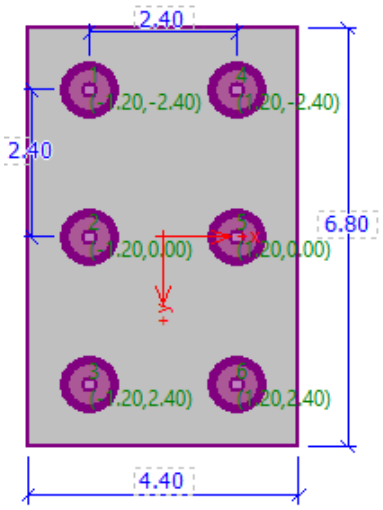
Hx (F^1) = 407.40 kN
Hy (F^2) = 496.56 kN
P (F^3) = 6358.85 kN
Mx (M^1) = 1010.39 kN m
My (M^2) = 769.93 kN m
Mputir = 8.46 kN m (tidak diperhitungkan karena nilainya kecil)

5. Pemodelan konfigurasi tiang pada kelompok tiang (*pile group*) dilakukan dengan mengacu pada ketentuan teknis yang tercantum dalam *Shop Drawing*.



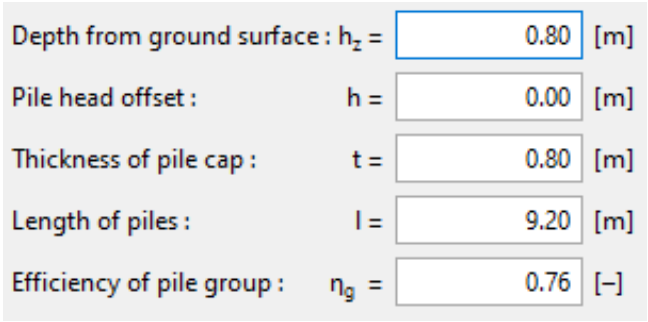
Gambar 4. 90 Pemodelan Stuktur Pile Cap (GEO5)

(Sumber : Pemodelan GEO5)



Gambar 4. 91 Model Stuktur P5 Sesuai Shop Drawing (GEO5)

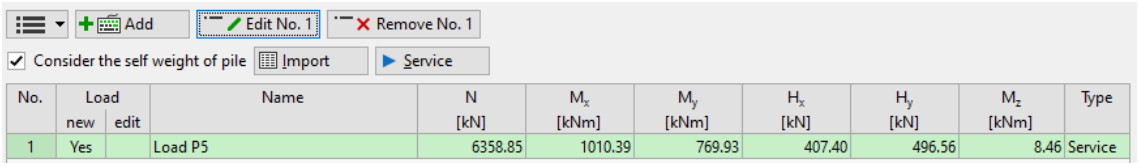
(Sumber : Pemodelan GEO5)



Gambar 4. 92 Geometri P5

(Sumber : Pemodelan GEO5)

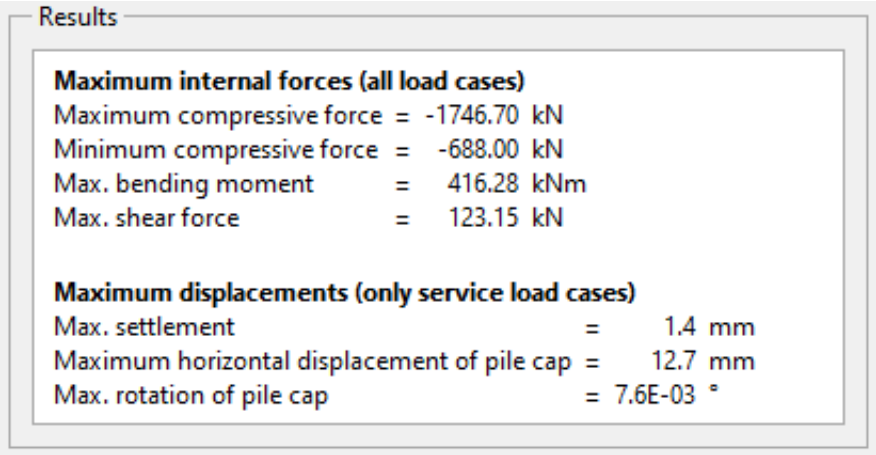
6. Masukan beban layan.



Gambar 4. 93 Memasukan Beban Layan dari SAP2000

(Sumber : Pemodelan GEO5)

7. Analisis dilakukan menggunakan pemodelan *Pile Group* untuk memperoleh besaran gaya aksial maksimum (*P*maks), gaya aksial minimum (*P*min), momen lentur (*bending moment*), dan gaya geser (*shear force*).



Gambar 4. 94 Hasil Analisa P5 (GEO5)

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Pmax = 1746.70 kN

Pmin = 688.00 kN

Bending Momen = 416.28 kN m

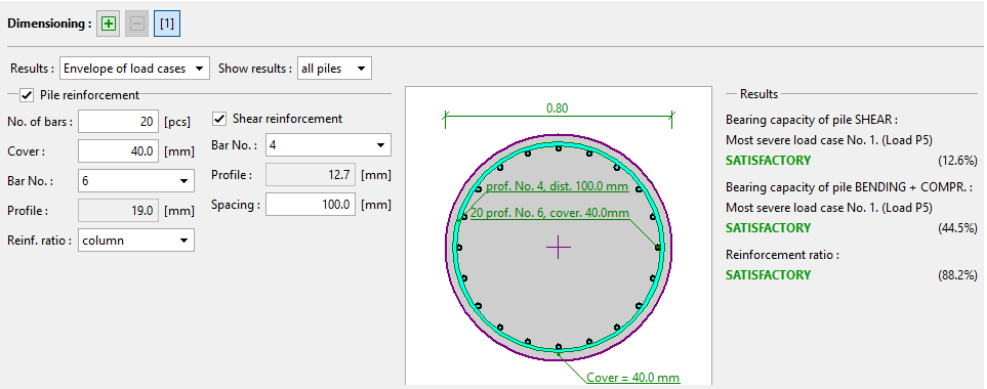
Shear Max = 123.15 kN

Efisiensi Kelompok = $1 - \frac{\theta}{90}[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn}]$

$1 - \frac{18,43}{90}\ x\ 1.167$

0.76 (Koreksi Eg Metode Converse & Labarre)

8. Analisis Kapasitas Tulangan Terpasang Daerah Momen Maksimum.



Gambar 4. 95 Hasil Analisa Tulangan P5

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Verification of cross section in bending and compression:
Most severe load case No. 1. (Load P5)
Pile diameter: d=0.80m
Reinforcement - 20 pc bar No. 6; cover 40.0 mm
Type of structure (reinforcement ratio) : column
Reinforcement ratio ρ = 1.134 % > 1.000 % = ρ_{min}
Load : P_u = 1746.70 kN (compression) ; M_u = 416.28 kNm
Bearing capacity : ϕP_n = 3922.91 kN; ϕM_n = 934.92 kNm
Designed pile reinforcement is SATISFACTORY
Verification of cross section in shear:
Most severe load case No. 1. (Load P5)
Shear reinf. - bar No. 4; spacing 100.0 mm
A_v = 2 x 1266.8 = 2533.5 mm²
Ultimate shear force: ϕV_n = 978.12 kN > 123.15 kN = V_u
Cross-section is SATISFACTORY.
only minimal shear reinforcement

Gambar 4. 96 Verifikasi Tulangan P5

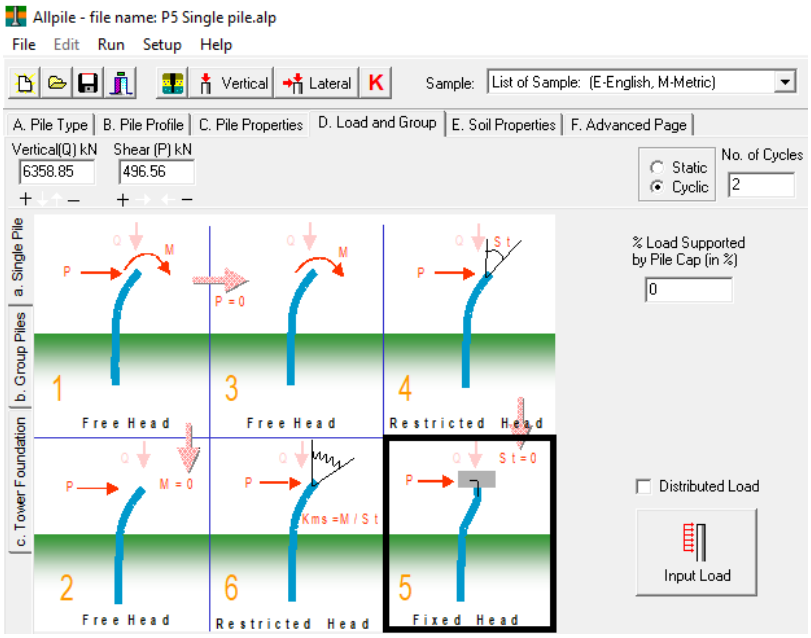
(Sumber : Pemodelan GEO5)

9. Pemeriksaan rasio daya dukung dilakukan untuk memastikan keamanan fondasi terhadap beban yang bekerja. Kontrol Rasio Qg > 1, Daya dukung fondasi memenuhi, Qg < 1, menggunakan Metode Mayerhof.

$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmax} = \frac{0.76\text{x}5030.17}{1746.70} = 2.20\ (OK\ Aman)$$

10. Evaluasi defleksi lateral dan penurunan (*settlement*) pada tiang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak **Allpile 7.0**.

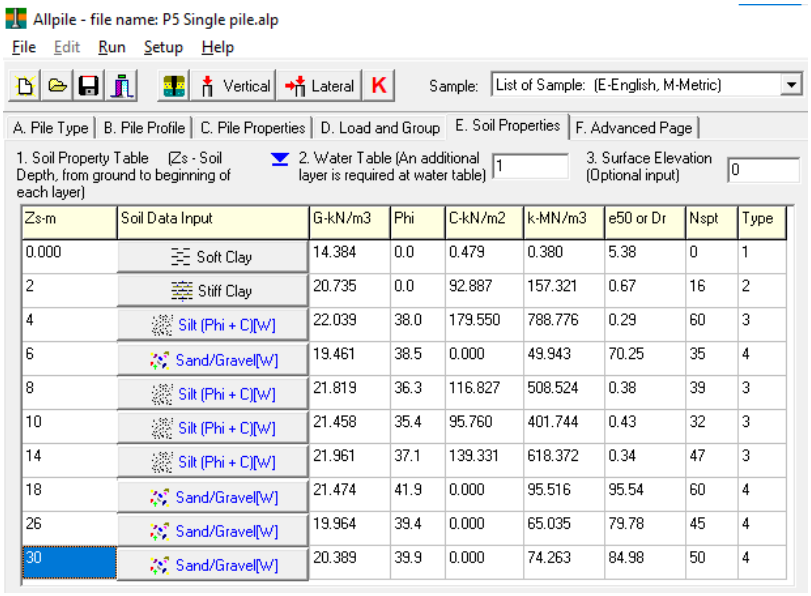
    - Evaluasi defleksi lateral dianalisis berdasarkan pendekatan tiang tunggal (*single pile*) dengan memasukkan parameter pembebanan sebagai berikut:



Gambar 4. 97 Memasukan Beban Layan Single Pile

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Penentuan parameter dan profil data tanah diselaraskan dengan hasil pengujian *Bore Hole* yang dipilih

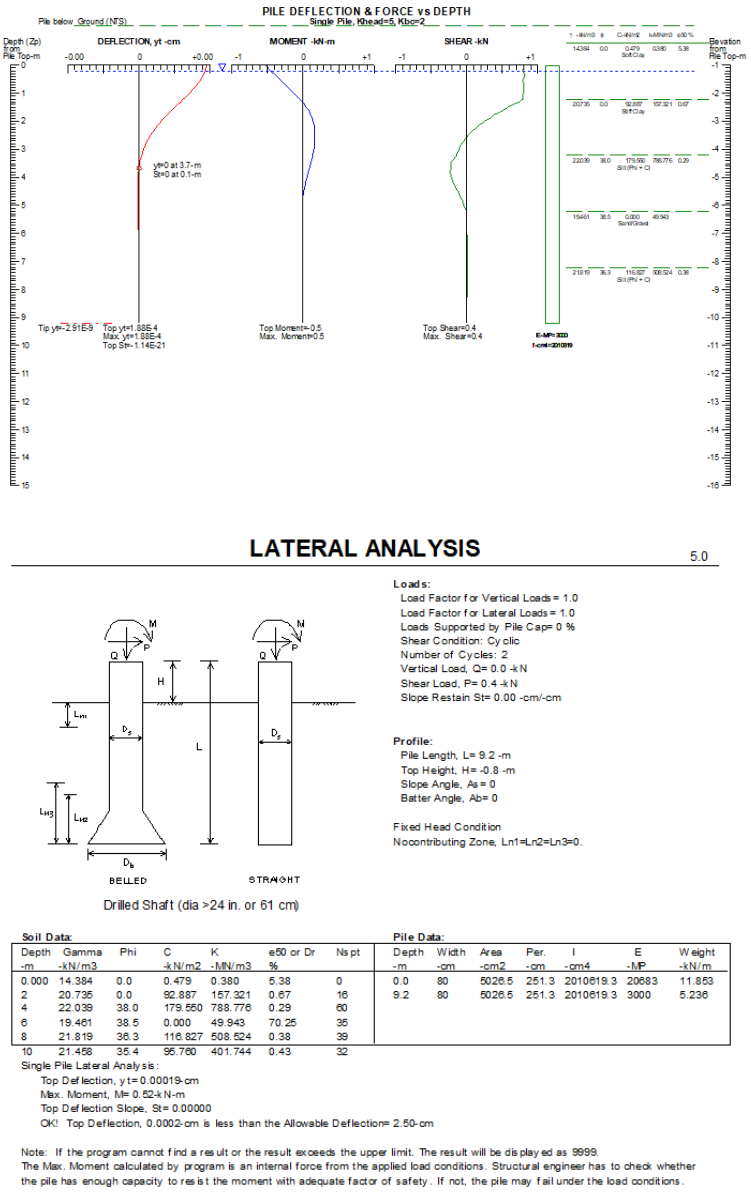


Zs-m	Soil Data Input	G-kN/m3	Phi	C-kN/m2	k-MN/m3	e50 or Dr	Nspt	Type
0.000	Soft Clay	14.384	0.0	0.479	0.380	5.38	0	1
2	Stiff Clay	20.735	0.0	92.887	157.321	0.67	16	2
4	Silt (Phi + C)[W]	22.039	38.0	179.550	788.776	0.29	60	3
6	Sand/Gravel[W]	19.461	38.5	0.000	49.943	70.25	35	4
8	Silt (Phi + C)[W]	21.819	36.3	116.827	508.524	0.38	39	3
10	Silt (Phi + C)[W]	21.458	35.4	95.760	401.744	0.43	32	3
14	Silt (Phi + C)[W]	21.961	37.1	139.331	618.372	0.34	47	3
18	Sand/Gravel[W]	21.474	41.9	0.000	95.516	95.54	60	4
26	Sand/Gravel[W]	19.964	39.4	0.000	65.035	79.78	45	4
30	Sand/Gravel[W]	20.389	39.9	0.000	74.263	84.98	50	4

Gambar 4. 98 Parameter dan Profil Tanah

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Analisis Defleksi Lateral.



Depth -m	Gamma -kN/m3	Phi	C -kN/m2	K -MN/m3	e50 or Dr %	Nspt
0.000	14.384	0.0	0.479	0.380	5.38	0
2	20.735	0.0	92.887	157.321	0.67	16
4	22.039	38.0	179.550	788.776	0.29	60
6	19.461	38.5	0.000	49.943	70.25	35
8	21.819	36.3	116.827	508.524	0.38	39
10	21.458	35.4	95.760	401.744	0.43	32

Depth -m	Width -cm	Area -cm2	Per. -cm	I -cm4	E -MP	Weight -kN/m
0.0	80	5026.5	251.3	2010619.3	20683	11.853
9.2	80	5026.5	251.3	2010619.3	3000	5.236

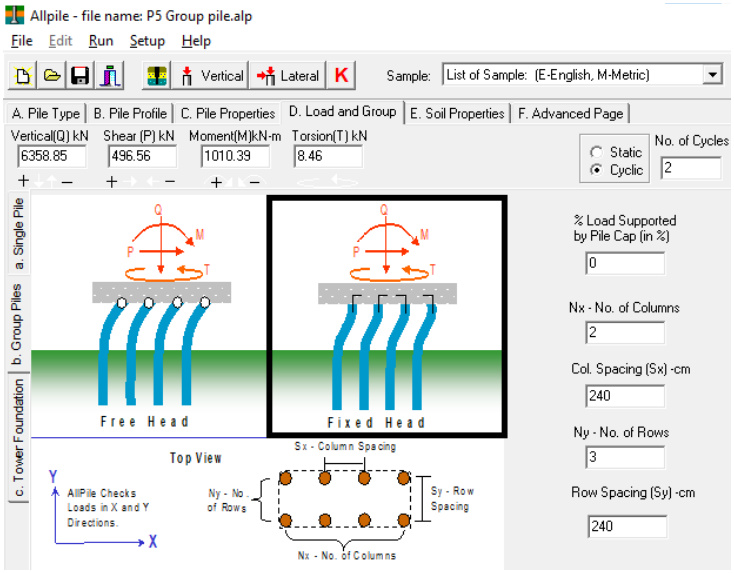
Gambar 4. 99 Hasil Analisis Defleksi Lateral

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Defleksi lateral = 0.00 mm

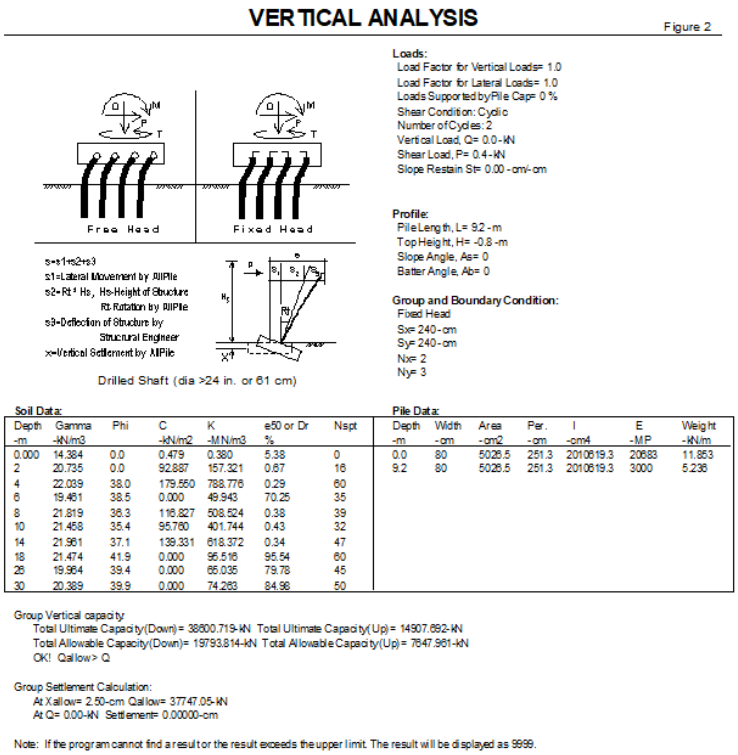
Kesimpulan = Memenuhi

- Analisis penurunan (*settlement*) ditinjau berdasarkan perilaku kelompok tiang (*group pile*). Penurunan fondasi yang diijinkan adalah sebesar 2.5 cm (SNI 8460:2017).



Gambar 4. 100 Input Pembebanan P5 untuk Group Pile

(Sumber : Pemodelan AllPile)



VERTICAL ANALYSIS

Figure 2

Loads:
Load Factor for Vertical Loads= 1.0
Load Factor for Lateral Loads= 1.0
Loads Supported by Pile Cap= 0 %
Shear Condition: Cyclic
Number of Cycles: 2
Vertical Load, Q= 0.0 -kN
Shear Load, P= 0.4 -kN
Slope Restain St= 0.00 -cm/-cm

Profile:
Pile Length, L= 9.2 -m
Top Height, H= -0.8 -m
Slope Angle, As= 0
Batter Angle, Ab= 0

Group and Boundary Condition:
Fixed Head
Sx= 240 -cm
Sy= 240 -cm
Nx= 2
Ny= 3

Free Head Fixed Head

s=s1+s2+s3
s1=Lateral Movement by AllPile
s2=Rt * Hs, Hs-Height of Structure
Rt: Rotation by AllPile
s3=Deflection of Structure by Structural Engineer
x=Vertical Settlement by AllPile

Drilled Shaft (dia >24 in. or 61 cm)

Soil Data:

Depth -m	Gamma -kN/m3	Phi	C -kN/m2	K -MN/m3	e50 or Dr %	Nspt
0.000	14.384	0.0	0.479	0.380	5.38	0
2	20.735	0.0	92.887	157.321	0.67	16
4	22.039	38.0	179.550	788.776	0.29	60
6	19.461	38.5	0.000	49.943	70.25	35
8	21.819	36.3	116.827	508.524	0.38	39
10	21.458	35.4	95.760	401.744	0.43	32
14	21.961	37.1	139.331	618.372	0.34	47
18	21.474	41.9	0.000	95.516	95.54	60
26	19.964	39.4	0.000	65.035	79.78	45
30	20.389	39.9	0.000	74.263	84.98	50

Pile Data:

Depth -m	Width -cm	Area -cm2	Per. -cm	I -cm4	E -MP	Weight -kN/m
0.0	80	5026.5	251.3	2010619.3	20683	11.853
9.2	80	5026.5	251.3	2010619.3	3000	5.236

Group Vertical capacity
Total Ultimate Capacity(Down)= 38600.719-kN Total Ultimate Capacity(Up)= 14907.692-kN
Total Allowable Capacity(Down)= 19793.814-kN Total Allowable Capacity(Up)= 7647.961-kN
OK! Qallow > Q

Group Settlement Calculation:
At Xallow= 2.50-cm Qallow= 37747.05-kN
At Q= 0.00-kN Settlement= 0.00000-cm

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.

Gambar 4. 101 Hasil analisis Setlement

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Setlement = 0.00 mm (Memenuhi)

Tabel 4. 39 Ringkasan Hasil Analisis Fondasi Tipe P5

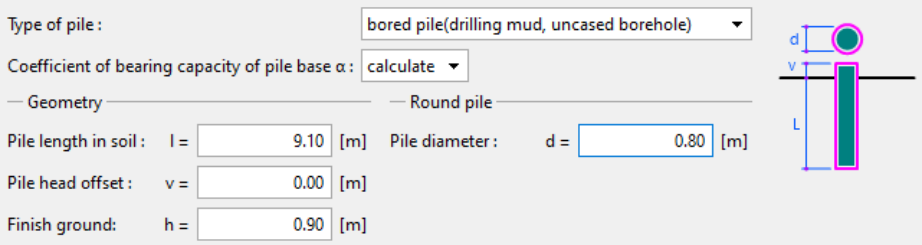
	Hasil Kontrol	Nilai Rujukan	Keterangan
Rasio Daya Dukung Tekan	2.20	> 1,00	Aman
Penulangan *Bore pile*	ΦMn < Mu	ΦMn > Mu	Aman
Setlement	0.00 mm	< 25 mm (NAVFAC DM 7.02 (*Founda ons and Earth Structures*))	Aman
Defleksi Lateral	0.00 mm	< 25 mm (SNI 8460:2017)	Aman

(Sumber : Data Penulis)

4.4.2.7 Kasus P5a

1. Hitung daya dukung tiang tunggal menggunakan analisis Pile CPT.

2. Pemodelan struktur tiang wajib disesuaikan dengan Shop Drawing.



Gambar 4. 102 Pemodelan Pile CPT diaplikasi GEO5

(Sumber : Pemodelan GEO5)

3. Analisis dilakukan dengan menginput tiga data *Bore Hole*, di mana nilai daya dukung terkecil yang diperoleh digunakan sebagai acuan. Spesifikasi tiang disesuaikan secara presisi dengan desain eksisting, yaitu diameter 80 cm dan panjang kedalaman L = 9,1 m. Berdasarkan parameter tersebut, diperoleh nilai daya dukung izin tiang tunggal (P*ijin*) sebagai berikut.

Tabel 4. 40 Hasil dari Daya Dukung Tanah

Data Tanah	BH 1	BH 2	BH 3
Skin Faction	1986.62 kN	1683.18 kN	1807.82 kN
Point Bearing	6031.86 kN	4724.96 kN	3216.99 kN
Bearing Capacity	8018.48kN	6408.13 kN	5024.81 kN

(digunakan daya dukung paling kecil)

(Sumber : DEEP DRILLING & SPT TEST.pdf)

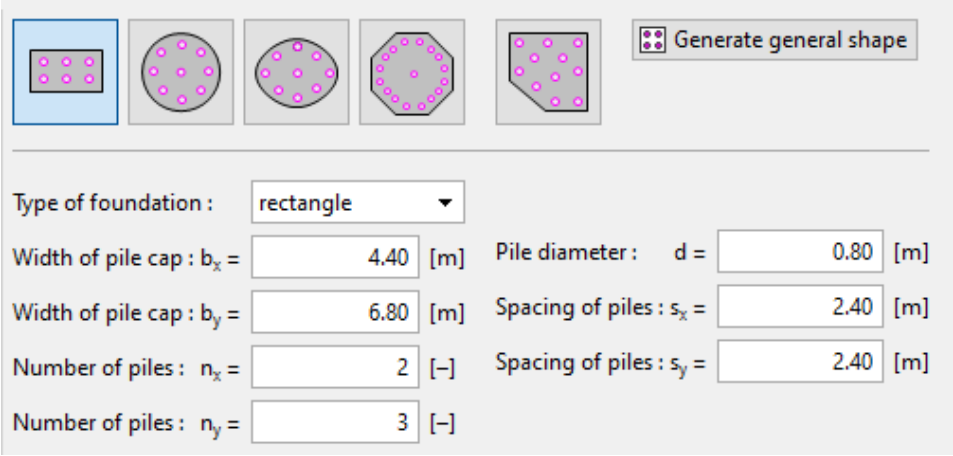
4. Reaksi perletakan (*Joint Reaction*) pada kolom yang ditumpu oleh *Pile Cap* P5a diperoleh dari luaran analisis program SAP2000, dengan mengacu pada *Shop Drawing* Lembar 2 (Denah Fondasi *Pile Cap*). Evaluasi menggunakan kombinasi pembebanan *Envelope* untuk mendapatkan nilai beban maksimum. Sebagai informasi bahwasanya Pile Cap P5a bekerja dengan menopang dua kolom. Yakni pada *Join Reaction* :

   - 955 & 1116

     Reaksi perletakan dari tiap kelompok kolom dijumlahkan secara kumulatif, kemudian nilai terbesar (maksimum) dari kedua kelompok tersebut diambil sebagai beban rencana dengan hasil sebagai berikut:

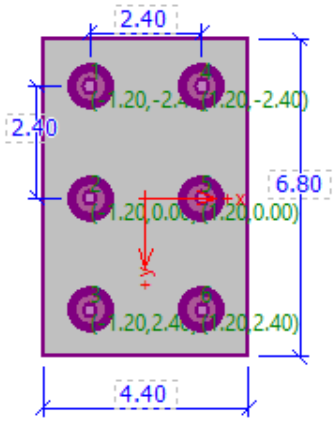
     Hx (F^1) = 501.23 kN
     Hy (F^2) = 718.22 kN
     P (F^3) = 4649.66 kN
     Mx (M^1) = 923.35 kN m
     My (M^2) = 766.55 kN m
     Mputir = 8.46 kN m (tidak diperhitungkan karena nilainya kecil)

5. Pemodelan konfigurasi tiang pada kelompok tiang (*pile group*) dilakukan dengan mengacu pada ketentuan teknis yang tercantum dalam *Shop Drawing*.



Gambar 4. 103 Pemodelan Struktur Pile Cap diGEO5

(Sumber : Pemodelan GEO5)



Gambar 4. 104 Model Stuktur P2 Sesuai Shop Drawing

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Depth from ground surface : h_z =	0.90	[m]
Pile head offset :	h =	0.00	[m]
Thickness of pile cap :	t =	0.90	[m]
Length of piles :	l =	9.10	[m]
Efficiency of pile group :	η_g =	0.76	[–]

Gambar 4. 105 Geometri P5

(Sumber : Pemodelan GEO5)

6. Masukan beban layan.

Add | Edit No. 1 | Remove No. 1

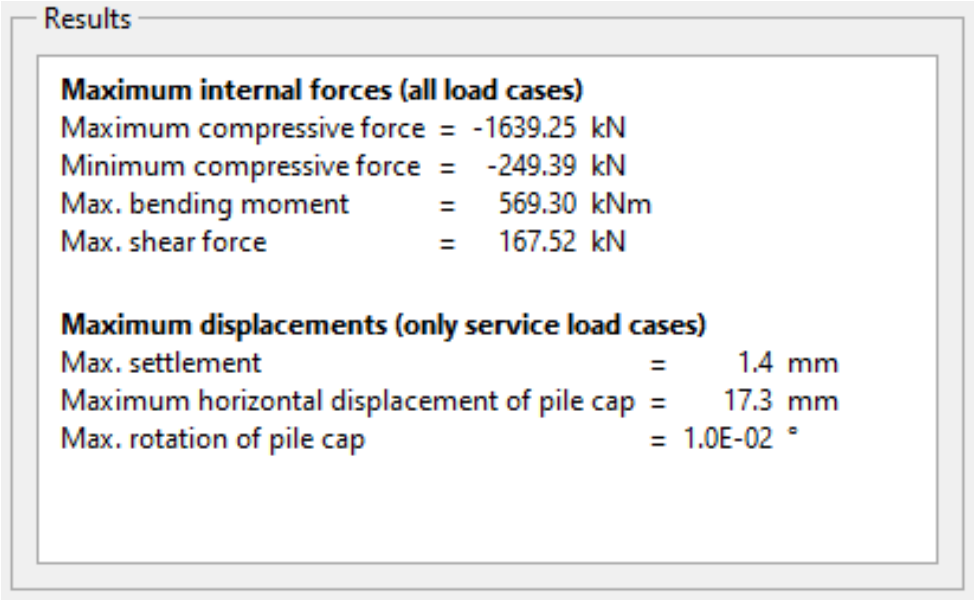
Consider the self weight of pile | Import | Service

No.	Load new	Load edit	Name	N [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	H_x [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	Type
1	Yes		Load P5a	4649.66	923.35	766.55	501.23	718.22	8.46	Service

Gambar 4. 106 Input Beban Layan dari Hasil SAP2000

(Sumber : Pemodelan GEO5)

7. Analisis dilakukan menggunakan pemodelan *Pile Group* untuk memperoleh besaran gaya aksial maksimum (P_{maks}), gaya aksial minimum (P_{min}), momen lentur (*bending moment*), dan gaya geser (*shear force*).



Gambar 4. 107 Hasil Analisa P5a di Aplikasi GEO5

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Pmax = 1639.25 kN

Pmin = 249.39 kN

Bending Momen = 569.30 kN m

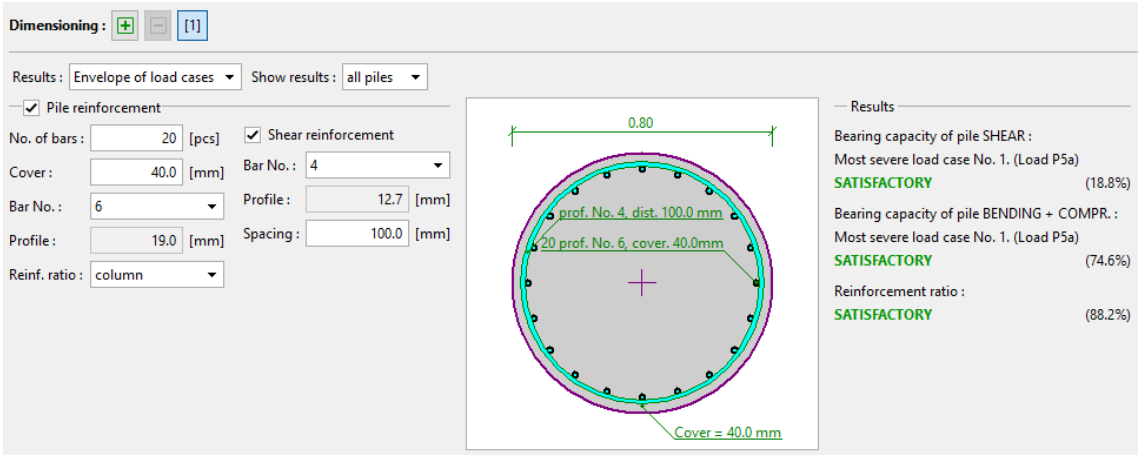
Shear Max = 167.53 kN

Efisiensi Kelompok = $1 - \frac{\theta}{90}\left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn}\right]$

$1 - \frac{18{,}43}{90}\ x\ 1.167$

0.76 (Koreksi Eg Metode Converse & Labarre)

8. Analisis Kapasitas Tulangan Terpasang Daerah Momen Maksimum.



Gambar 4. 108 Hasil Analisa Tulangan P5a

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Verification of cross section in bending and compression:
Most severe load case No. 1. (Load P5a)
Pile diameter: d=0.80m
Reinforcement - 20 pc bar No. 6; cover 40.0 mm
Type of structure (reinforcement ratio) : column
Reinforcement ratio ρ = 1.134 % > 1.000 % = ρ_{min}
Load : P_u = 249.39 kN (compression) ; M_u = 569.30 kNm
Bearing capacity : ϕP_n = 334.28 kN; ϕM_n = 763.10 kNm
Designed pile reinforcement is SATISFACTORY
Verification of cross section in shear:
Most severe load case No. 1. (Load P5a)
Shear reinf. - bar No. 4; spacing 100.0 mm
A_v = 2 x 1266.8 = 2533.5 mm²
Ultimate shear force: ϕV_n = 890.40 kN > 167.52 kN = V_u
Cross-section is SATISFACTORY.
only minimal shear reinforcement

Gambar 4. 109 Verifikasi Tulangan P5a

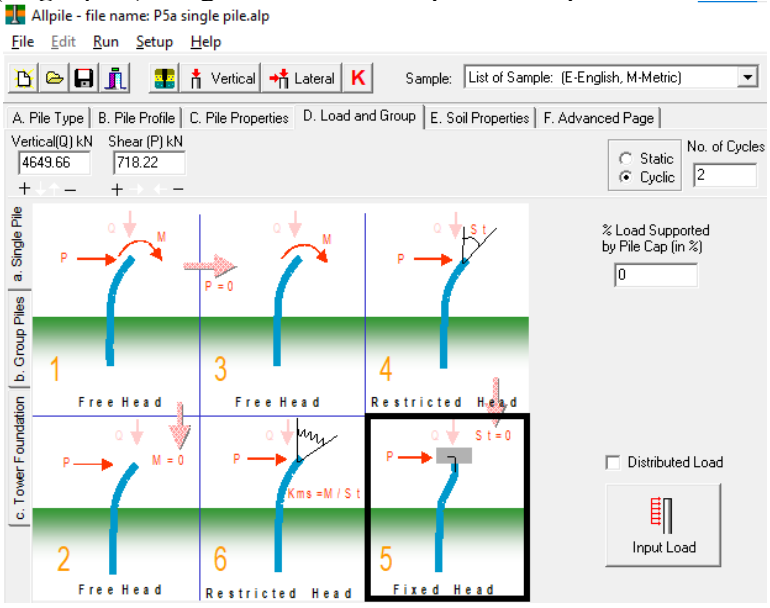
(Sumber : Pemodelan GEO5)

9. Pemeriksaan rasio daya dukung dilakukan untuk memastikan keamanan fondasi terhadap beban yang bekerja. Kontrol Rasio Qg > 1, Daya dukung fondasi memenuhi, Qg < 1, menggunakan Metode Mayerhof.

$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmax} = \frac{0.76\text{x}5024.81}{1639.25} = 2.33\ (OK\ Aman)$$

10. Evaluasi defleksi lateral dan penurunan (*settlement*) pada tiang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak **Allpile 7.0**.

- Evaluasi defleksi lateral dianalisis berdasarkan pendekatan tiang tunggal (*single pile*) dengan memasukkan parameter pembebanan sebagai berikut:



Gambar 4. 110 Input Beban P5a Single Pile

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Penentuan parameter dan profil data tanah diselaraskan dengan hasil pengujian *Bore Hole* yang dipilih.

Allpile - file name: P5a single pile.alp

File Edit Run Setup Help

Vertical Lateral K Sample: List of Sample: (E-English, M-Metric)

A. Pile Type | B. Pile Profile | C. Pile Properties | D. Load and Group | E. Soil Properties | F. Advanced Page

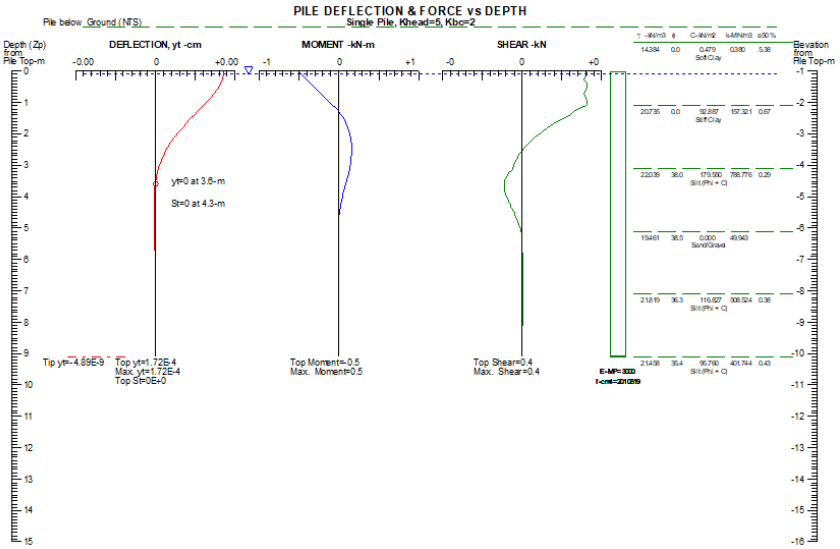
1. Soil Property Table (Zs - Soil Depth, from ground to beginning of each layer) 2. Water Table (An additional layer is required at water table) 1 3. Surface Elevation (Optional input) 0

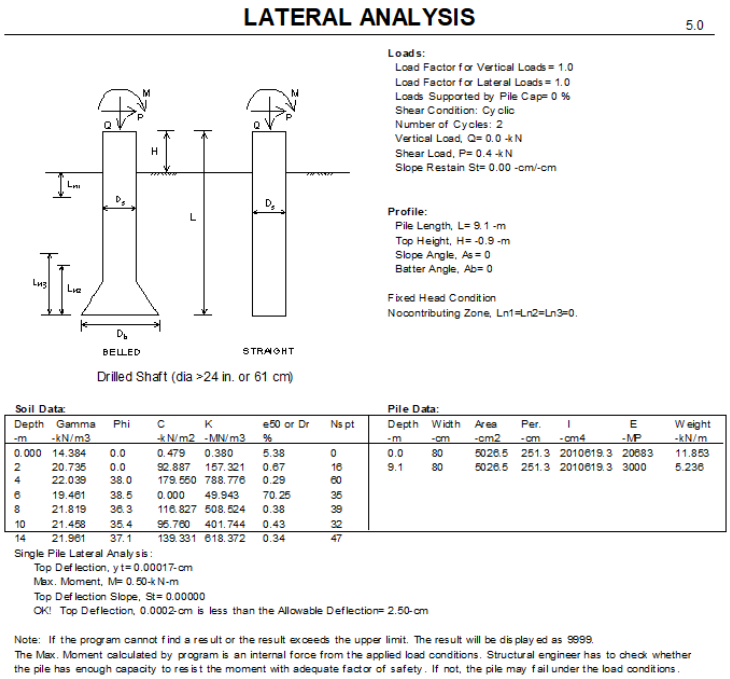
Zs-m	Soil Data Input	G-kN/m3	Phi	C-kN/m2	k-MN/m3	e50 or Dr	Nspt	Type
0.000	Soft Clay	14.384	0.0	0.479	0.380	5.38	0	1
2	Stiff Clay	20.735	0.0	92.887	157.321	0.67	16	2
4	Silt (Phi + C)[W]	22.039	38.0	179.550	788.776	0.29	60	3
6	Sand/Gravel[W]	19.461	38.5	0.000	49.943	70.25	35	4
8	Silt (Phi + C)[W]	21.819	36.3	116.827	508.524	0.38	39	3
10	Silt (Phi + C)[W]	21.458	35.4	95.760	401.744	0.43	32	3
14	Silt (Phi + C)[W]	21.961	37.1	139.331	618.372	0.34	47	3
18	Sand/Gravel[W]	21.474	41.9	0.000	95.516	95.54	60	4
26	Sand/Gravel[W]	19.964	39.4	0.000	65.035	79.78	45	4
30	Sand/Gravel[W]	20.389	39.9	0.000	74.263	84.98	50	4

Gambar 4. 111 Parameter dan Profil Tanah

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Analisis Defleksi Lateral.





LATERAL ANALYSIS 5.0

Loads:
Load Factor for Vertical Loads = 1.0
Load Factor for Lateral Loads = 1.0
Loads Supported by Pile Cap= 0 %
Shear Condition: Cyclic
Number of Cycles: 2
Vertical Load, Q= 0.0 -kN
Shear Load, P= 0.4 -kN
Slope Restain St= 0.00 -cm/-cm

Profile:
Pile Length, L= 9.1 -m
Top Height, H= -0.9 -m
Slope Angle, As= 0
Batter Angle, Ab= 0

Fixed Head Condition
Nocontributing Zone, Ln1=Ln2=Ln3=0.

BELLED STRAIGHT

Drilled Shaft (dia >24 in. or 61 cm)

Soil Data:

Depth -m	Gamma -kN/m3	Phi	C -kN/m2	K -MN/m3	e50 or Dr %	Nspt
0.000	14.384	0.0	0.479	0.380	5.38	0
2	20.735	0.0	92.887	157.321	0.67	16
4	22.039	38.0	179.550	788.776	0.29	60
6	19.461	38.5	0.000	49.943	70.25	35
8	21.819	36.3	116.827	508.524	0.38	39
10	21.458	35.4	95.760	401.744	0.43	32
14	21.961	37.1	139.331	618.372	0.34	47

Pile Data:

Depth -m	Width -cm	Area -cm2	Per. -cm	I -cm4	E -MP	Weight -kN/m
0.0	80	5026.5	251.3	2010619.3	20683	11.853
9.1	80	5026.5	251.3	2010619.3	3000	5.236

Single Pile Lateral Analysis:
Top Deflection, y t= 0.00017-cm
Max. Moment, M= 0.50-kN-m
Top Deflection Slope, St= 0.00000
OK! Top Deflection, 0.0002-cm is less than the Allowable Deflection= 2.50-cm

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.
The Max. Moment calculated by program is an internal force from the applied load conditions. Structural engineer has to check whether the pile has enough capacity to resist the moment with adequate factor of safety. If not, the pile may fail under the load conditions.

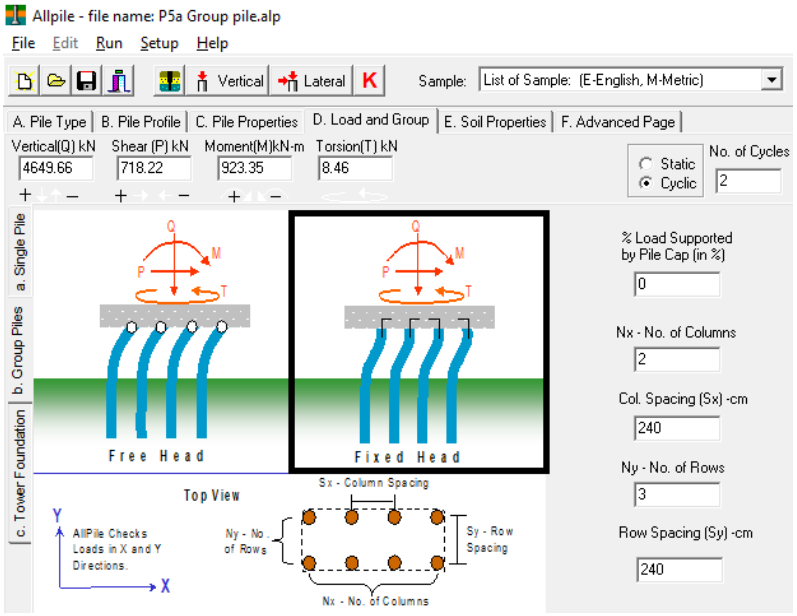
Gambar 4. 112 Hasil Anlisis Defleksi Lateral

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Defleksi lateral = 0.00 mm

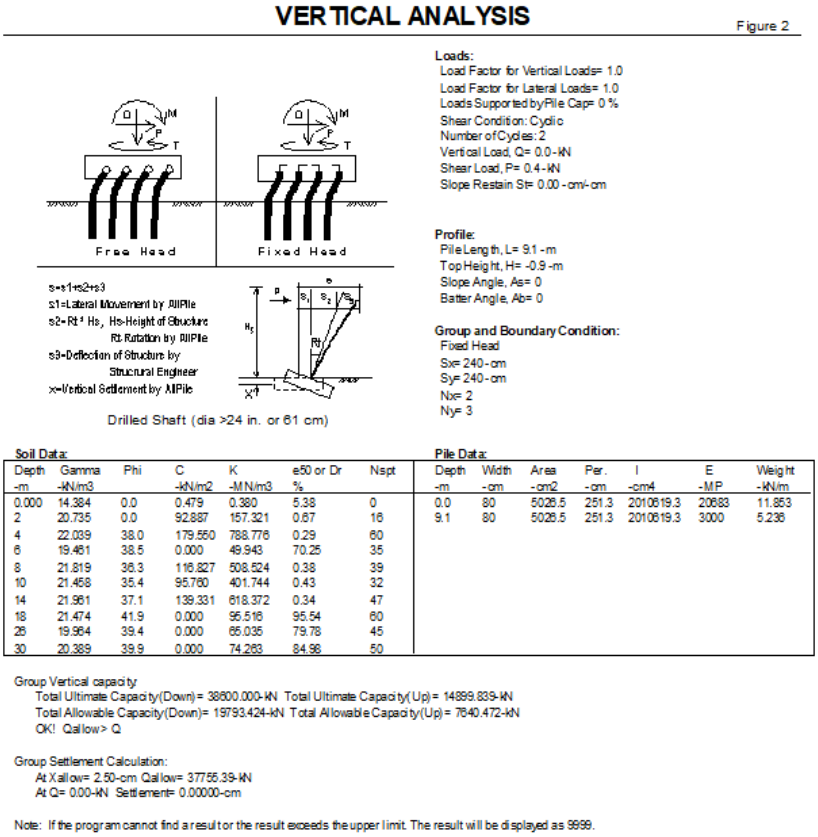
Kesimpulan = Memenuhi

- Analisis penurunan (*settlement*) ditinjau berdasarkan perilaku kelompok tiang (*group pile*). Penurunan fondasi yang diijinkan adalah sebesar 2.5 cm (SNI 8460:2017).



Gambar 4. 113 Input Beban P5a GroupPile

(Sumber : Pemodelan AllPile)



Gambar 4. 114 Hasil Analisis Setlement

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Setlement = 0.00 mm (Memenuhi)

Tabel 4. 41 Ringkasan Hasil Analisis Fondasi Tipe P5a

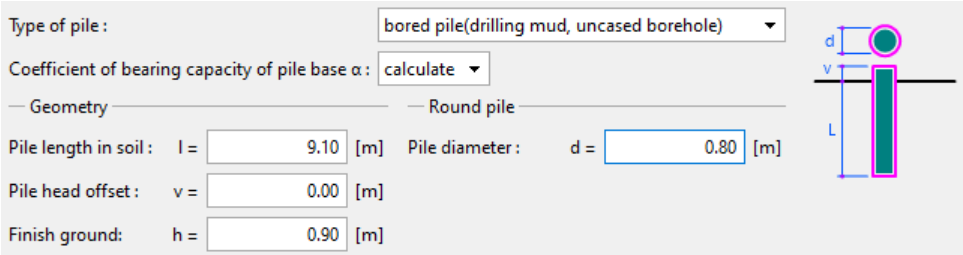
	Hasil Kontrol	Nilai Rujukan	Keterangan
Rasio Daya Dukung Tekan	2.33	> 1,00	Aman
Penulangan *Bore pile*	ΦMn < Mu	ΦMn > Mu	Aman
Setlement	0.00 mm	< 25 mm (NAVFAC DM 7.02 (*Founda ons and Earth Structures*))	Aman
Defleksi Lateral	0.00 mm	< 25 mm (SNI 8460:2017)	Aman

(Sumber : Data Penulis)

4.4.2.8 Kasus P6

1. Hitung daya dukung tiang tunggal menggunakan analisis *Pile CPT*.

2. Pemodelan struktur tiang wajib disesuaikan dengan *Shop Drawing*.



Gambar 4. 115 Pemodelan Pile CPT diAplikasi GEO5

(Sumber : Pemodelan GEO5)

3. Analisis dilakukan dengan menginput tiga data *Bore Hole*, di mana nilai daya dukung terkecil yang diperoleh digunakan sebagai acuan. Spesifikasi tiang disesuaikan secara presisi dengan desain eksisting, yaitu diameter 80 cm dan panjang kedalaman L = 9,1 m. Berdasarkan parameter tersebut, diperoleh nilai daya dukung izin tiang tunggal (P*ijin*) sebagai berikut.

Tabel 4. 42 Daya Dukung Tanah

Data Tanah	BH 1	BH 2	BH 3
Skin Faction	1986.62 kN	1683.18 kN	1807.82 kN
Point Bearing	6031.86 kN	4724.96 kN	3216.99 kN
Bearing Capacity	8018.48kN	6408.13 kN	5024.81 kN

(digunakan daya dukung paling kecil)

(Sumber : DEEP DRILLING & SPT TEST.pdf)

4. Reaksi perletakan (*Joint Reaction*) pada kolom yang ditumpu oleh *Pile Cap* P6 diperoleh dari luaran analisis program SAP2000, dengan mengacu pada *Shop Drawing* Lembar 2 (Denah Fondasi *Pile Cap*). Evaluasi menggunakan kombinasi pembebanan *Envelope* untuk mendapatkan nilai beban maksimum. Sebagai informasi bahwasanya Pile Cap P6 bekerja dengan menopang tiga kolom. Yakni pada *Join Reaction* :

- 922, 1032 & 1034

Reaksi perletakan dari tiap kelompok kolom dijumlahkan secara kumulatif, kemudian nilai terbesar (maksimum) dari kedua kelompok tersebut diambil sebagai beban rencana dengan hasil sebagai berikut:

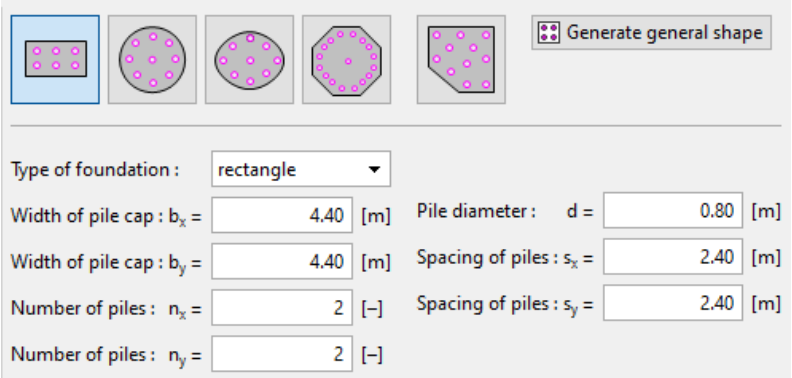
Hx (F^1) = 306.32 kN
Hy (F^2) = 209.33 kN
P (F^3) = 5306.23 kN

Mx (M^1) = 612.15 kN m

My (M^2) = 555.75 kN m

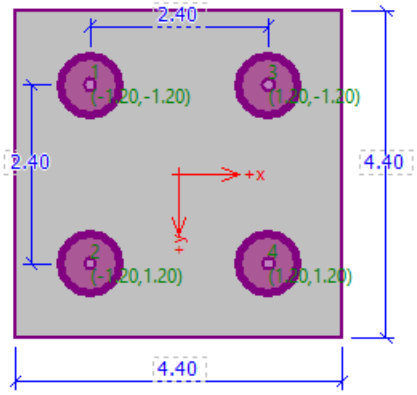
Mputir = 5.58 kN m (tidak diperhitungkan karena nilainya kecil)

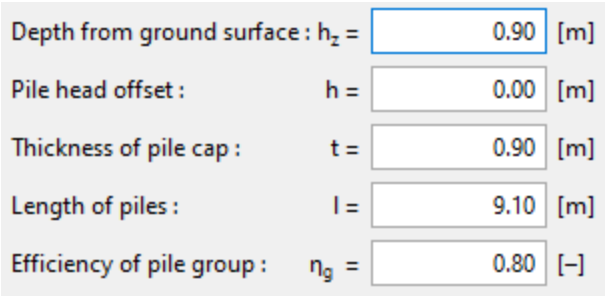
5. Pemodelan konfigurasi tiang pada kelompok tiang (*pile group*) dilakukan dengan mengacu pada ketentuan teknis yang tercantum dalam *Shop Drawing*.



Gambar 4. 116 Pemodelan Struktur Pile Cap diGEO5

(Sumber : Pemodelan GEO5)

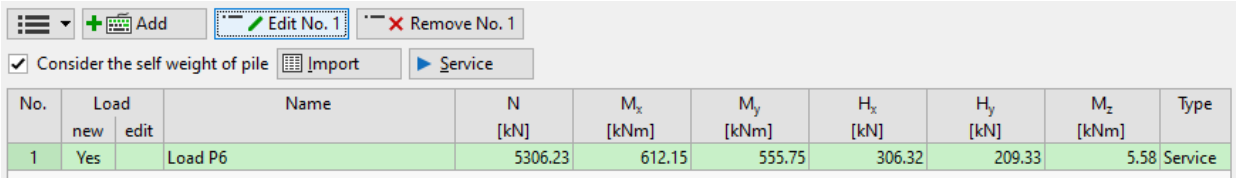




Gambar 4. 117 Geometri P6

(Sumber : Pemodelan GEO5)

6. Masukan beban layan.

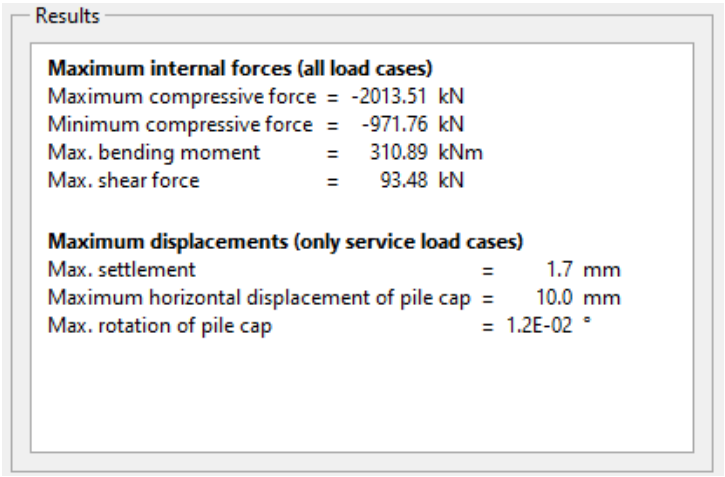


No.	Load		Name	N	M_x	M_y	H_x	H_y	M_z	Type
	new	edit		[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]	
1	Yes		Load P6	5306.23	612.15	555.75	306.32	209.33	5.58	Service

Gambar 4. 118 Beban Lanyan dari hasil SAP2000

(Sumber : Pemodelan GEO5)

7. Analisis dilakukan menggunakan pemodelan *Pile Group* untuk memperoleh besaran gaya aksial maksimum (P_{maks}), gaya aksial minimum (P_{min}), momen lentur (*bending moment*), dan gaya geser (*shear force*).



Gambar 4. 119 Hasil Analisa P6 dari GEO5

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Pmax = 2013.51 kN

Pmin = 971.76 kN

Bending Momen = 310.89 kN m

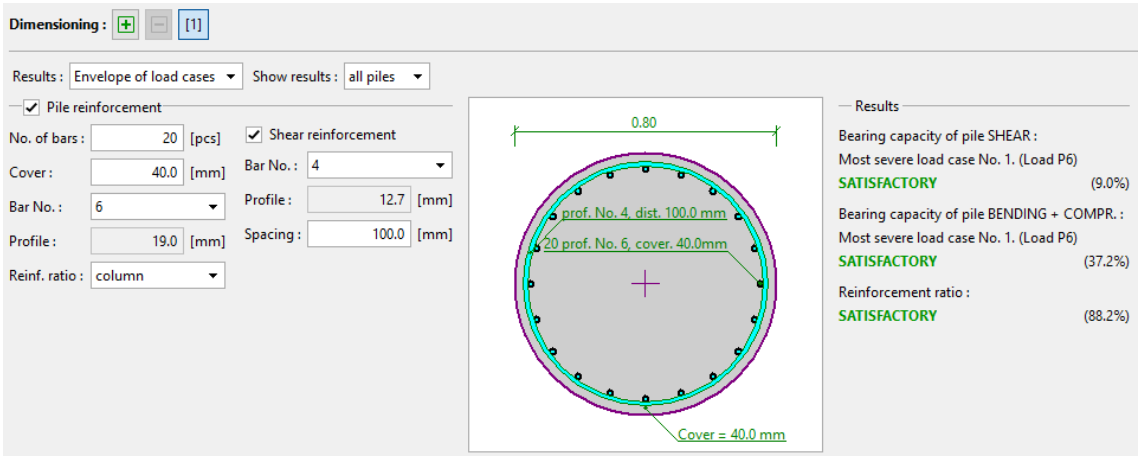
Shear Max = 93.48 kN

Efisiensi Kelompok = $1 - \frac{\theta}{90}\left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn}\right]$

$1 - \frac{18{,}43}{90}\ x\ 1.000$

0.80 (Koreksi Eg Metode Converse & Labarre)

8. Analisis Kapasitas Tulangan Terpasang Daerah Momen Maksimum.



Gambar 4. 120 Hasil Analisa Tulangan pada P6

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Verification of cross section in bending and compression:
Most severe load case No. 1. (Load P6)
Pile diameter: d=0.80m
Reinforcement - 20 pc bar No. 6; cover 40.0 mm
Type of structure (reinforcement ratio) : column
Reinforcement ratio ρ = 1.134 % > 1.000 % = ρ_{min}
Load : P_u = 2013.51 kN (compression) ; M_u = 310.89 kNm
Bearing capacity : ϕP_n = 5407.76 kN; ϕM_n = 834.97 kNm
Designed pile reinforcement is SATISFACTORY
Verification of cross section in shear:
Most severe load case No. 1. (Load P6)
Shear reinf. - bar No. 4; spacing 100.0 mm
A_v = 2 x 1266.8 = 2533.5 mm²
Ultimate shear force: ϕV_n = 1034.88 kN > 93.48 kN = V_u
Cross-section is SATISFACTORY.
only minimal shear reinforcement

Verifikasi Tualagan P6

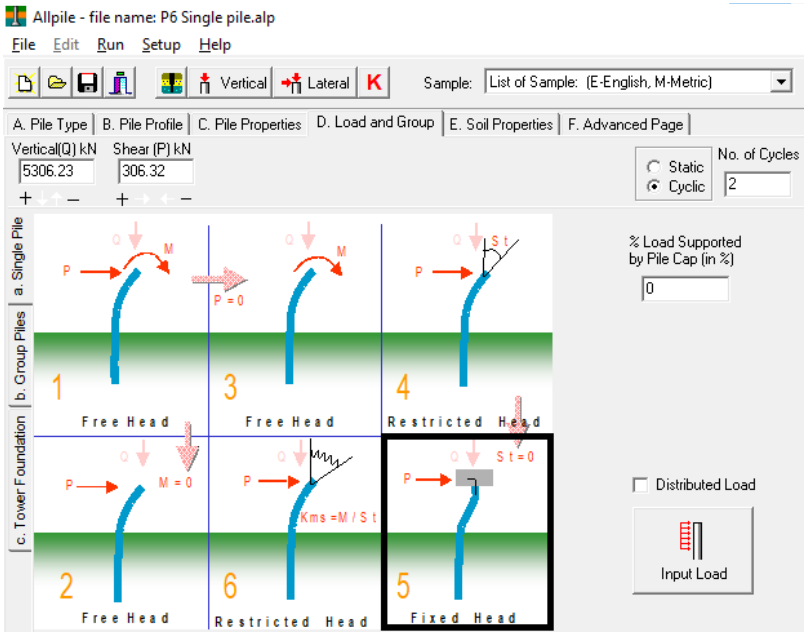
(Sumber : Pemodelan GEO5)

9. Pemeriksaan rasio daya dukung dilakukan untuk memastikan keamanan fondasi terhadap beban yang bekerja. Kontrol Rasio Qg > 1, Daya dukung fondasi memenuhi, Qg < 1, menggunakan Metode Mayerhof.

$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmax} = \frac{0.80\text{x}5024.81}{2013.51} = 1.98\ (OK\ Aman)$$

10. Evaluasi defleksi lateral dan penurunan (*settlement*) pada tiang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak **Allpile 7.0**.

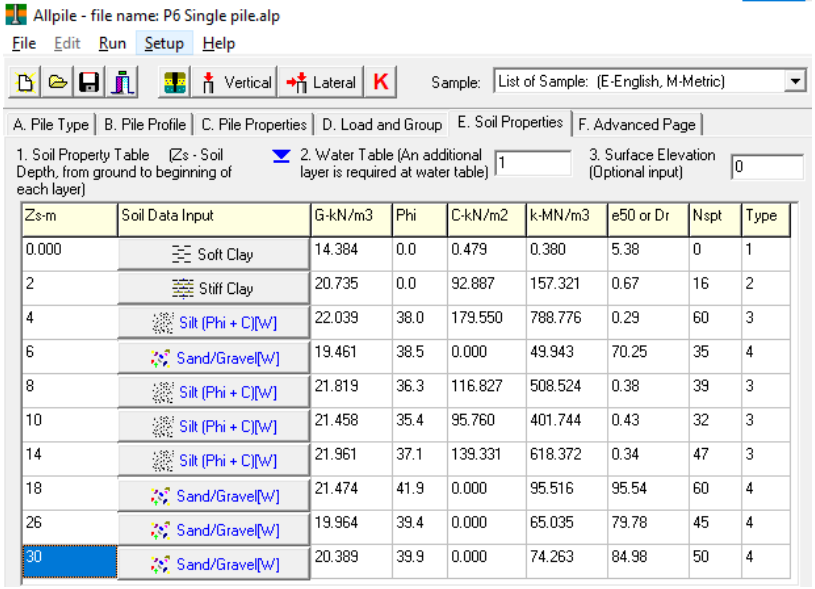
    - Evaluasi defleksi lateral dianalisis berdasarkan pendekatan tiang tunggal (*single pile*) dengan memasukkan parameter pembebanan sebagai berikut:



Gambar 4. 121 Single Pile P6

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Penentuan parameter dan profil data tanah diselaraskan dengan hasil pengujian *Bore Hole* yang dipilih.

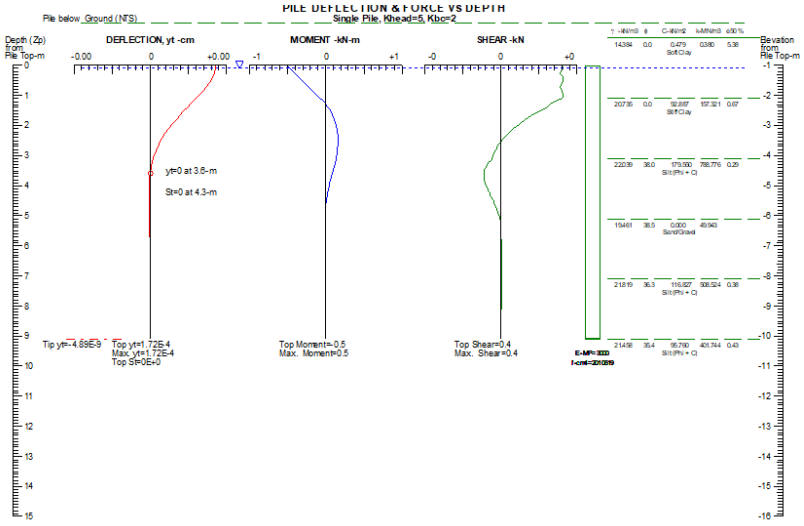


Zs-m	Soil Data Input	G-kN/m3	Phi	C-kN/m2	k-MN/m3	e50 or Dr	Nspt	Type
0.000	Soft Clay	14.384	0.0	0.479	0.380	5.38	0	1
2	Stiff Clay	20.735	0.0	92.887	157.321	0.67	16	2
4	Silt (Phi + C)[W]	22.039	38.0	179.550	788.776	0.29	60	3
6	Sand/Gravel[W]	19.461	38.5	0.000	49.943	70.25	35	4
8	Silt (Phi + C)[W]	21.819	36.3	116.827	508.524	0.38	39	3
10	Silt (Phi + C)[W]	21.458	35.4	95.760	401.744	0.43	32	3
14	Silt (Phi + C)[W]	21.961	37.1	139.331	618.372	0.34	47	3
18	Sand/Gravel[W]	21.474	41.9	0.000	95.516	95.54	60	4
26	Sand/Gravel[W]	19.964	39.4	0.000	65.035	79.78	45	4
30	Sand/Gravel[W]	20.389	39.9	0.000	74.263	84.98	50	4

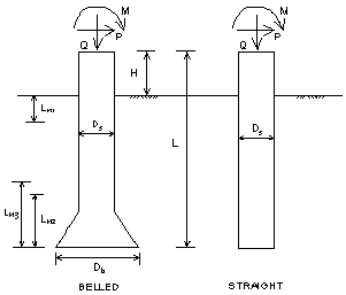
Gambar 4. 122 Parameter dan Profil Tanah

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Analisis Defleksi Lateral.



LATERAL ANALYSIS 5.0



Drilled Shaft (dia >24 in. or 61 cm)

Loads:
Load Factor for Vertical Loads = 1.0
Load Factor for Lateral Loads = 1.0
Loads Supported by Pile Cap= 0 %
Shear Condition: Cyclic
Number of Cycles: 2
Vertical Load, Q= 0.0 -kN
Shear Load, P= 0.4 -kN
Slope Restain St= 0.00 -cm/-cm

Profile:
Pile Length, L= 9.1 -m
Top Height, H= -0.9 -m
Slope Angle, As= 0
Batter Angle, Ab= 0

Fixed Head Condition
Nocontributing Zone, Ln1=Ln2=Ln3=0.

Soil Data:

Depth -m	Gamma -kN/m3	Phi	C -kN/m2	K -MN/m3	e50 or Dr %	Ns pt
0.000	14.384	0.0	0.479	0.380	5.38	0
2	20.735	0.0	92.887	157.321	0.67	16
4	22.039	38.0	179.550	788.776	0.29	60
6	19.461	38.5	0.000	49.943	70.25	35
8	21.819	36.3	116.827	508.524	0.38	39
10	21.458	35.4	95.760	401.744	0.43	32
14	21.961	37.1	139.331	618.372	0.34	47

Pile Data:

Depth -m	Width -cm	Area -cm2	Per. -cm	I -cm4	E -MP	Weight -kN/m
0.0	80	5026.5	251.3	2010619.3	20683	11.853
9.1	80	5026.5	251.3	2010619.3	3000	5.236

Single Pile Lateral Analysis:
Top Deflection, yt= 0.00017-cm
Max. Moment, M= 0.50-kN-m
Top Deflection Slope, St= 0.00000
OK! Top Deflection, 0.0002-cm is less than the Allowable Deflection= 2.50-cm

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit, the result will be displayed as 9999.
The Max. Moment calculated by program is an internal force from the applied load conditions. Structural engineer has to check whether the pile has enough capacity to resist the moment with adequate factor of safety. If not, the pile may fail under the load conditions.

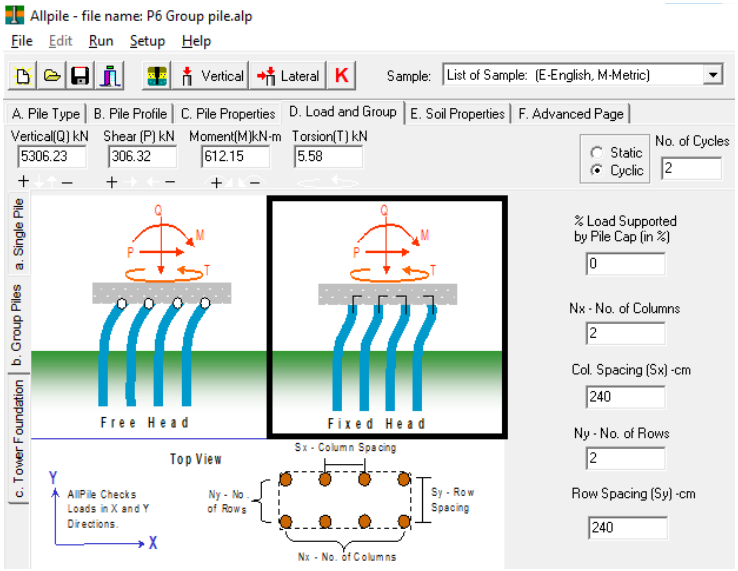
Gambar 4. 123 Hasil Analisa Defleksi Lateral

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Defleksi lateral = 0.00 mm

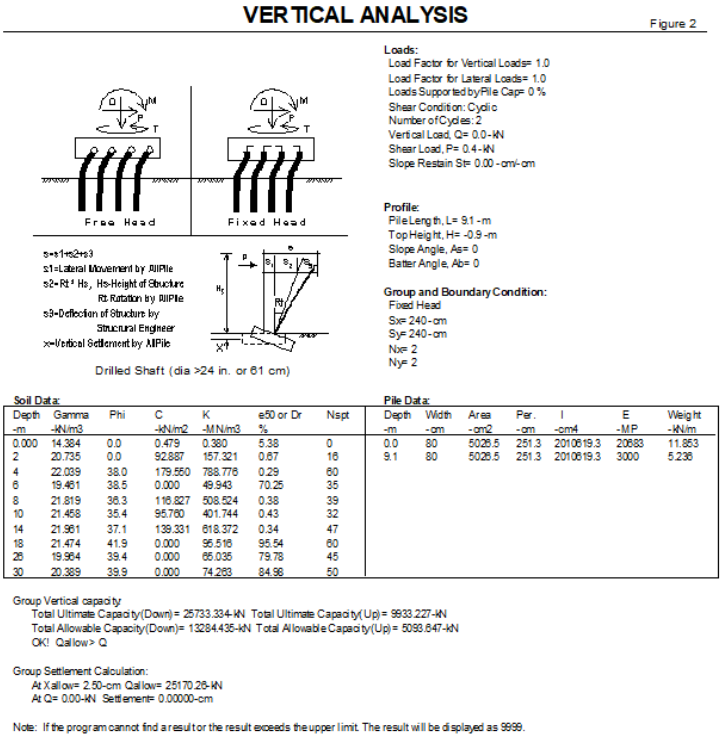
Kesimpulan = Memenuhi

- Analisis penurunan (*settlement*) ditinjau berdasarkan perilaku kelompok tiang (*group pile*). Penurunan fondasi yang diijinkan adalah sebesar 2.5 cm (SNI 8460:2017).



Gambar 4. 124 Input Load P6 untuk Group Pile

(Sumber : Pemodelan GEO5)



Gambar 4. 125 Hasil Analisa Setlement

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Setlement = 0.00 mm (Memenuhi)

Tabel 4. 43 Ringkasan Hasil Analisis Fondasi Tipe P6

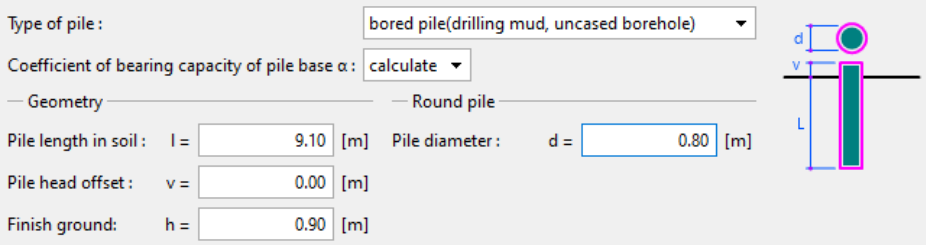
	Hasil Kontrol	Nilai Rujukan	Keterangan
Rasio Daya Dukung Tekan	1.98	> 1,00	Aman
Penulangan *Bore pile*	ΦMn < Mu	ΦMn > Mu	Aman
Setlement	0.00 mm	< 25 mm (NAVFAC DM 7.02 (*Founda ons and Earth Structures*))	Aman
Defleksi Lateral	0.00 mm	< 25 mm (SNI 8460:2017)	Aman

(Sumber : Data Penulis)

4.4.2.9 Kasus P6a

1. Hitung daya dukung tiang tunggal menggunakan analisis *Pile CPT*.

2. Pemodelan struktur tiang wajib disesuaikan dengan *Shop Drawing*.



Gambar 4. 126 Pemodelan Pile CPT diAplikasi GEO5

(Sumber : Pemodelan GEO5)

3. Analisis dilakukan dengan menginput tiga data *Bore Hole*, di mana nilai daya dukung terkecil yang diperoleh digunakan sebagai acuan. Spesifikasi tiang disesuaikan secara presisi dengan desain eksisting, yaitu diameter 80 cm dan panjang kedalaman L = 9,1 m. Berdasarkan parameter tersebut, diperoleh nilai daya dukung izin tiang tunggal (P*ijin*) sebagai berikut.

Tabel 4. 44 Daya Dukung Tanah

Data Tanah	BH 1	BH 2	BH 3
Skin Faction	1986.62 kN	1683.18 kN	1807.82 kN
Point Bearing	6031.86 kN	4724.96 kN	3216.99 kN
Bearing Capacity	8018.48kN	6408.13 kN	5024.81 kN

(digunakan daya dukung paling kecil)

(Sumber : DEEP DRILLING & SPT TEST.pdf)

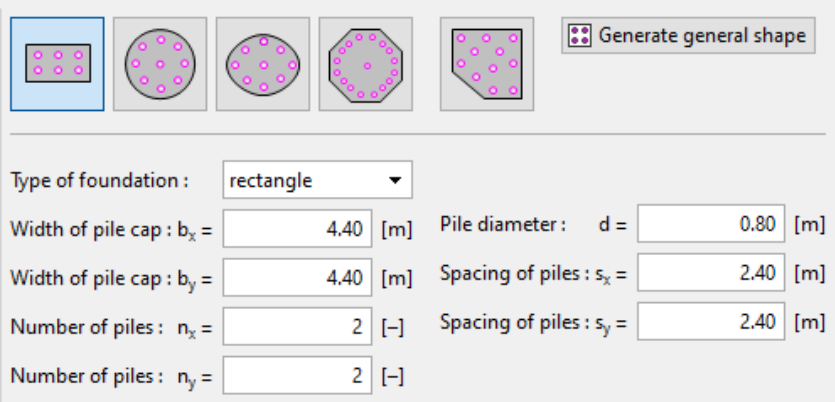
4. Reaksi perletakan (*Joint Reaction*) pada kolom yang ditumpu oleh *Pile Cap* P6 diperoleh dari luaran analisis program SAP2000, dengan mengacu pada *Shop Drawing* Lembar 2 (Denah Fondasi *Pile Cap*). Evaluasi menggunakan kombinasi pembebanan *Envelope* untuk mendapatkan nilai beban maksimum. Sebagai informasi bahwasanya Pile Cap P6 bekerja dengan menopang tiga kolom. Yakni pada *Join Reaction* :

- 1050 & 1108

Reaksi perletakan dari tiap kelompok kolom dijumlahkan secara kumulatif, kemudian nilai terbesar (maksimum) dari kedua kelompok tersebut diambil sebagai beban rencana dengan hasil sebagai berikut:

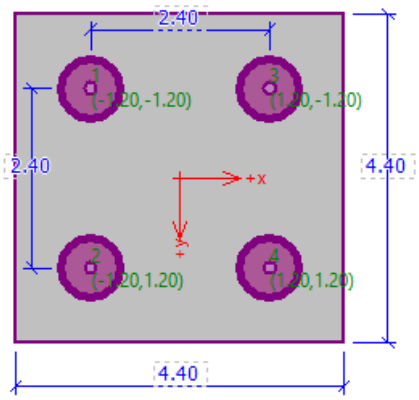
Hx (F^1) = 479.69 kN
Hy (F^2) = 527.80 kN
P (F^3) = 5127.45 kN
Mx (M^1) = 978.12 kN m
My (M^2) = 759.20 kN m
Mputir = 8.46 kN m (tidak diperhitungkan karena nilainya kecil)

5. Pemodelan konfigurasi tiang pada kelompok tiang (*pile group*) dilakukan dengan mengacu pada ketentuan teknis yang tercantum dalam *Shop Drawing*.



Gambar 4. 127 Pemodelan Struktur Pile Cap diGEO5

(Sumber : Pemodelan GEO5)



Depth from ground surface : h_z =	0.90	[m]
Pile head offset :	h =	0.00	[m]
Thickness of pile cap :	t =	0.90	[m]
Length of piles :	l =	9.10	[m]
Efficiency of pile group :	η_g =	0.80	[–]

Gambar 4. 128 Geometri P6a

(Sumber : Pemodelan GEO5)

6. Masukan beban layan.

Add | Edit No. 1 | Remove No. 1

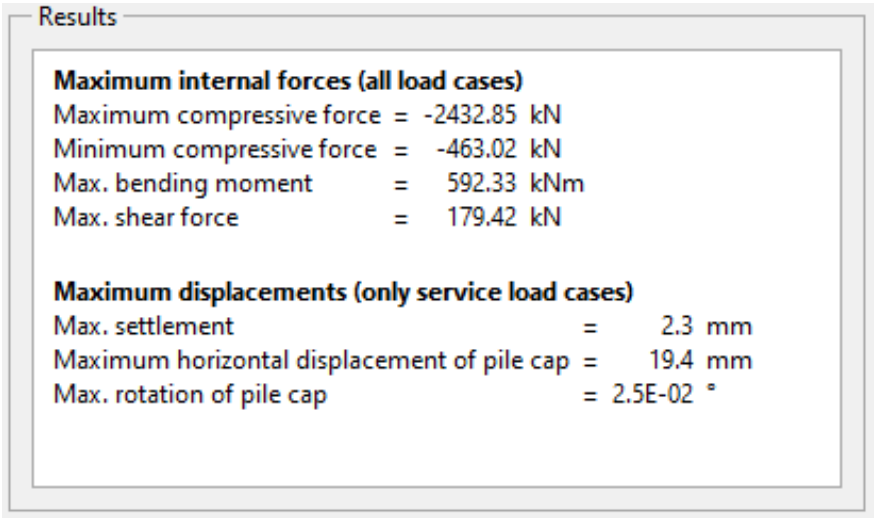
Consider the self weight of pile | Import | Service

No.	Load new	Load edit	Name	N [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	H_x [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	Type
1	Yes		Load P6a	5127.45	978.12	759.20	479.69	527.80	8.46	Service

Gambar 4. 129 Memasukan Beban Layan dari Hasil SAP2000

(Sumber : Pemodelan GEO5)

7. Analisis dilakukan menggunakan pemodelan *Pile Group* untuk memperoleh besaran gaya aksial maksimum (P_{maks}), gaya aksial minimum (P_{min}), momen lentur (*bending moment*), dan gaya geser (*shear force*).



Gambar 4. 130 Hasil Analisa P6a diaplikasi GEO5

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Pmax = 2432.85 kN

Pmin = 463.02 kN

Bending Momen = 592.33 kN m

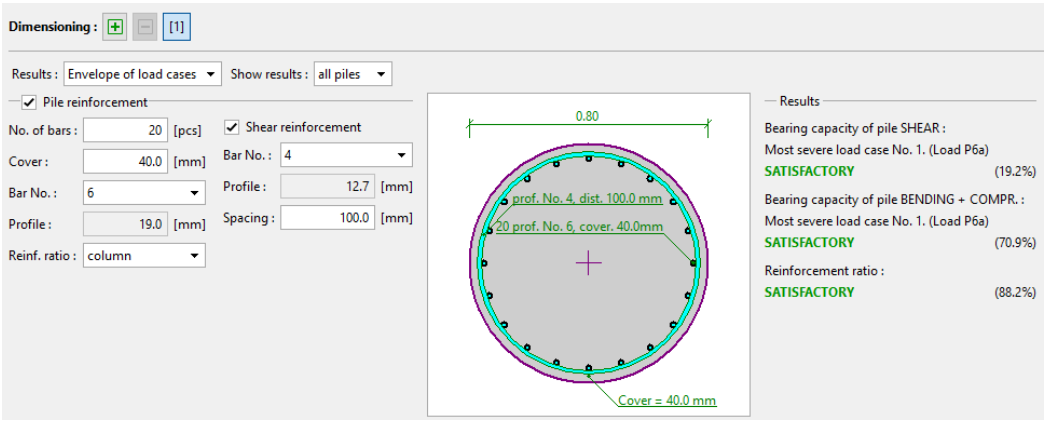
Shear Max = 179.42 kN

Efisiensi Kelompok = $1 - \frac{\theta}{90}\left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn}\right]$

$1 - \frac{18{,}43}{90}\ x\ 1.00$

0.80 (Koreksi Eg Metode Converse & Labarre)

8. Analisis Kapasitas Tulangan Terpasang Daerah Momen Maksimum.



Gambar 4. 131 Hasil Analisa Tulangan pada P6a

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Verification of cross section in bending and compression:
Most severe load case No. 1. (Load P6a)
Pile diameter: d=0.80m
Reinforcement - 20 pc bar No. 6; cover 40.0 mm
Type of structure (reinforcement ratio) : column
Reinforcement ratio ρ = 1.134 % > 1.000 % = ρ_{min}
Load : P_u = 463.02 kN (compression) ; M_u = 592.33 kNm
Bearing capacity : ϕP_n = 652.69 kN; ϕM_n = 834.96 kNm
Designed pile reinforcement is SATISFACTORY
Verification of cross section in shear:
Most severe load case No. 1. (Load P6a)
Shear reinf. - bar No. 4; spacing 100.0 mm
A_v = 2 x 1266.8 = 2533.5 mm²
Ultimate shear force: ϕV_n = 933.13 kN > 179.42 kN = V_u
Cross-section is SATISFACTORY.
only minimal shear reinforcement

Gambar 4. 132 Verifikasi Tulangan P6a

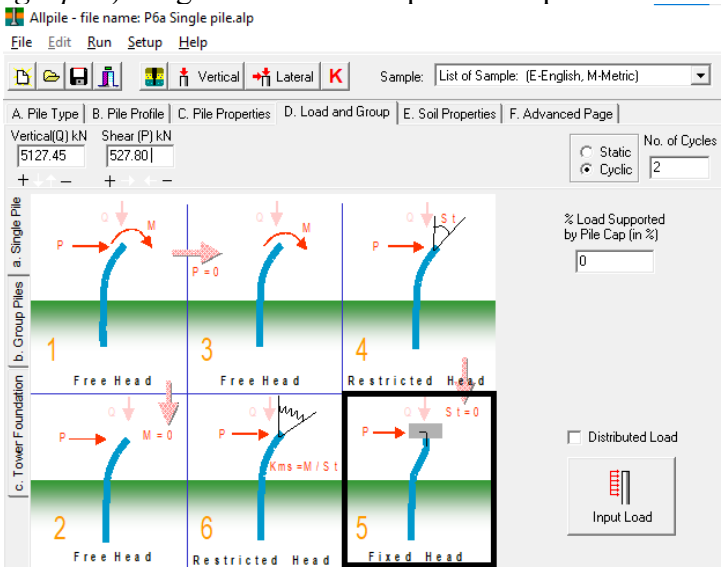
(Sumber : Pemodelan GEO5)

9. Pemeriksaan rasio daya dukung dilakukan untuk memastikan keamanan fondasi terhadap beban yang bekerja. Kontrol Rasio Qg > 1, Daya dukung fondasi memenuhi, Qg < 1, menggunakan Metode Mayerhof.

$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmax} = \frac{0.80\text{x}5024.81}{2432.85} = 1.64\ (OK\ Aman)$$

10. Evaluasi defleksi lateral dan penurunan (*settlement*) pada tiang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak **Allpile 7.0**.

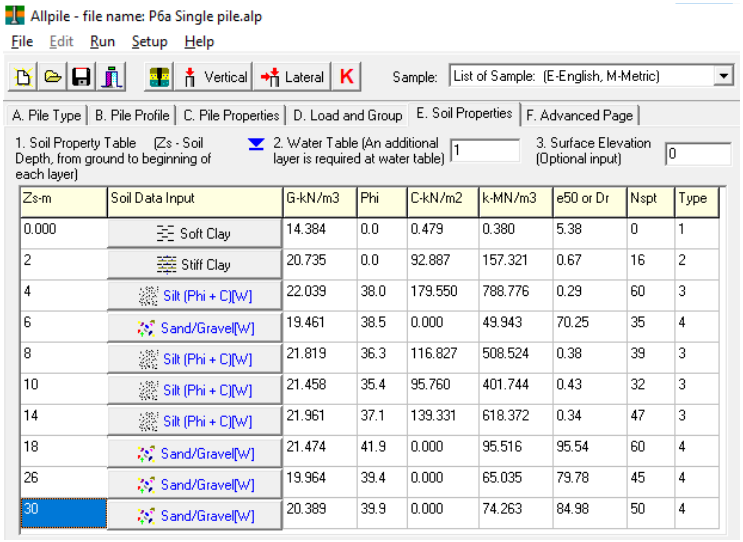
- Evaluasi defleksi lateral dianalisis berdasarkan pendekatan tiang tunggal (*single pile*) dengan memasukkan parameter pembebanan sebagai berikut:



Gambar 4. 133 Memasukan Beban Layan dari SAP2000 ke Single Pile

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Penentuan parameter dan profil data tanah diselaraskan dengan hasil pengujian *Bore Hole* yang dipilih.

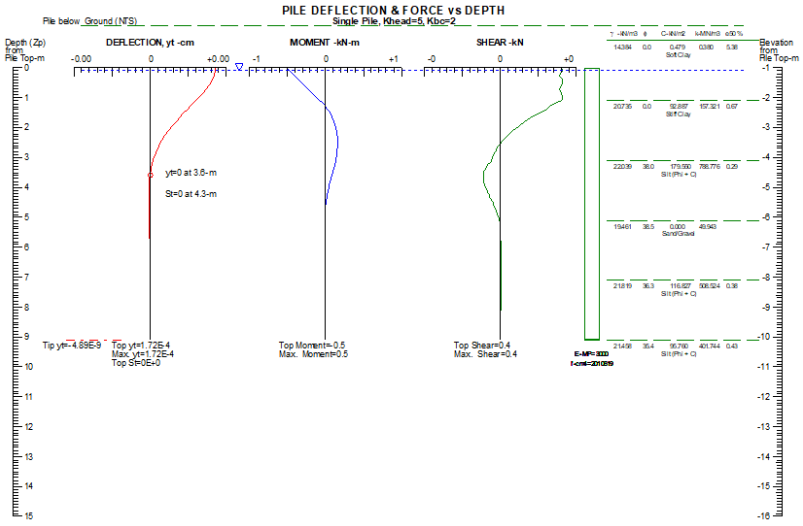


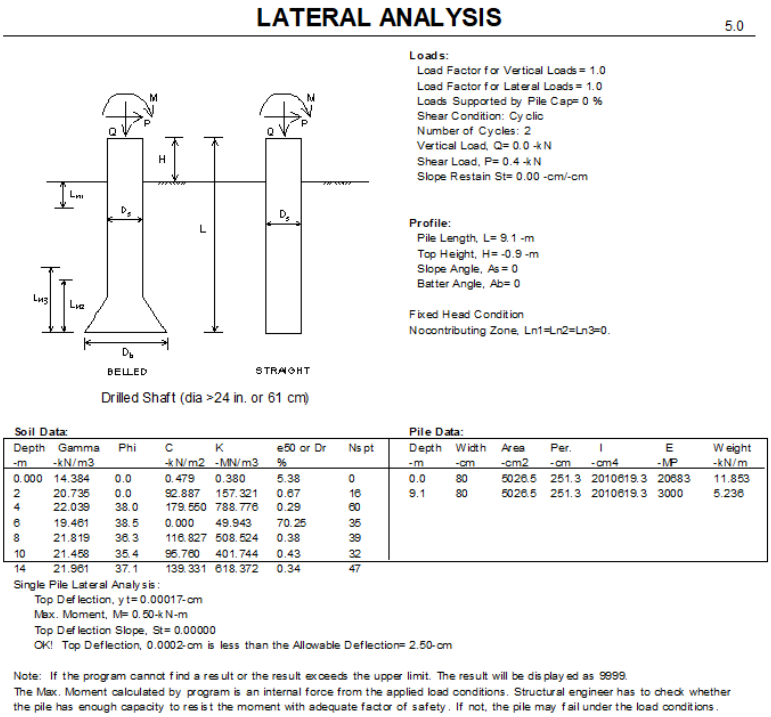
Zs-m	Soil Data Input	G-kN/m3	Phi	C-kN/m2	k-MN/m3	e50 or Dr	Nspt	Type
0.000	Soft Clay	14.384	0.0	0.479	0.380	5.38	0	1
2	Stiff Clay	20.735	0.0	92.887	157.321	0.67	16	2
4	Silt (Phi + C)[W]	22.039	38.0	179.550	788.776	0.29	60	3
6	Sand/Gravel[W]	19.461	38.5	0.000	49.943	70.25	35	4
8	Silt (Phi + C)[W]	21.819	36.3	116.827	508.524	0.38	39	3
10	Silt (Phi + C)[W]	21.458	35.4	95.760	401.744	0.43	32	3
14	Silt (Phi + C)[W]	21.961	37.1	139.331	618.372	0.34	47	3
18	Sand/Gravel[W]	21.474	41.9	0.000	95.516	95.54	60	4
26	Sand/Gravel[W]	19.964	39.4	0.000	65.035	79.78	45	4
30	Sand/Gravel[W]	20.389	39.9	0.000	74.263	84.98	50	4

Gambar 4. 134 Data Parameter dan Profil Tanah

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Analisis Defleksi Lateral.





LATERAL ANALYSIS 5.0

Loads:
Load Factor for Vertical Loads = 1.0
Load Factor for Lateral Loads = 1.0
Loads Supported by Pile Cap= 0 %
Shear Condition: Cyclic
Number of Cycles: 2
Vertical Load, Q= 0.0 -kN
Shear Load, P= 0.4 -kN
Slope Restain St= 0.00 -cm/-cm

Profile:
Pile Length, L= 9.1 -m
Top Height, H= -0.9 -m
Slope Angle, As= 0
Batter Angle, Ab= 0

Fixed Head Condition
Nocontributing Zone, Ln1=Ln2=Ln3=0.

BELLED STRAIGHT

Drilled Shaft (dia >24 in. or 61 cm)

Soil Data:

Depth -m	Gamma -kN/m3	Phi	C -kN/m2	K -MN/m3	e50 or Dr %	Nspt
0.000	14.384	0.0	0.479	0.380	5.38	0
2	20.735	0.0	92.887	157.321	0.67	16
4	22.039	38.0	179.550	788.776	0.29	60
6	19.461	38.5	0.000	49.943	70.25	35
8	21.819	36.3	116.827	508.524	0.38	39
10	21.458	35.4	95.760	401.744	0.43	32
14	21.961	37.1	139.331	618.372	0.34	47

Pile Data:

Depth -m	Width -cm	Area -cm2	Per. -cm	I -cm4	E -MP	Weight -kN/m
0.0	80	5026.5	251.3	2010619.3	20683	11.853
9.1	80	5026.5	251.3	2010619.3	3000	5.236

Single Pile Lateral Analysis:
Top Deflection, yt= 0.00017-cm
Max. Moment, M= 0.50-k N-m
Top Deflection Slope, St= 0.00000
OK! Top Deflection, 0.0002-cm is less than the Allowable Deflection= 2.50-cm

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.
The Max. Moment calculated by program is an internal force from the applied load conditions. Structural engineer has to check whether the pile has enough capacity to resist the moment with adequate factor of safety. If not, the pile may fail under the load conditions.

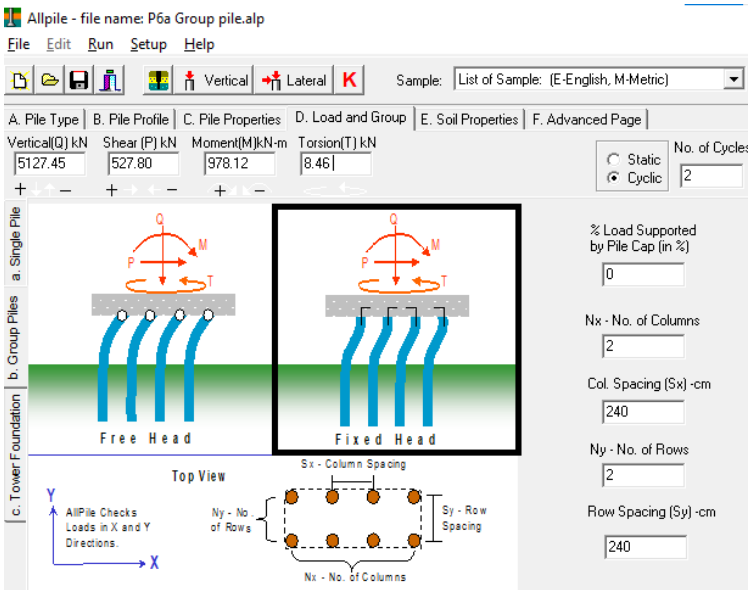
Gambar 4. 135 Hasil Analisa Defleksi Lateral

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Defleksi lateral = 0.00 mm

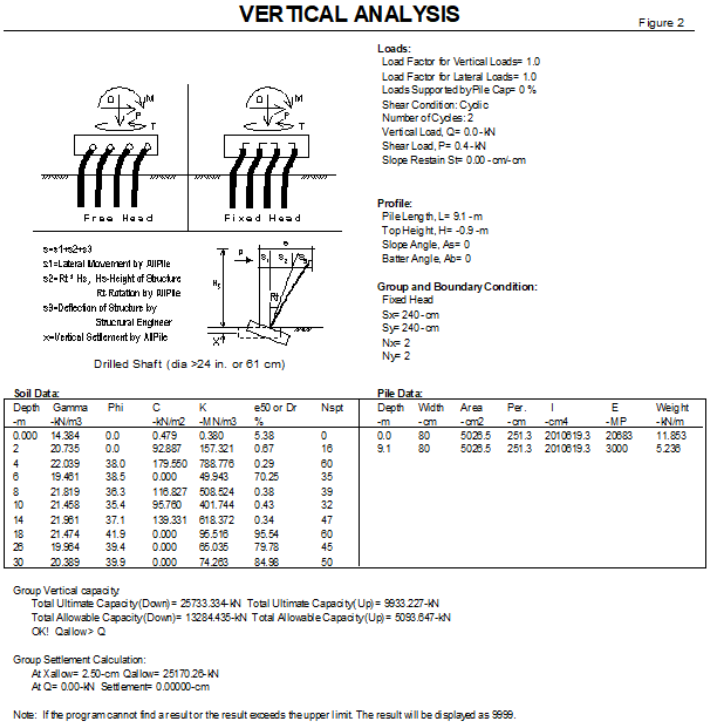
Kesimpulan = Memenuhi

- Analisis penurunan (*settlement*) ditinjau berdasarkan perilaku kelompok tiang (*group pile*). Penurunan fondasi yang diijinkan adalah sebesar 2.5 cm (SNI 8460:2017).



Gambar 4. 136 Input Load P6a untuk Group Pile

(Sumber : Pemodelan AllPile)



Gambar 4. 137 Hasil Analisa Setlement

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Setlement = 0.00 mm (Memenuhi)

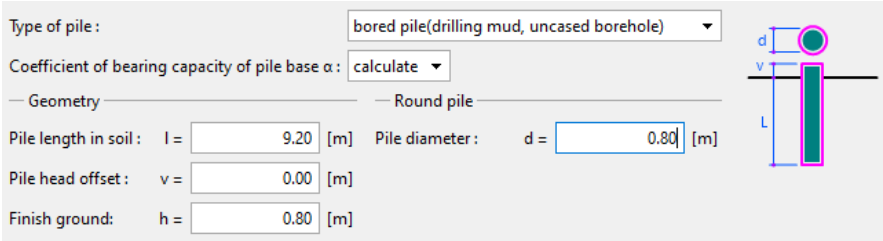
Tabel 4. 45 Ringkasan Hasil Analisis Fondasi Tipe P6a

	Hasil Kontrol	Nilai Rujukan	Keterangan
Rasio Daya Dukung Tekan	1.65	> 1,00	Aman
Penulangan *Bore pile*	ΦMn < Mu	ΦMn > Mu	Aman
Setlement	0.00 mm	< 25 mm (NAVFAC DM 7.02 (*Founda ons and Earth Structures*))	Aman
Defleksi Lateral	0.00 mm	< 25 mm (SNI 8460:2017)	Aman

(Sumber : Data Penulis)

4.4.2.10 Kasus P7

1. Hitung daya dukung tiang tunggal menggunakan analisis *Pile CPT*.
2. Pemodelan struktur tiang wajib disesuaikan dengan *Shop Drawing*.



Gambar 4. 138 Pemodelan Pile CPT di Aplikasi GEO5

(Sumber : Pemodelan GEO5)

3. Analisis dilakukan dengan menginput tiga data *Bore Hole*, di mana nilai daya dukung terkecil yang diperoleh digunakan sebagai acuan. Spesifikasi tiang disesuaikan secara presisi dengan desain eksisting, yaitu diameter 80 cm dan panjang kedalaman L = 9,2 m. Berdasarkan parameter tersebut, diperoleh nilai daya dukung izin tiang tunggal (P*ijin*) sebagai berikut.

Tabel 4. 46 Data Daya Dukung Tanah

Data Tanah	BH 1	BH 2	BH 3
Skin Faction	1994.53 kN	1688.32 kN	1813.18 kN
Point Bearing	6031.86 kN	4724.96 kN	3216.99 kN
Bearing Capacity	8026,39 kN	6413.27 kN	5030.17 kN

(Sumber : DEEP DRILLING & SPT TEST.pdf)

Sementara Daya Dukung Tarik didefinisikan sebagai *Skin Friction* + Berat Sendiri Tiang.

Tabel 4. 47 Data Daya Dukung Tanah (Tarik)

Data Tanah	BH 1	BH 2	BH 3
Skin Friction	1994.53 kN	1688.32 kN	1813.18 kN
Self Weight	115.66 kN	115.66 kN	115.66 kN
Bearing Capacity	2110.19 kN	1783.98 kN	1928.84 kN

(Sumber : DEEP DRILLING & SPT TEST.pdf)

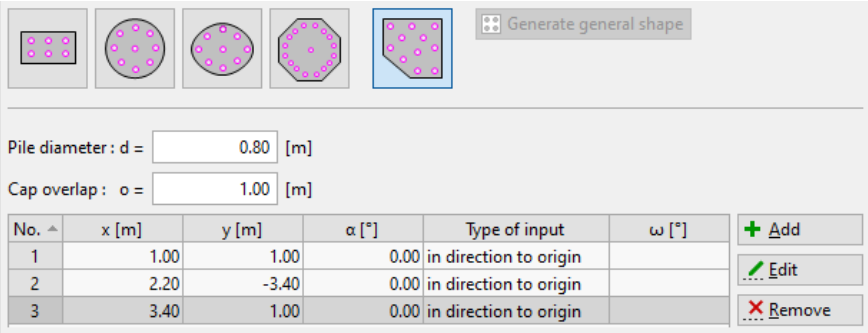
4. Reaksi perletakan (*Joint Reaction*) pada kolom yang ditumpu oleh *Pile Cap* P7 diperoleh dari luaran analisis program SAP2000, dengan mengacu pada *Shop Drawing* Lembar 2 (Denah Fondasi *Pile Cap*). Evaluasi menggunakan kombinasi pembebanan *Envelope* untuk mendapatkan nilai beban maksimum. Sebagai informasi bahwasanya Pile Cap P7 bekerja dengan menopang satu kolom. Yakni pada *Join Reaction* :

- 849, 1052, 393, 506, 1078, dan 1080.

Reaksi perletakan dari tiap kelompok kolom dijumlahkan secara kumulatif, kemudian nilai terbesar (maksimum) dari kedua kelompok tersebut diambil sebagai beban rencana dengan hasil sebagai berikut:

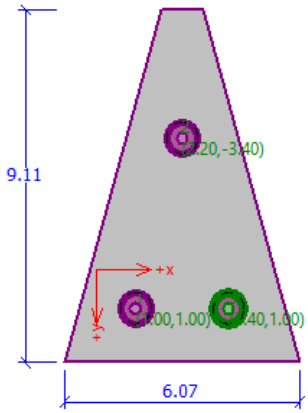
Hx (F^1) = 288.94 kN
Hy (F^2) = 201.70 kN
P (F^3) = 4236.35 kN
Mx (M^1) = 515.51 kN m
My (M^2) = 427.64 kN m
Mputir = 4.23 kN m (tidak diperhitungkan karena nilainya kecil)

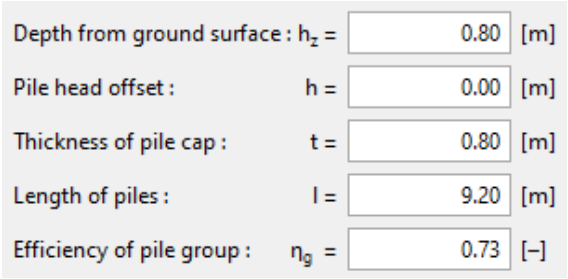
5. Pemodelan konfigurasi tiang pada kelompok tiang (*pile group*) dilakukan dengan mengacu pada ketentuan teknis yang tercantum dalam *Shop Drawing*.



Gambar 4. 139 Pemodelan Struktur Pile Cap diGEO5

(Sumber : Pemodelan GEO5)

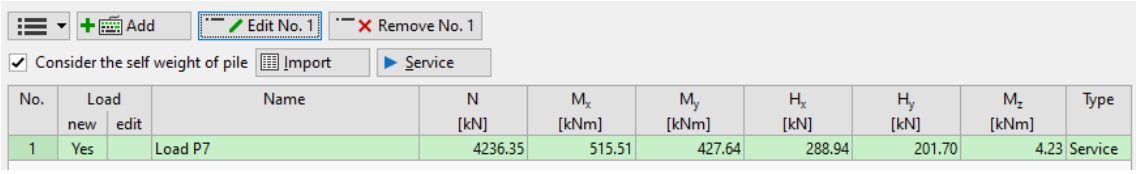




Gambar 4. 140 Geometri P7

(Sumber : Pemodelan GEO5)

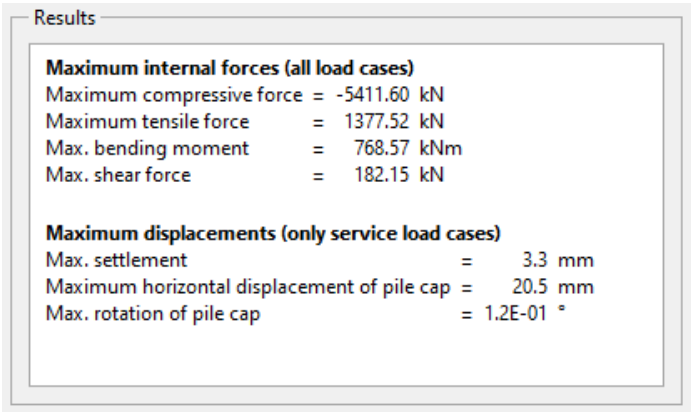
6. Masukan beban layan.



Gambar 4. 141 Memasukan Beban Layan dari Hasil SAP2000 ke Aplikasi GEO5

(Sumber : Pemodelan GEO5)

7. Analisis dilakukan menggunakan pemodelan *Pile Group* untuk memperoleh besaran gaya aksial maksimum (P_{maks}), gaya aksial minimum (P_{min}), momen lentur (*bending moment*), dan gaya geser (*shear force*).



Gambar 4. 142 Hasil Analisa P7

(Sumber : Pemodelan GEO5)

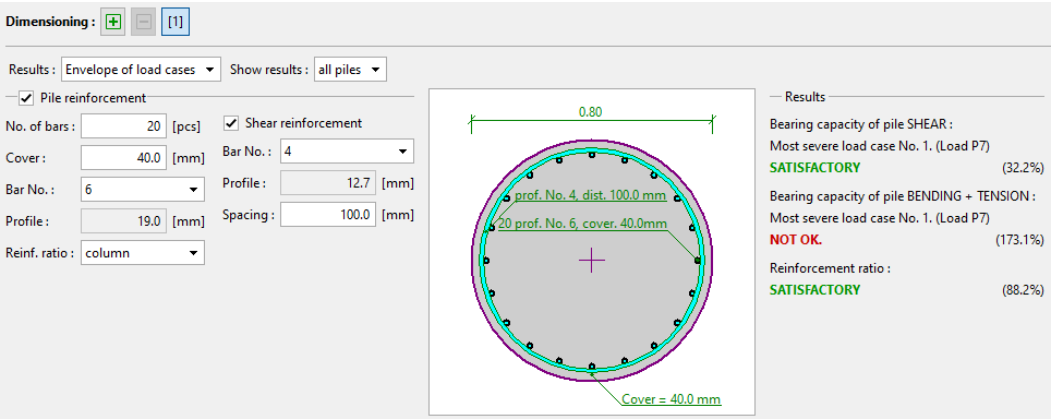
Pmax	=	5411.60 kN
Pmin	=	-1377.52 kN (terdapat gaya tarik)
Bending Momen	=	768.57 kN m
Shear Max	=	182.15 kN

$$\text{Efisiensi Kelompok} = 1 - \frac{\theta}{90}\left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn}\right]$$

$$1 - \frac{18{,}43}{90}\ x\ 1.333$$

0.73 (Koreksi Eg Metode Converse & Labarre)

8. Analisis Kapasitas Tulangan Terpasang Daerah Momen Maksimum.



Gambar 4. 143 Hasil Analisa Tulangan P7

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Verification of cross section in bending and tension:
Most severe load case No. 1. (Load P7)
Pile diameter: d=0.80m
Reinforcement - 20 pc bar No. 6; cover 40.0 mm
Type of structure (reinforcement ratio) : column
Reinforcement ratio ρ = 1.134 % > 1.000 % = ρ_{min}
Load : P_u = -1378.54 kN (tension) ; M_u = 766.94 kNm
Bearing capacity : ϕP_n = -796.47 kN; ϕM_n = 443.11 kNm
Designed pile reinforcement is NOT SATISFACTORY
Verification of cross section in shear:
Most severe load case No. 1. (Load P7)
Shear reinf. - bar No. 4; spacing 100.0 mm
A_v = 2 x 1266.8 = 2533.5 mm²
Ultimate shear force: ϕV_n = 564.82 kN > 182.14 kN = V_u
Cross-section is SATISFACTORY.

Gambar 4. 144 Verifikasi Tulangan P7

(Sumber : Pemodelan GEO5)

9. Pemeriksaan rasio daya dukung dilakukan untuk memastikan keamanan fondasi terhadap beban yang bekerja. Kontrol Rasio Qg > 1, Daya dukung fondasi memenuhi, Qg < 1, menggunakan Metode Mayerhof.

a. Tekan

- Data Bore Hole 1

$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmax} = \frac{0.73\text{x}8026.39}{5411.60} = 1.08\ (Ok\ Aman)$$

- Data Bore Hole 2

$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmax} = \frac{0.73\text{x}6413.27}{5411.60} = 0.86\ (Tidak\ Aman)$$

- Data Bore Hole 3

$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmax} = \frac{0.73\text{x}5030.17}{5411.60} = 0.68\ (Tidak\ Aman)$$

b. Tarik

- Data Bore Hole 1

$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmin} = \frac{0.73\text{x}2110.19}{1377.52} = 1.11\ (Ok\ Aman)$$

- Data Bore Hole 2

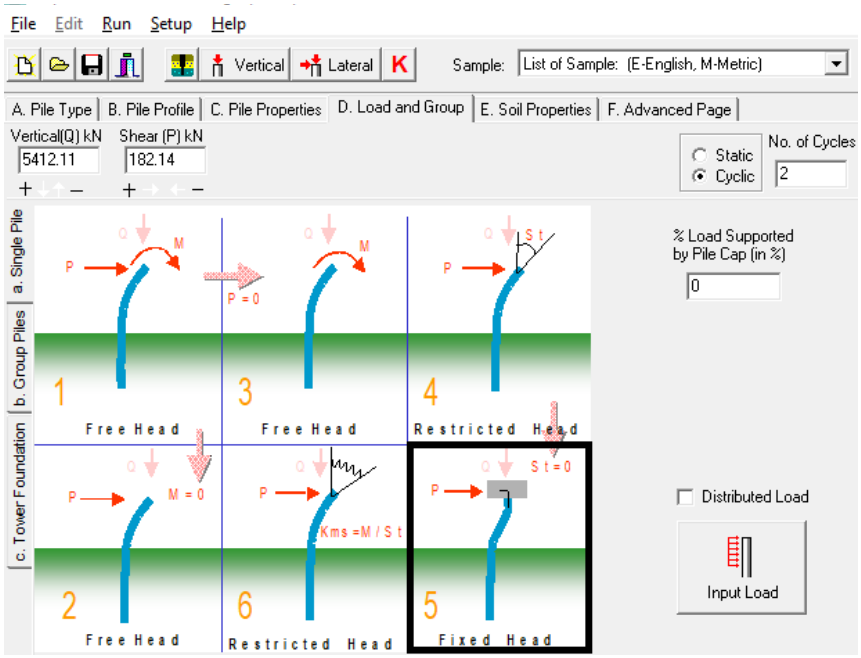
$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmin} = \frac{0.73\text{x}1783.98}{1377.52} = 0.94\ (Tidak\ Aman)$$

- Data Bore Hole 3

$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmin} = \frac{0.73\text{x}1928.84}{1377.52} = 1.02\ (Ok\ Aman)$$

10. Evaluasi defleksi lateral dan penurunan (*settlement*) pada tiang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak **Allpile 7.0**.

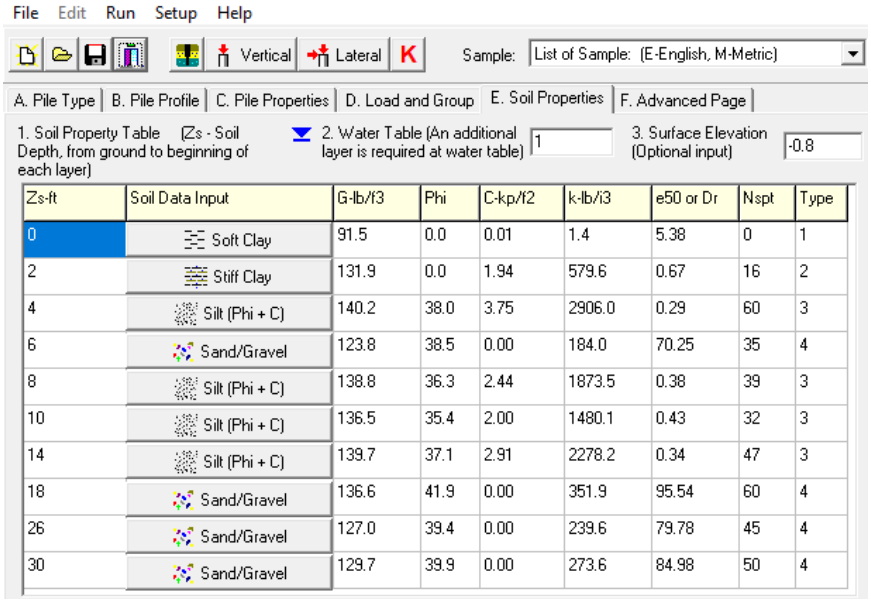
- Evaluasi defleksi lateral dianalisis berdasarkan pendekatan tiang tunggal (*single pile*) dengan memasukkan parameter pembebanan sebagai berikut:



Gambar 4. 145 Memasukan Beban ke Single Pile AllPile

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Penentuan parameter dan profil data tanah diselaraskan dengan hasil pengujian *Bore Hole* yang dipilih.

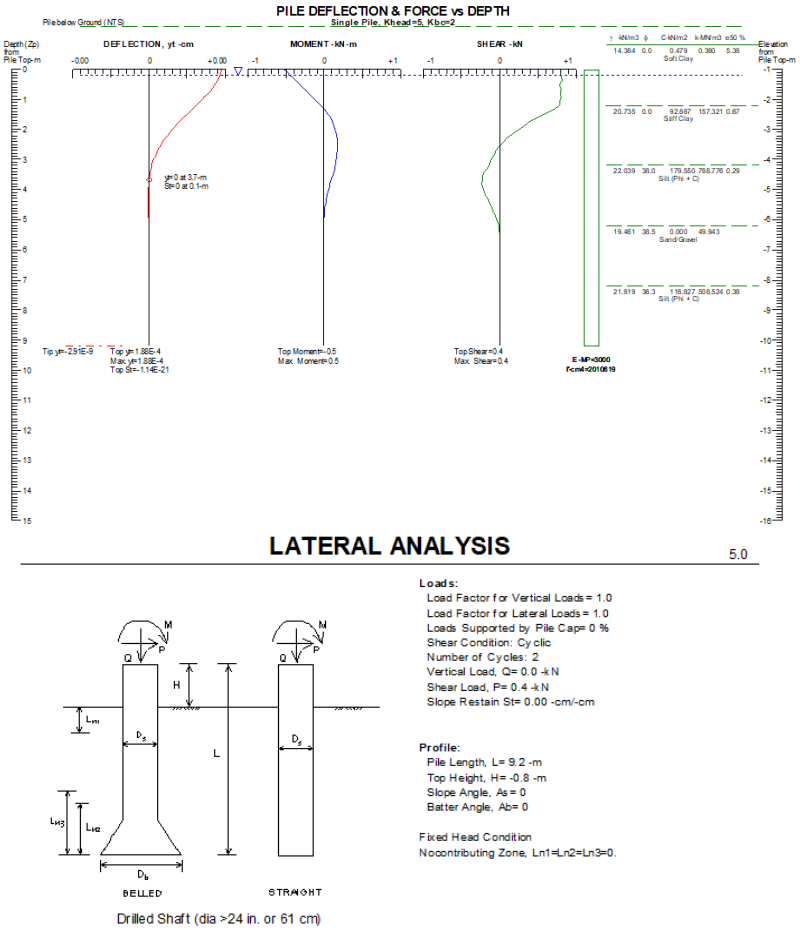


Zs-ft	Soil Data Input	G-lb/f3	Phi	C-kp/f2	k-lb/i3	e50 or Dr	Nspt	Type
0	Soft Clay	91.5	0.0	0.01	1.4	5.38	0	1
2	Stiff Clay	131.9	0.0	1.94	579.6	0.67	16	2
4	Silt (Phi + C)	140.2	38.0	3.75	2906.0	0.29	60	3
6	Sand/Gravel	123.8	38.5	0.00	184.0	70.25	35	4
8	Silt (Phi + C)	138.8	36.3	2.44	1873.5	0.38	39	3
10	Silt (Phi + C)	136.5	35.4	2.00	1480.1	0.43	32	3
14	Silt (Phi + C)	139.7	37.1	2.91	2278.2	0.34	47	3
18	Sand/Gravel	136.6	41.9	0.00	351.9	95.54	60	4
26	Sand/Gravel	127.0	39.4	0.00	239.6	79.78	45	4
30	Sand/Gravel	129.7	39.9	0.00	273.6	84.98	50	4

Gambar 4. 146 Parameter dan Profil Tanah

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Analisis Defleksi Lateral.



Depth -m	Gamma -kN/m3	Phi	C -kN/m2	K -MN/m3	e50 or Dr %	Nspt
0.000	14.384	0.0	0.479	0.380	5.38	0
2	20.735	0.0	92.887	157.321	0.67	16
4	22.039	38.0	179.550	788.776	0.29	60
6	19.461	38.5	0.000	49.943	70.25	35
8	21.819	36.3	116.827	508.524	0.38	39
10	21.458	35.4	95.760	401.744	0.43	32

Depth -m	Width -cm	Area -cm2	Per. -cm	I -cm4	E -MP	Weight -kN/m
0.0	80	5026.5	251.3	2010619.3	20683	11.853
9.2	80	5026.5	251.3	2010619.3	3000	5.236

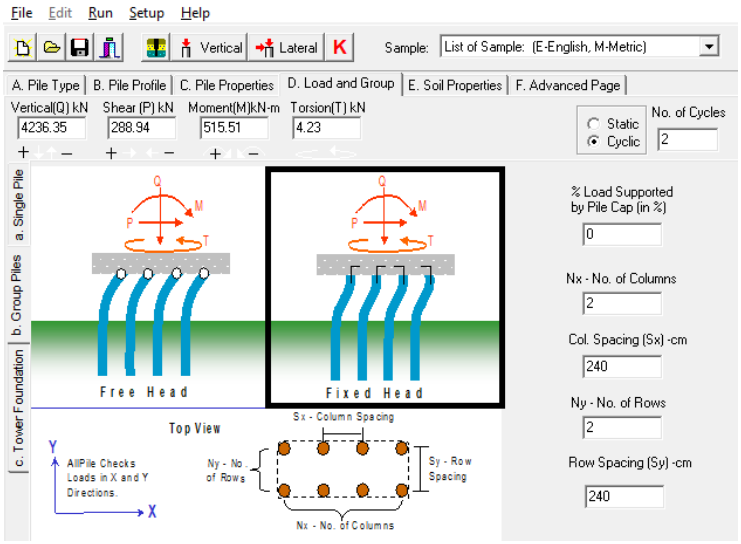
Gambar 4. 147 Hasil Analisa Defleksi Lateral

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Defleksi lateral = 0.00 mm

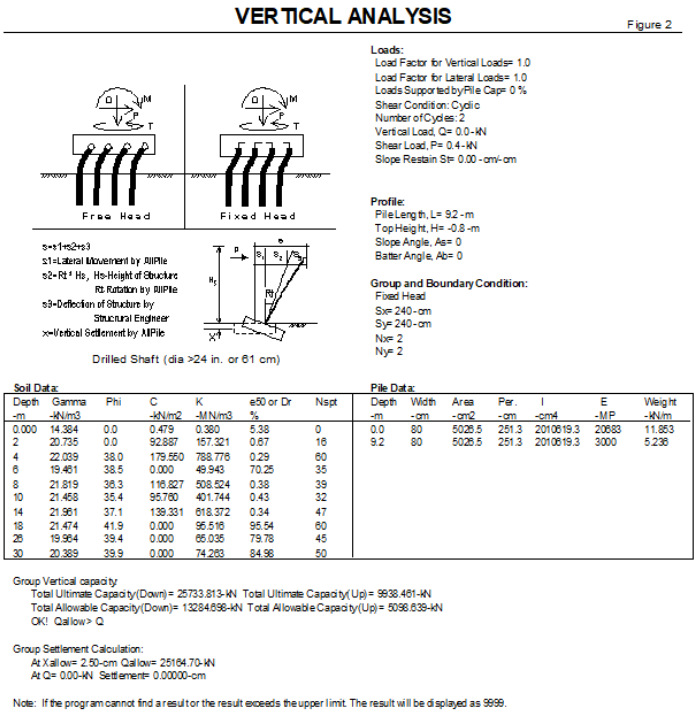
Kesimpulan = Memenuhi

- Analisis penurunan (*settlement*) ditinjau berdasarkan perilaku kelompok tiang (*group pile*). Penurunan fondasi yang diijinkan adalah sebesar 2.5 cm (SNI 8460:2017).



Gambar 4. 148 Input Beban ke Group Pile

(Sumber : Pemodelan AllPile)



VERTICAL ANALYSIS Figure 2

Loads:
Load Factor for Vertical Loads= 1.0
Load Factor for Lateral Loads= 1.0
Loads Supported by Pile Cap= 0 %
Shear Condition: Cyclic
Number of Cycles: 2
Vertical Load, Q= 0.0 -kN
Shear Load, P= 0.4 -kN
Slope Restain St= 0.00 -cm/-cm

Profile:
Pile Length, L= 9.2 -m
Top Height, H= -0.8 -m
Slope Angle, As= 0
Batter Angle, Ab= 0

Group and Boundary Condition:
Fixed Head
Sx= 240 -cm
Sy= 240 -cm
Nx= 2
Ny= 2

Free Head Fixed Head

s=s1+s2+s3
s1=Lateral Movement by AllPile
s2=Rt * Hs, Hs-Height of Structure
Rt Rotation by AllPile
s3=Deflection of Structure by Structural Engineer
x=Vertical Settlement by AllPile

Drilled Shaft (dia >24 in. or 61 cm)

Soil Data:

Depth -m	Gamma -kN/m3	Phi	C -kN/m2	K -MN/m3	e50 or Dr %	Nspt
0.000	14.384	0.0	0.479	0.380	5.38	0
2	20.735	0.0	92.887	157.321	0.67	16
4	22.039	38.0	179.550	788.776	0.29	60
6	19.461	38.5	0.000	49.943	70.25	35
8	21.819	36.3	116.827	508.524	0.38	39
10	21.458	35.4	95.760	401.744	0.43	32
14	21.961	37.1	139.331	618.372	0.34	47
18	21.474	41.9	0.000	95.516	95.54	60
26	19.964	39.4	0.000	66.035	79.78	45
30	20.389	39.9	0.000	74.263	84.96	50

Pile Data:

Depth -m	Width -cm	Area -cm2	Per. -cm	I -cm4	E -MP	Weight -kN/m
0.0	80	5026.5	251.3	2010619.3	20683	11.853
9.2	80	5026.5	251.3	2010619.3	3000	5.236

Group Vertical capacity
Total Ultimate Capacity(Down)= 25733.813-kN Total Ultimate Capacity(Up)= 5938.461-kN
Total Allowable Capacity(Down)= 13284.698-kN Total Allowable Capacity(Up)= 5098.639-kN
OK! Qallow> Q

Group Settlement Calculation:
At Xallow= 2.50-cm Qallow= 25184.70-kN
At Q= 0.00-kN Settlement= 0.00000-cm

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.

Gambar 4. 149 Hasil Analisa Setlement

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Setlement = 0.00 mm (Memenuhi)

Tabel 4. 48 Ringkasan Hasil Analisis Fondasi Tipe P7

	Hasil Kontrol	Nilai Rujukan	Keterangan
Rasio Daya Dukung Tekan (di ambil terkecil)	0.68	> 1,00	Gagal
Rasio Daya Dukung Tarik (di ambil terkecil)	0.94	> 1,00	Gagal
Penulangan *Bore pile*	ΦMn < Mu	ΦMn > Mu	Gagal
Setlement	0.00 mm	< 25 mm (NAVFAC DM 7.02 (*Founda ons and Earth Structures*))	Aman
Defleksi Lateral	0.00 mm	< 25 mm (SNI 8460:2017)	Aman

(Sumber : Data Penulis)

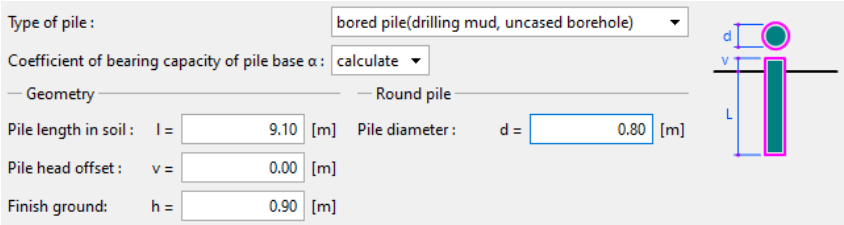
11. Saran

Berdasarkan hasil evaluasi struktur dan geoteknik pada fondasi tipe P7, didapatkan bahwa rasio daya dukung tekan (0,68), rasio daya dukung tarik (0,94), serta kapasitas lentur penulangan tiang (ΦMn < Mu) tidak memenuhi syarat keamanan.

- Modifikasi Geometri Fondasi: Melakukan penambahan panjang tiang kedalaman (*L*) atau memperbesar diameter tiang (*bored pile*) guna meningkatkan kapasitas dukung selimut (*skin friction*) dan ujung (*point bearing*).
- Redesain Konfigurasi Kelompok Tiang: Menambah jumlah tiang dalam kelompok (*pile group*) atau memperbesar jarak antar-tiang untuk meningkatkan nilai efisiensi kelompok (*Eg*) dan mereduksi gaya aksial maksimum (P_{maks}) pada tiap tiang.
- Peningkatan Kapasitas Penulangan: Mengubah konfigurasi dan rasio tulangan utama pada *bored pile* (misalnya meningkatkan jumlah/diameter tulangan) agar kapasitas momen nominal terfaktor memenuhi kebutuhan beban (ΦMn < Mu).

4.4.2.11 Kasus P8

1. Hitung daya dukung tiang tunggal menggunakan analisis *Pile CPT*.
2. Pemodelan struktur tiang wajib disesuaikan dengan *Shop Drawing*.



Gambar 4. 150 Pemodelan Pile CPT

(Sumber : Pemodelan GEO5)

3. Analisis dilakukan dengan menginput tiga data *Bore Hole*, di mana nilai daya dukung terkecil yang diperoleh digunakan sebagai acuan. Spesifikasi tiang disesuaikan secara presisi dengan desain eksisting, yaitu diameter 80 cm dan panjang kedalaman L = 9,1 m. Berdasarkan parameter tersebut, diperoleh nilai daya dukung izin tiang tunggal (P*ijin*) sebagai berikut.

Tabel 4. 49 Data Daya Dukung Tanah

Data Tanah	BH 1	BH 2	BH 3
Skin Faction	1986.62 kN	1683.18 kN	1807.82 kN
Point Bearing	6031.86 kN	4724.96 kN	3216.99 kN
Bearing Capacity	8018.48 kN	6408.13 kN	5024.81 kN

(Sumber : DEEP DRILLING & SPT TEST.pdf)

Sementara Daya Dukung Tarik didefinisikan sebagai *Skin Friction* + Berat Sendiri Tiang.

Tabel 4. 50 Data Daya Dukung Tanah (Tarik)

Data Tanah	BH 1	BH 2	BH 3
Skin Friction	1986.62 kN	1683.18 kN	1807.82 kN
Self Weight	114.40 kN	114.40 kN	114.40 kN
Bearing Capacity	2101.02 kN	1797.58 kN	1922.22 kN

(Sumber : DEEP DRILLING & SPT TEST.pdf)

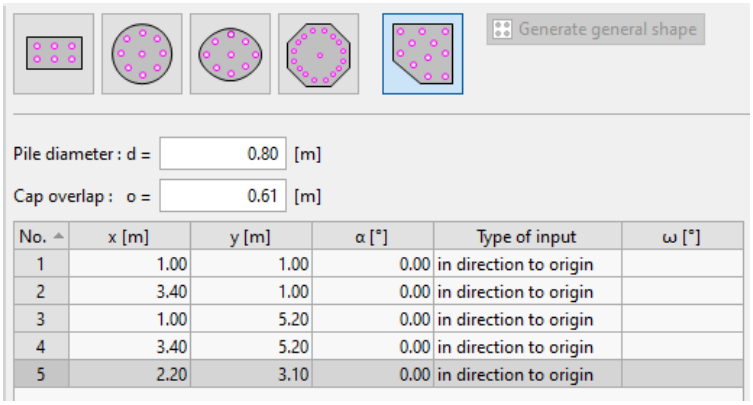
4. Reaksi perletakan (*Joint Reaction*) pada kolom yang ditumpu oleh *Pile Cap* P8 diperoleh dari luaran analisis program SAP2000, dengan mengacu pada *Shop Drawing* Lembar 2 (Denah Fondasi *Pile Cap*. Sebagai informasi bahwasanya Pile Cap P0038 bekerja dengan menopang 12 kolom. Yakni pada *Join Reaction* :

- 276 & 282
- 1048 & 1060
- 521 & 681
- 679 & 689
- 1094 & 1096
- 1104 & 1106

Reaksi perletakan dari tiap kelompok kolom dijumlahkan secara kumulatif, kemudian nilai terbesar (maksimum) dari kedua kelompok tersebut diambil sebagai beban rencana dengan hasil sebagai berikut:

Hx (F^1) = 906.23 kN
Hy (F^2) = 975.72 kN
P (F^3) = 6109.48 kN
Mx (M^1) = 1263.24 kN m
My (M^2) = 982.91 kN m
Mputir = 8.46 kN m (tidak diperhitungkan karena nilainya kecil)

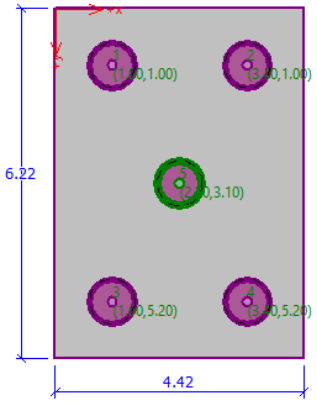
5. Pemodelan konfigurasi tiang pada kelompok tiang (*pile group*) dilakukan dengan mengacu pada ketentuan teknis yang tercantum dalam *Shop Drawing*.



No.	x [m]	y [m]	α [°]	Type of input	ω [°]
1	1.00	1.00	0.00	in direction to origin	
2	3.40	1.00	0.00	in direction to origin	
3	1.00	5.20	0.00	in direction to origin	
4	3.40	5.20	0.00	in direction to origin	
5	2.20	3.10	0.00	in direction to origin	

Gambar 4. 151 Pemodelan Struktur Pile Cap diGEO5

(Sumber : Pemodelan GEO5)



Depth from ground surface : h_z =	0.90	[m]
Pile head offset :	h =	0.00	[m]
Thickness of pile cap :	t =	0.90	[m]
Length of piles :	l =	9.10	[m]
Efficiency of pile group :	η_g =	0.71	[–]

Gambar 4. 152 Geometri P8

(Sumber : Pemodelan GEO5)

6. Masukan beban layan.

Add | Edit No. 1 | Remove No. 1

Consider the self weight of pile | Import | Service

No.	Load new	Load edit	Name	N [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	H_x [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	Type
1	Yes		Load P8	6109.48	1263.24	982.91	906.23	975.72	8.46	Service

Gambar 4. 153 Memasukan Beban Layan dari hasil SAP2000

(Sumber : Pemodelan GEO5)

7. Analisis dilakukan menggunakan pemodelan *Pile Group* untuk memperoleh besaran gaya aksial maksimum (P_{maks}), gaya aksial minimum (P_{min}), momen lentur (*bending moment*), dan gaya geser (*shear force*).

Results

Maximum internal forces (all load cases)

Maximum compressive force	=	-5048.48	kN
Maximum tensile force	=	2242.90	kN
Max. bending moment	=	1364.93	kNm
Max. shear force	=	361.71	kN

Maximum displacements (only service load cases)

Max. settlement	=	1.0	mm
Maximum horizontal displacement of pile cap	=	35.7	mm
Max. rotation of pile cap	=	7.7E-02	°

Gambar 4. 154 Hasil Analisa P8 diaplikasi GEO5

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Pmax	=	5048.48 kN
Pmin	=	-2242.90 kN
Bending Momen	=	1364.93 kN m

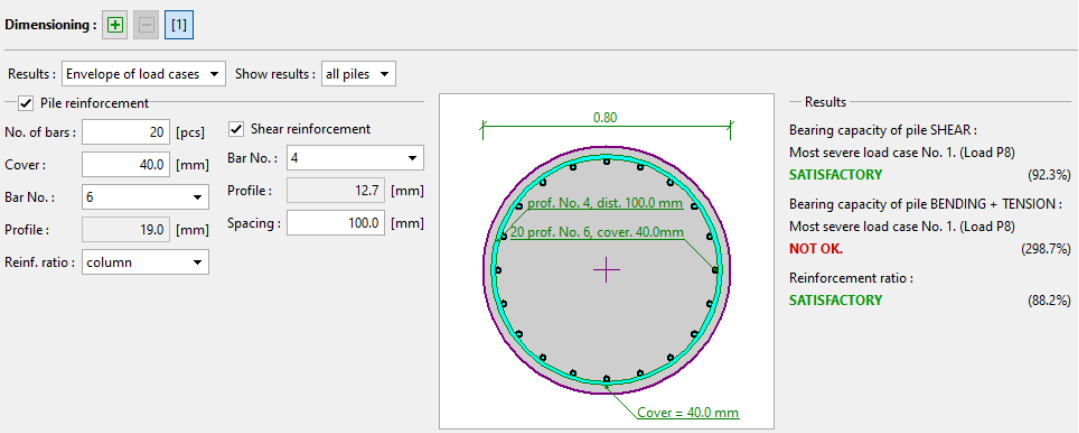
Shear Max = 361.71 kN

Efisiensi Kelompok = $1 - \frac{\theta}{90}\left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn}\right]$

$1 - \frac{18{,}43}{90}\ x\ 1.400$

0.71 (Koreksi Eg Metode Converse & Labarre)

8. Analisis Kapasitas Tulangan Terpasang Daerah Momen Maksimum.



Gambar 4. 155 Hasil Analisa Tulangan pada P8

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Verification of cross section in bending and tension:
Most severe load case No. 1. (Load P8)
Pile diameter: d=0.80m
Reinforcement - 20 pc bar No. 6; cover 40.0 mm
Type of structure (reinforcement ratio) : column
Reinforcement ratio ρ = 1.134 % > 1.000 % = ρ_{min}
Load : P_u = -2242.90 kN (tension) ; M_u = 1364.93 kNm
Bearing capacity : ϕP_n = -750.86 kN; ϕM_n = 456.94 kNm
Designed pile reinforcement is NOT SATISFACTORY
Verification of cross section in shear:
Most severe load case No. 1. (Load P8)
Shear reinf. - bar No. 4; spacing 100.0 mm
A_v = 2 x 1266.8 = 2533.5 mm²
Ultimate shear force: ϕV_n = 391.94 kN > 361.71 kN = V_u
Cross-section is SATISFACTORY.

Gambar 4. 156 Verifikasi Tulangan P8

(Sumber : Pemodelan GEO5)

9. Pemeriksaan rasio daya dukung dilakukan untuk memastikan keamanan fondasi terhadap beban yang bekerja. Kontrol Rasio Qg > 1, Daya dukung fondasi memenuhi, Qg < 1, menggunakan Metode Mayerhof.

a. Tekan

- Digunakan Data *Bore Hole* 1

$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmax} = \frac{0.71\text{x}8018.48}{5048.48} = 1.13\ (Ok\ Aman)$$

- Digunakan Data *Bore hole* 2

$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmax} = \frac{0.71\text{x}6408.13}{5048.48} = 1.13\ (Ok\ Aman)$$

- Digunakan Data *Bore hole* 3

$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmax} = \frac{0.71\text{x}5024.81}{5048.48} = 0.71\ (Tidak\ Aman)$$

b. Tarik

- Digunakan Data *Bore Hole* 1

$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmin} = \frac{0.71\text{x}2101.02}{2242.90} = 0.67\ (Tidak\ Aman)$$

- Digunakan Data *Bore Hole* 2

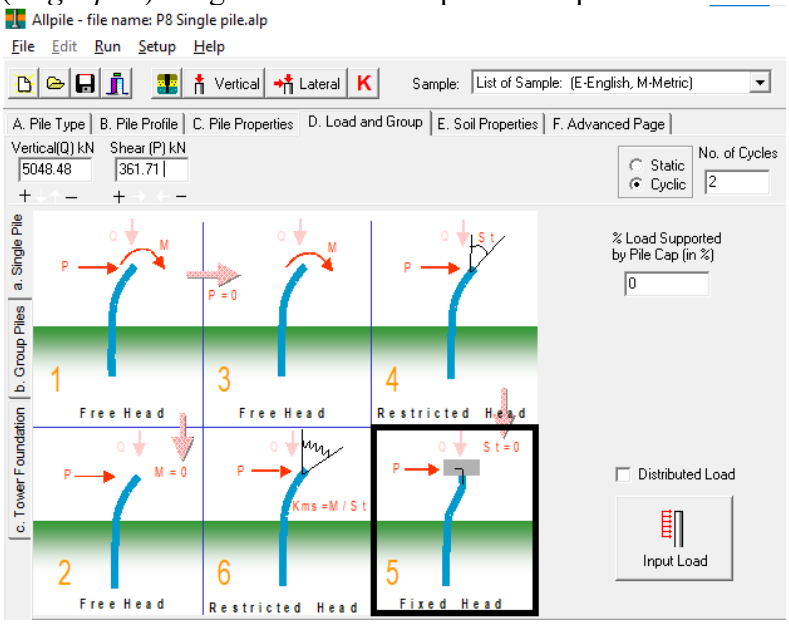
$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmin} = \frac{0.71\text{x } 1797.58}{2242.90} = 0.57\ (Tidak\ Aman)$$

- Digunakan Data *Bore Hole* 3

$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmin} = \frac{0.71\text{x } 1922.22}{2242.90} = 0.61\ (Tidak\ Aman)$$

10. Evaluasi defleksi lateral dan penurunan (*settlement*) pada tiang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak **Allpile 7.0**.

- Evaluasi defleksi lateral dianalisis berdasarkan pendekatan tiang tunggal (*single pile*) dengan memasukkan parameter pembebanan sebagai berikut:



Gambar 4. 157 Pemeasukan Beban Layan untuk Single Pile

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Penentuan parameter dan profil data tanah diselaraskan dengan hasil pengujian *Bore Hole* yang dipilih.

Allpile - file name: P8 Single pile.alp

File Edit Run Setup Help

Vertical Lateral K Sample: List of Sample: (E-English, M-Metric)

A. Pile Type | B. Pile Profile | C. Pile Properties | D. Load and Group | E. Soil Properties | F. Advanced Page

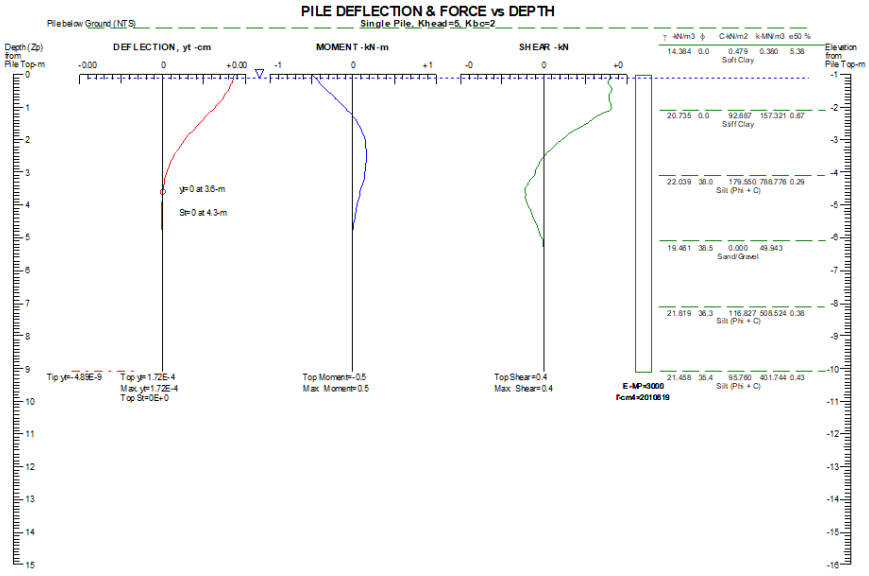
1. Soil Property Table (Zs - Soil Depth, from ground to beginning of each layer) 2. Water Table (An additional layer is required at water table) 1 3. Surface Elevation (Optional input) 0

Zs-m	Soil Data Input	G-kN/m3	Phi	C-kN/m2	k-MN/m3	e50 or Dr	Nspt	Type
0.000	Soft Clay	14.384	0.0	0.479	0.380	5.38	0	1
2	Stiff Clay [W]	20.735	0.0	92.887	157.321	0.67	16	2
4	Silt (Phi + C)[W]	22.039	38.0	179.550	788.776	0.29	60	3
6	Sand/Gravel[W]	19.461	38.5	0.000	49.943	70.25	35	4
8	Silt (Phi + C)[W]	21.819	36.3	116.827	508.524	0.38	39	3
10	Silt (Phi + C)[W]	21.458	35.4	95.760	401.744	0.43	32	3
14	Silt (Phi + C)[W]	21.961	37.1	139.331	618.372	0.34	47	3
18	Sand/Gravel[W]	21.474	41.9	0.000	95.516	95.54	60	4
26	Sand/Gravel[W]	19.964	39.4	0.000	65.035	79.78	45	4
30	Sand/Gravel[W]	20.389	39.9	0.000	74.263	84.98	50	4

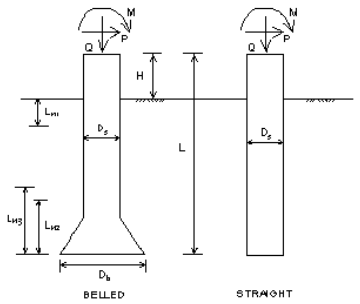
Gambar 4. 158 Parameter dan Profil Tanah

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Analisis Defleksi Lateral.



LATERAL ANALYSIS 5.0



Drilled Shaft (dia >24 in. or 61 cm)

Loads:
Load Factor for Vertical Loads = 1.0
Load Factor for Lateral Loads = 1.0
Loads Supported by Pile Cap= 0 %
Shear Condition: Cyclic
Number of Cycles: 2
Vertical Load, Q= 0.0 -kN
Shear Load, P= 0.4 -kN
Slope Restain St= 0.00 -cm/-cm

Profile:
Pile Length, L= 9.1 -m
Top Height, H= -0.9 -m
Slope Angle, As = 0
Batter Angle, Ab= 0

Fixed Head Condition
Nocontributing Zone, Ln1=Ln2=Ln3=0.

Soil Data:

Depth -m	Gamma -kN/m3	Phi	C -kN/m2	K -MN/m3	e50 or Dr %	Nspt
0.000	14.384	0.0	0.479	0.380	5.38	0
2	20.735	0.0	92.887	157.321	0.67	16
4	22.039	38.0	179.550	788.776	0.29	60
6	19.461	38.5	0.000	49.943	70.25	35
8	21.819	36.3	116.827	508.524	0.38	39
10	21.458	35.4	95.760	401.744	0.43	32
14	21.961	37.1	139.331	618.372	0.34	47

Pile Data:

Depth -m	Width -cm	Area -cm2	Per. -cm	I -cm4	E -MP	Weight -kN/m
0.0	80	5026.5	251.3	2010619.3	20683	11.853
9.1	80	5026.5	251.3	2010619.3	3000	5.236

Single Pile Lateral Analysis:
Top Deflection, y t = 0.00017-cm
Max. Moment, M= 0.50-kN-m
Top Deflection Slope, St= 0.00000
OK! Top Deflection, 0.0002-cm is less than the Allowable Deflection= 2.50-cm

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.
The Max. Moment calculated by program is an internal force from the applied load conditions. Structural engineer has to check whether the pile has enough capacity to resist the moment with adequate factor of safety. If not, the pile may fail under the load conditions.

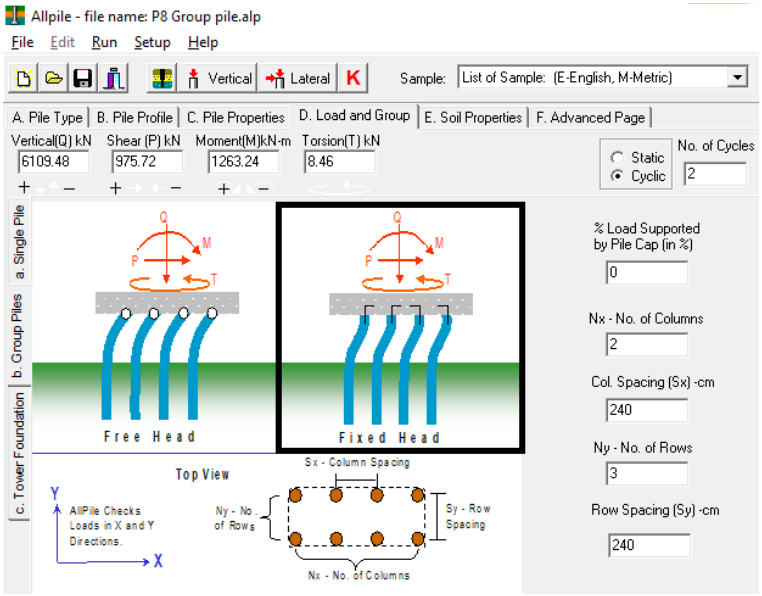
Gambar 4. 159 Hasil Analisa Defleksi Lateral

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Defleksi lateral = 0.00 mm

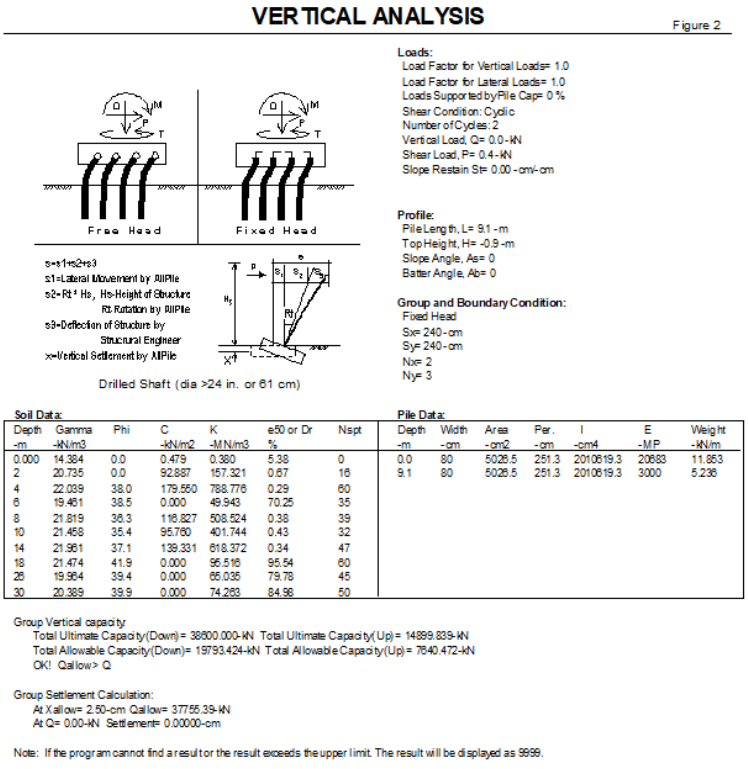
Kesimpulan = Memenuhi

- Analisis penurunan (*settlement*) ditinjau berdasarkan perilaku kelompok tiang (*group pile*). Penurunan fondasi yang diijinkan adalah sebesar 2.5 cm (SNI 8460:2017).



Gambar 4. 160 Memasukan Load P8 Group Pile

(Sumber : Pemodelan AllPile)



Gambar 4. 161 Hasil Analisa Setlement

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Setlement = 0.00 mm (Memenuhi)

Tabel 4. 51 Ringkasan Hasil Analisis Fondasi Tipe P8

	Hasil Kontrol	Nilai Rujukan	Keterangan
Rasio Daya Dukung Tekan (diambil terkecil)	0.71	> 1,00	Gagal
Rasio Daya Dukung Tekan (diambil terkecil)	0.57	> 1,00	Gagal
Penulangan *Bore pile*	ΦMn < Mu	ΦMn > Mu	Gagal
Setlement	0.00 mm	< 25 mm (NAVFAC DM 7.02 (*Founda ons and Earth Structures*))	Aman
Defleksi Lateral	0.00 mm	< 25 mm (SNI 8460:2017)	Aman

(Sumber : Data Penulis)

11. Rekomendasi Daya Dukung

Kapasitas daya dukung pada rancangan *Pile Cap* P8 memerlukan evaluasi ulang. Secara teoritis, peningkatan kapasitas daya dukung tekan maupun tarik dapat dilakukan melalui modifikasi konfigurasi kelompok tiang atau penambahan kedalaman penanaman tiang (*embedment depth*). Namun, mengingat struktur bangunan di lapangan telah selesai dibangun dan aktif beroperasi, langkah modifikasi fisik fondasi bawah tanah tidak memungkinkan untuk dilaksanakan.

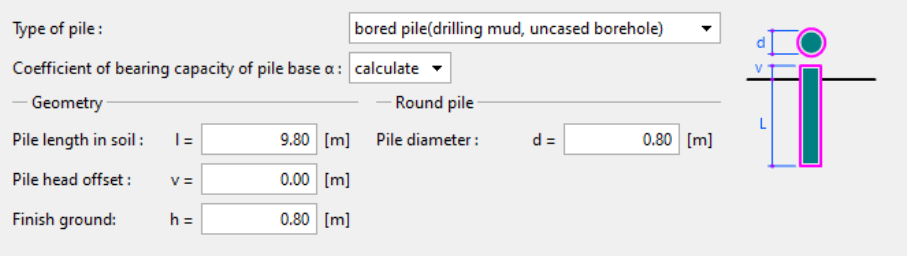
Saran Teknis Fondasi P8 untuk Bangunan Eksisting:

- Evaluasi Kapasitas Aktual Melalui Pengujian PDA (*Pile Driving Analyzer*): Melakukan re-evaluasi data kapasitas dukung aksial (tekan dan cabut/tarik) berdasarkan hasil pengujian dinamik *Pile Driving Analyzer* (PDA *Test*) atau pengujian beban aksial terpasang di lapangan untuk mendapatkan nilai daya dukung aktual (*actual bearing capacity*).
- Audit Struktur dan Pembatasan Beban Layan (*Load Restriction*): Jika hasil analisis aktual menunjukkan kapasitas terbatas, dilakukan pembatasan beban hidup (*live load*) atau re-alokasi fungsi ruang pada area struktur di atas *Pile Cap* P8 guna memastikan beban kerja tidak melebihi daya dukung izin terpasang.
- Pemantauan Deformasi dan Penurunan (Settlement Monitoring): Melakukan pemantauan penurunan secara berkala (*periodic settlement monitoring*) pada area sekitar P8 untuk memverifikasi bahwa tidak terjadi penurunan diferensial (*differential settlement*) yang melebihi batas toleransi izin.

4.4.2.12 Kasus P9

1. Hitung daya dukung tiang tunggal menggunakan analisis *Pile CPT*.

2. Pemodelan struktur tiang wajib disesuaikan dengan *Shop Drawing*.



Gambar 4. 162 Pemodelan Pile CPT diAplikasi GEO5

(Sumber : Pemodelan GEO5)

3. Analisis dilakukan dengan menginput tiga data *Bore Hole*, di mana nilai daya dukung terkecil yang diperoleh digunakan sebagai acuan. Spesifikasi tiang disesuaikan secara presisi dengan desain eksisting, yaitu diameter 80 cm dan panjang kedalaman L = 9,2 m. Berdasarkan parameter tersebut, diperoleh nilai daya dukung izin tiang tunggal (P*ijin*) sebagai berikut.

Tabel 4. 52 Daya Dukung Tanah

Data Tanah	BH 1	BH 2	BH 3
Skin Friction	1816.68 kN	1530.71 kN	1602.34 kN
Point Bearing	5730.27 kN	4574.16 kN	3488.42 kN
Bearing Capacity	7546.94 kN	6104.87 kN	5090.76 kN

(Sumber : DEEP DRILLING & SPT TEST.pdf)

(digunakan daya dukung paling kecil)

4. Reaksi perletakan (*Joint Reaction*) pada kolom yang ditumpu oleh *Pile Cap* P8 diperoleh dari luaran analisis program SAP2000, dengan mengacu pada *Shop Drawing* Lembar 2 (Denah Fondasi *Pile Cap*. Sebagai informasi bahwasanya Pile Cap P0038 bekerja dengan menopang 12 kolom. Yakni pada *Join Reaction* :

176, 354, 377, 382, 847, 1046, 1054, 1056, 1058, 1082, & 1084.

Reaksi perletakan dari tiap kelompok kolom dijumlahkan secara kumulatif, kemudian nilai terbesar (maksimum) dari kedua kelompok tersebut diambil sebagai beban rencana dengan hasil sebagai berikut:

Hx (F^1) = 617.75 kN

Hy (F^2) = 645.41 kN

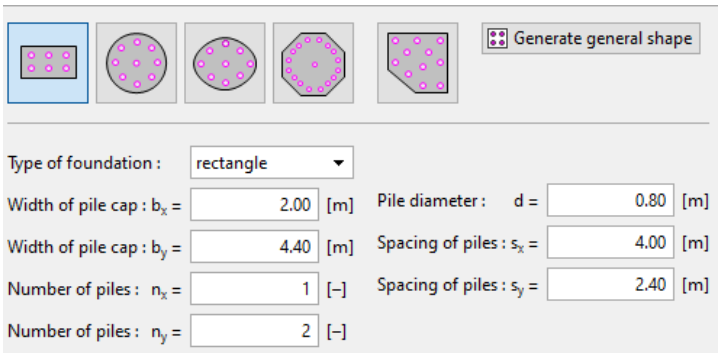
P (F^3) = 6067.92 kN

Mx (M^1) = 642.19 kN m

My (M²) = 620.86 kN m

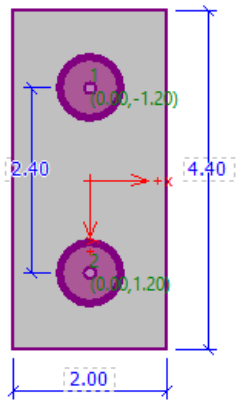
Mputir = 5.58 kN m (tidak diperhitungkan karena nilainya kecil)

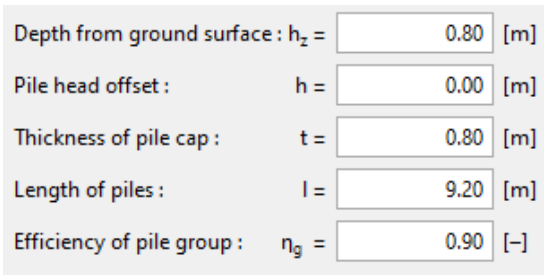
5. Pemodelan konfigurasi tiang pada kelompok tiang (*pile group*) dilakukan dengan mengacu pada ketentuan teknis yang tercantum dalam *Shop Drawing*.



Gambar 4. 163 Pemodelan Struktur P9 sesuai Shop Drawing

(Sumber : Pemodelan GEO5)

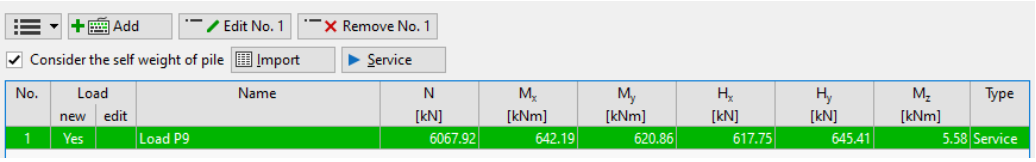




Gambar 4. 164 Geometri P9

(Sumber : Pemodelan GEO5)

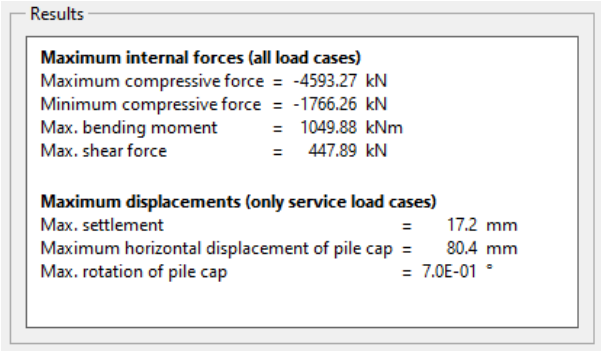
6. Masukan beban layan.



Gambar 4. 165 Memasukan Beban Layan dari hasil SAP2000

(Sumber : Pemodelan GEO5)

7. Analisis dilakukan menggunakan pemodelan *Pile Group* untuk memperoleh besaran gaya aksial maksimum (P_{maks}), gaya aksial minimum (P_{min}), momen lentur (*bending moment*), dan gaya geser (*shear force*).



Gambar 4. 166 Hasil Analisa P9 diaplikasi GEO5

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Pmax = 4593.27 kN

Pmin = 1766.26 kN

Bending Momen = 1049.88 kN m

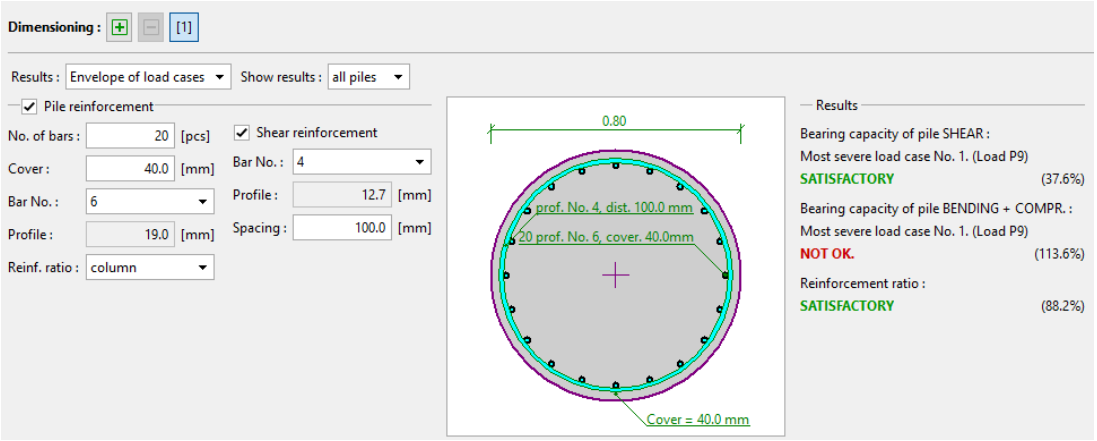
Shear Max = 447.89 kN

Efisiensi Kelompok = $1 - \frac{\theta}{90}\left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn}\right]$

$1 - \frac{18{,}43}{90}\ x\ 0.500$

0.90 (Koreksi Eg Metode Converse & Labarre)

8. Analisis Kapasitas Tulangan Terpasang Daerah Momen Maksimum.



Gambar 4. 167 Hasil Analisa Tulangan pada P9

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Verification of cross section in bending and compression:
Most severe load case No. 1. (Load P9)
Pile diameter: d=0.80m
Reinforcement - 20 pc bar No. 6; cover 40.0 mm
Type of structure (reinforcement ratio) : column
Reinforcement ratio ρ = 1.134 % > 1.000 % = ρ_{min}
Load : P_u = 4595.09 kN (compression) ; M_u = 1056.86 kNm
Bearing capacity : ϕP_n = 4043.55 kN; ϕM_n = 930.01 kNm
Designed pile reinforcement is NOT SATISFACTORY
Verification of cross section in shear:
Most severe load case No. 1. (Load P9)
Shear reinf. - bar No. 4; spacing 100.0 mm
A_v = 2 x 1266.8 = 2533.5 mm²
Ultimate shear force: ϕV_n = 1191.81 kN > 448.17 kN = V_u
Cross-section is SATISFACTORY.
only minimal shear reinforcement

Gambar 4. 168 Verifikasi P9

(Sumber : Pemodelan GEO5)

9. Pemeriksaan rasio daya dukung dilakukan untuk memastikan keamanan fondasi terhadap beban yang bekerja. Kontrol Rasio Qg > 1, Daya dukung fondasi memenuhi, Qg < 1, menggunakan Metode Mayerhof.

- Tekan (Digunakan Data *Bore Hole* 1)

$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmax} = \frac{0.90\text{x}5090.76}{4593.27} = 1.47(Ok\ Aman)$$

- Tekan (Digunakan Data *Bore Hole* 2)

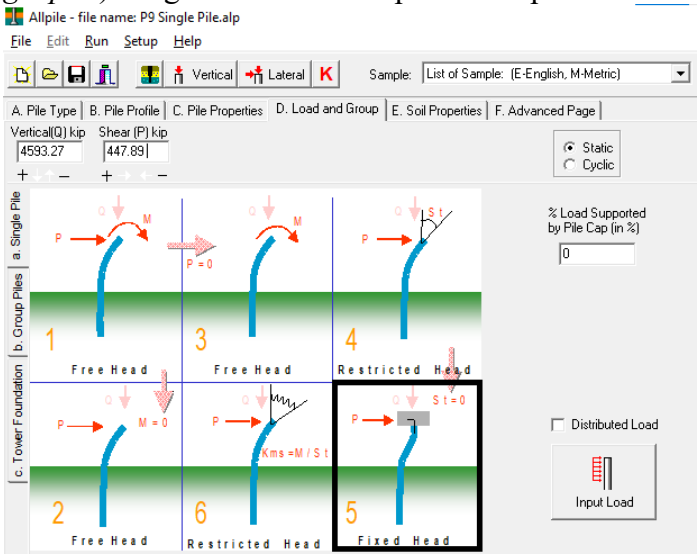
$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmax} = \frac{0.90\text{x}5090.76}{4593.27} = 1.19\ (Ok\ Aman)$$

- Tekan (Digunakan Data *Bore Hole* 3)

$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmax} = \frac{0.90\text{x}5090{,}76}{4593.27} = 0.99\ (Tidak\ Aman)$$

10. Evaluasi defleksi lateral dan penurunan (*settlement*) pada tiang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak **Allpile 7.0**.

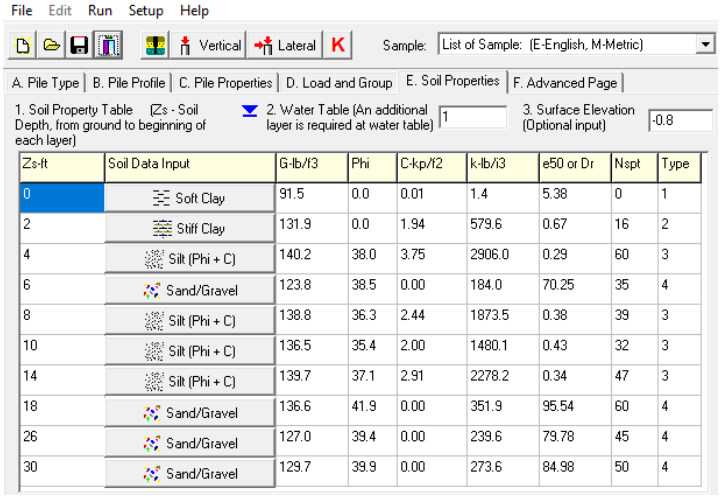
- Evaluasi defleksi lateral dianalisis berdasarkan pendekatan tiang tunggal (*single pile*) dengan memasukkan parameter pembebanan sebagai berikut:



Gambar 4. 169 Memasukan Beban Layan untuk Singel Pile

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Penentuan parameter dan profil data tanah diselaraskan dengan hasil pengujian *Bore Hole* yang dipilih.

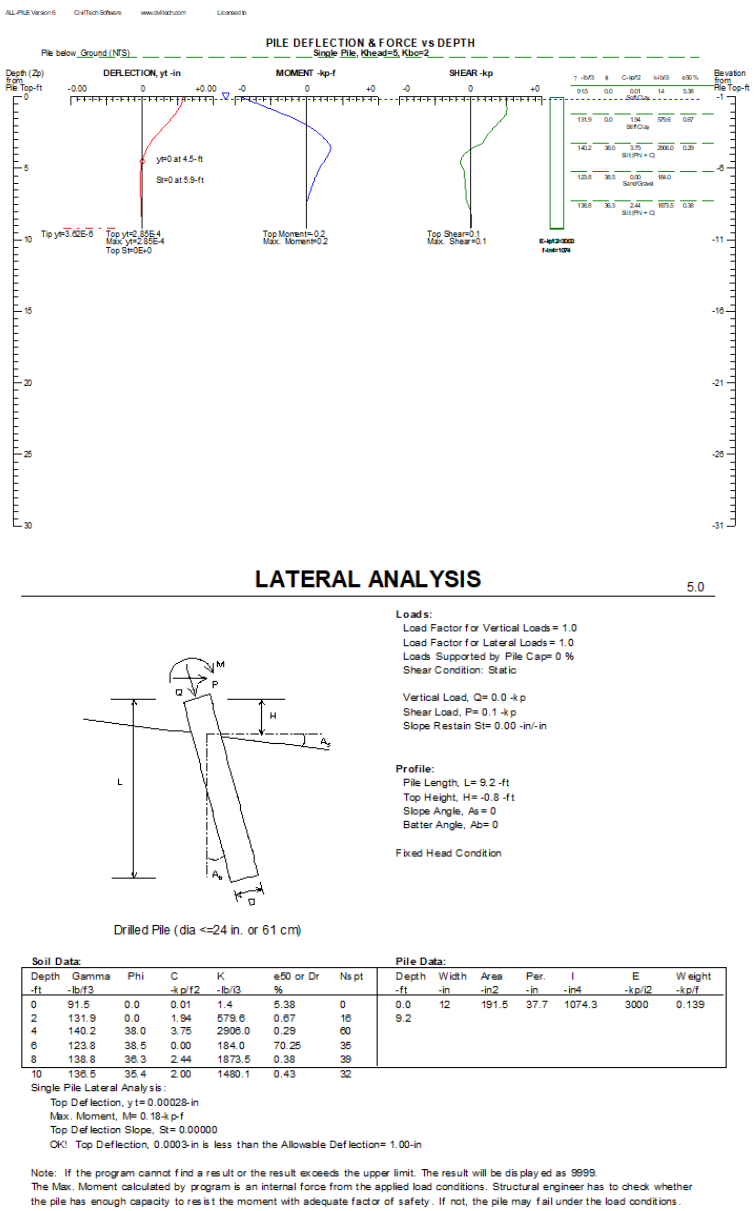


Zs-ft	Soil Data Input	G-lb/f3	Phi	C-kp/f2	k-lb/i3	e50 or Dr	Nspt	Type
0	Soft Clay	91.5	0.0	0.01	1.4	5.38	0	1
2	Stiff Clay	131.9	0.0	1.94	579.6	0.67	16	2
4	Silt (Phi + C)	140.2	38.0	3.75	2906.0	0.29	60	3
6	Sand/Gravel	123.8	38.5	0.00	184.0	70.25	35	4
8	Silt (Phi + C)	138.8	36.3	2.44	1873.5	0.38	39	3
10	Silt (Phi + C)	136.5	35.4	2.00	1480.1	0.43	32	3
14	Silt (Phi + C)	139.7	37.1	2.91	2278.2	0.34	47	3
18	Sand/Gravel	136.6	41.9	0.00	351.9	95.54	60	4
26	Sand/Gravel	127.0	39.4	0.00	239.6	79.78	45	4
30	Sand/Gravel	129.7	39.9	0.00	273.6	84.98	50	4

Gambar 4. 170 Parameter dan Profil Tanah

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Analisis Defleksi Lateral.



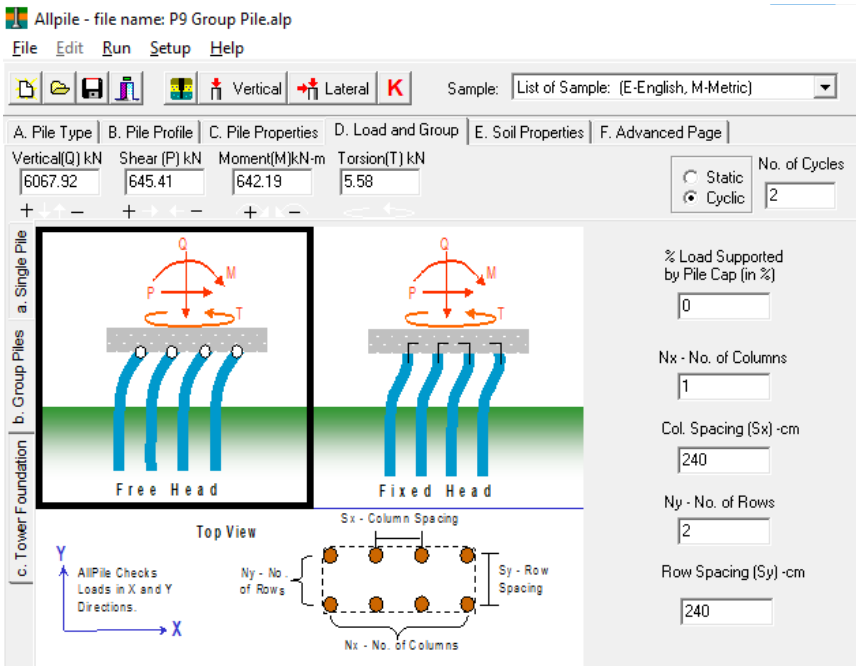
Gambar 4. 171 Hasil Analisa Defleksi Lateral

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Defleksi lateral = 0.00 mm

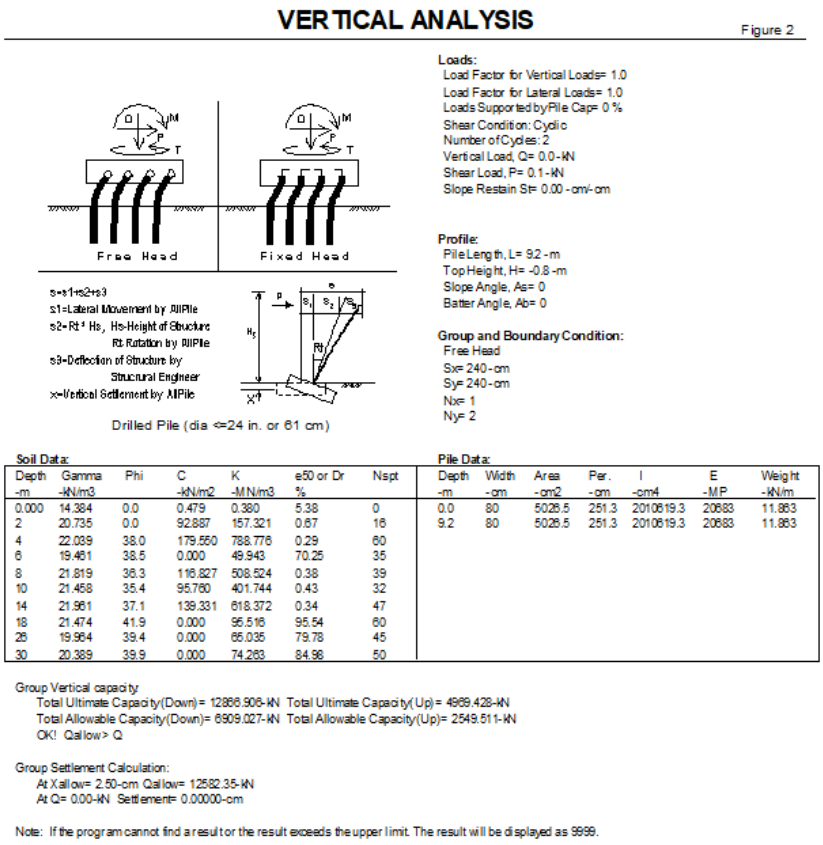
Kesimpulan = Memenuhi

- Analisis penurunan (*settlement*) ditinjau berdasarkan perilaku kelompok tiang (*group pile*). Penurunan fondasi yang diijinkan adalah sebesar 2.5 cm (SNI 8460:2017).



Gambar 4. 172 Memasukan Load P9 untuk Group Pile

(Sumber : Pemodelan AllPile)



VERTICAL ANALYSIS

Figure 2

Loads:
Load Factor for Vertical Loads= 1.0
Load Factor for Lateral Loads= 1.0
Loads Supported by Pile Cap= 0 %
Shear Condition: Cyclic
Number of Cycles: 2
Vertical Load, Q= 0.0 -kN
Shear Load, P= 0.1 -kN
Slope Restain St= 0.00 -cm/-cm

Profile:
Pile Length, L= 9.2 -m
Top Height, H= -0.8 -m
Slope Angle, As= 0
Batter Angle, Ab= 0

Group and Boundary Condition:
Free Head
Sx= 240 -cm
Sy= 240 -cm
Nx= 1
Ny= 2

Free Head Fixed Head

s=s1+s2+s3
s1=Lateral Movement by AllPile
s2=Rt * Hs, Hs=Height of Structure
Rt:Rotation by AllPile
s3=Deflection of Structure by Structural Engineer
x=Vertical Settlement by AllPile

Drilled Pile (dia <=24 in. or 61 cm)

Soil Data:

Depth -m	Gamma -kN/m3	Phi	C -kN/m2	K -MN/m3	e50 or Dr %	Nspt
0.000	14.384	0.0	0.479	0.380	5.38	0
2	20.735	0.0	92.887	157.321	0.67	16
4	22.039	38.0	179.550	788.776	0.29	60
6	19.461	38.5	0.000	49.943	70.25	35
8	21.819	36.3	116.827	508.524	0.38	39
10	21.458	35.4	95.760	401.744	0.43	32
14	21.961	37.1	139.331	618.372	0.34	47
18	21.474	41.9	0.000	95.516	95.54	60
26	19.964	39.4	0.000	65.035	79.78	45
30	20.389	39.9	0.000	74.263	84.98	50

Pile Data:

Depth -m	Width -cm	Area -cm2	Per. -cm	I -cm4	E -MP	Weight -kN/m
0.0	80	5026.5	251.3	2010619.3	20683	11.863
9.2	80	5026.5	251.3	2010619.3	20683	11.863

Group Vertical capacity
Total Ultimate Capacity(Down)= 12866.906-kN Total Ultimate Capacity(Up)= 4969.428-kN
Total Allowable Capacity(Down)= 6909.027-kN Total Allowable Capacity(Up)= 2549.511-kN
OK! Qallow> Q

Group Settlement Calculation:
At Xallow= 2.50-cm Qallow= 12582.35-kN
At Q= 0.00-kN Settlement= 0.00000-cm

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.

Gambar 4. 173 Hasil Analisa Setlement

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Setlement = 0.00 mm (Memenuhi)

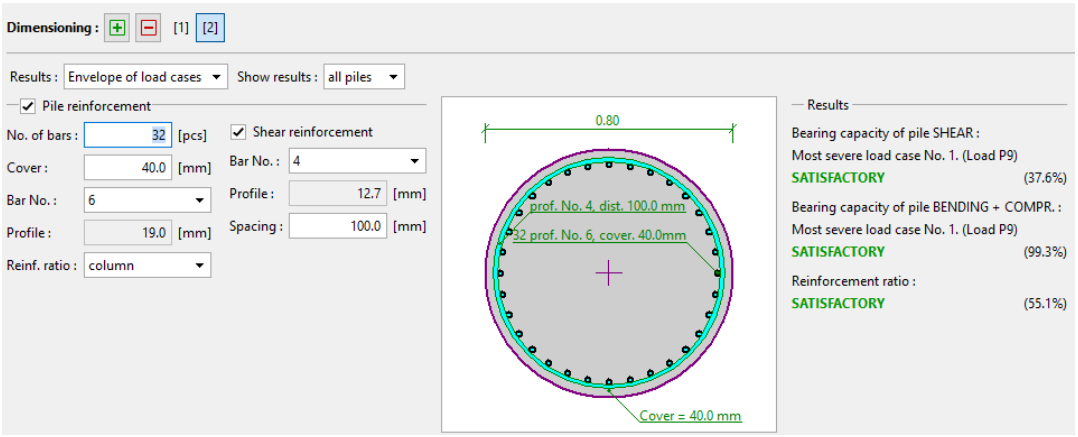
Tabel 4. 53 Ringkasan Hasil Analisis Fondasi Tipe P9

	Hasil Kontrol	Nilai Rujukan	Keterangan
Rasio Daya Dukung Tekan	0.90	> 1,00	Gagal
Rasio Daya Dukung Tarik	2.59	> 1,00	Aman
Penulangan *Bore pile*	ΦMn < Mu	ΦMn > Mu	Gagal
Setlement	0.00 mm	< 25 mm (NAVFAC DM 7.02 (*Founda ons and Earth Structures*))	Aman
Defleksi Lateral	0.00 mm	< 25 mm (SNI 8460:2017)	Aman

(Sumber : Data Penulis)

11. Rekomendasi Penulangan dan Daya Dukung

- Penulangan *Bored Pile*: Berdasarkan hasil analisis, kapasitas momen nominal tiang belum memenuhi kebutuhan beban terfaktor (*Mn* < *Mu*). Hal ini mengindikasikan bahwa jumlah tulangan eksisting belum memadai untuk memenuhi rasio penulangan yang disyaratkan. Oleh karena itu, konfigurasi tulangan awal (20D19) direkomendasikan untuk ditingkatkan menjadi 32D19.
- Rekomendasi Penulangan: Perubahan penulangan direkomendasikan pada *Pile P9*



Gambar 4. 174 Evaluasi Penulangan pada P9

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Kapasitas daya dukung pada rancangan *Pile Cap* P9 memerlukan evaluasi ulang. Secara teoritis, peningkatan kapasitas daya dukung tekan maupun tarik dapat dilakukan melalui modifikasi konfigurasi kelompok tiang atau penambahan kedalaman penanaman tiang (*embedment depth*). Namun, mengingat struktur bangunan di lapangan telah selesai dibangun dan aktif beroperasi, langkah modifikasi fisik fondasi bawah tanah tidak memungkinkan untuk dilaksanakan.

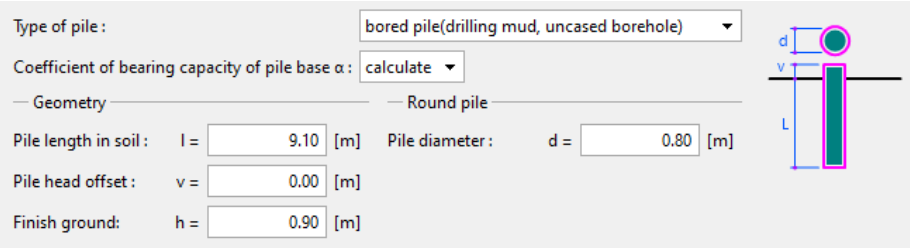
Saran Teknis Fondasi P9 untuk Bangunan Eksisting:

- Evaluasi Kapasitas Aktual Melalui Pengujian PDA (*Pile Driving Analyzer*): Melakukan re-evaluasi data kapasitas dukung aksial (tekan dan cabut/tarik) berdasarkan hasil pengujian dinamik *Pile Driving Analyzer* (PDA *Test*) atau pengujian beban aksial terpasang di lapangan untuk mendapatkan nilai daya dukung aktual (*actual bearing capacity*).
- Audit Struktur dan Pembatasan Beban Layan (*Load Restriction*): Jika hasil analisis aktual menunjukkan kapasitas terbatas, dilakukan pembatasan beban hidup (*live load*) atau re-alokasi fungsi ruang pada area struktur di atas *Pile Cap* P8 guna memastikan beban kerja tidak melebihi daya dukung izin terpasang.

Pemantauan Deformasi dan Penurunan (*Settlement Monitoring*): Melakukan pemantauan penurunan secara berkala (*periodic settlement monitoring*) pada area sekitar P9 untuk memverifikasi bahwa tidak terjadi penurunan diferensial (*differential settlement*) yang melebihi batas toleransi izin.

4.4.2.13 Kasus P10

1. Hitung daya dukung tiang tunggal menggunakan analisis *Pile CPT*.
2. Pemodelan struktur tiang wajib disesuaikan dengan *Shop Drawing*.



Gambar 4. 175 Pemodelan Pile CPT diAplikasi GEO5

(Sumber : Pemodelan GEO5)

3. Analisis dilakukan dengan menginput tiga data *Bore Hole*, di mana nilai daya dukung terkecil yang diperoleh digunakan sebagai acuan. Spesifikasi tiang disesuaikan secara presisi dengan desain eksisting, yaitu diameter 80 cm dan

panjang kedalaman L = 9,1 m. Berdasarkan parameter tersebut, diperoleh nilai daya dukung izin tiang tunggal (P*ijin*) sebagai berikut.

Tabel 4. 54 Data Daya Dukung Tanah

Data Tanah	BH 1	BH 2	BH 3
Skin Friction	1986.62kN	1683.18kN	1807.82kN
Point Bearing	6031.86kN	4724.96kN	3216.99kN
Bearing Capacity	8018.48kN	6408.13kN	5024.81kN

(Sumber : DEEP DRILLING & SPT TEST.pdf)

(digunakan daya dukung paling kecil)

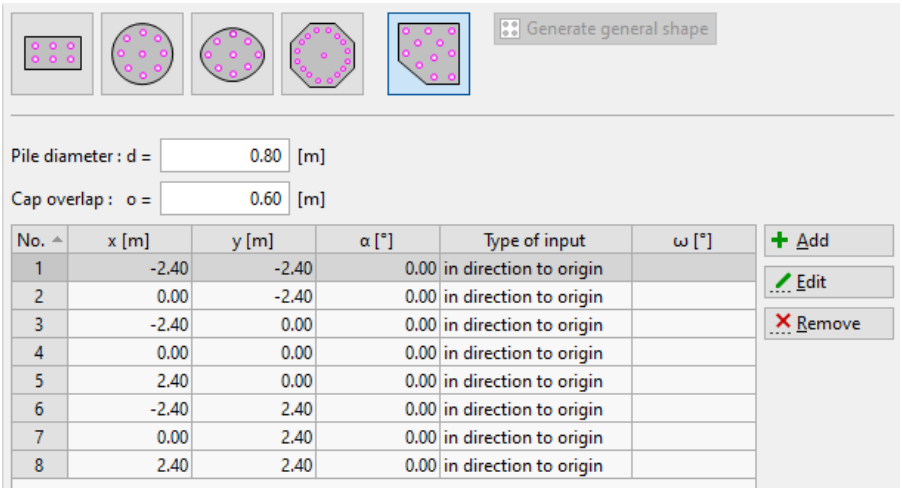
4. Reaksi perletakan (*Joint Reaction*) pada kolom yang ditumpu oleh *Pile Cap* P10 diperoleh dari luaran analisis program SAP2000, dengan mengacu pada *Shop Drawing* Lembar 2 (Denah Fondasi *Pile Cap*. Sebagai informasi bahwasanya Pile Cap P0038 bekerja dengan menopang 12 kolom. Yakni pada *Join Reaction* :

   1011, 1044, dan 1122.

Reaksi perletakan dari tiap kelompok kolom dijumlahkan secara kumulatif, kemudian nilai terbesar (maksimum) dari kedua kelompok tersebut diambil sebagai beban rencana dengan hasil sebagai berikut:

Hx (F^1) = 800,67 kN
Hy (F^2) = 1310,90 kN
P (F^3) = 9300,26 kN
Mx (M^1) = 1630,53 kN m
My (M^2) = 1206,89 kN m
Mputir = 14,01 kN m (tidak diperhitungkan karena nilainya kecil)

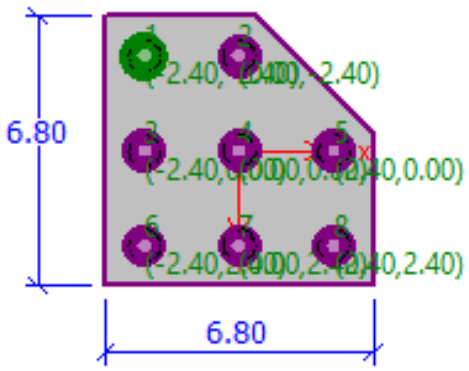
5. Pemodelan konfigurasi tiang pada kelompok tiang (*pile group*) dilakukan dengan mengacu pada ketentuan teknis yang tercantum dalam *Shop Drawing*.



No.	x [m]	y [m]	α [°]	Type of input	ω [°]
1	-2.40	-2.40	0.00	in direction to origin	
2	0.00	-2.40	0.00	in direction to origin	
3	-2.40	0.00	0.00	in direction to origin	
4	0.00	0.00	0.00	in direction to origin	
5	2.40	0.00	0.00	in direction to origin	
6	-2.40	2.40	0.00	in direction to origin	
7	0.00	2.40	0.00	in direction to origin	
8	2.40	2.40	0.00	in direction to origin	

Gambar 4. 176 Pemodelan Struktur P10 sesuai Shop Drawing

(Sumber : Pemodelan GEO5)

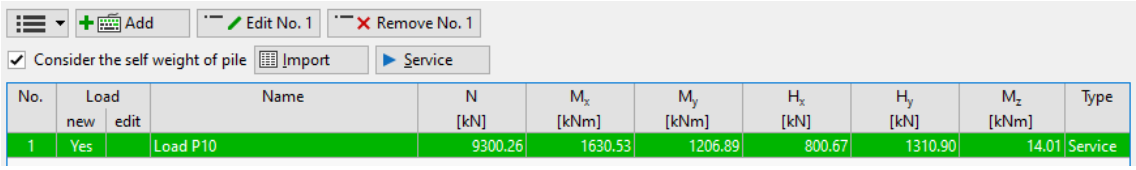


Depth from ground surface : h_z =		0.90	[m]
Pile head offset :	h =	0.00	[m]
Thickness of pile cap :	t =	0.90	[m]
Length of piles :	l =	9.10	[m]
Efficiency of pile group :	η_g =	0.69	[–]

Gambar 4. 177 Geometri P10

(Sumber : Pemodelan GEO5)

6. Masukan beban layan.

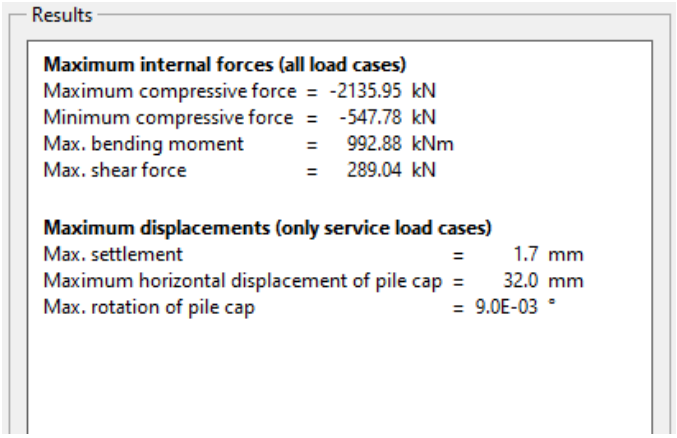


No.	Load new	Load edit	Name	N [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	H_x [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	Type
1	Yes		Load P10	9300.26	1630.53	1206.89	800.67	1310.90	14.01	Service

Gambar 4. 178 Memasukan Beban Layan dari Hasil SAP2000

(Sumber : Pemodelan GEO5)

7. Analisis dilakukan menggunakan pemodelan *Pile Group* untuk memperoleh besaran gaya aksial maksimum (P_{maks}), gaya aksial minimum (P_{min}), momen lentur (*bending moment*), dan gaya geser (*shear force*).



Gambar 4. 179 Hasil Analisa P10 diAplikasi GEO5

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Pmax = 2135.95 kN

Pmin = 547.78kN

Bending Momen = 992.88 kN m

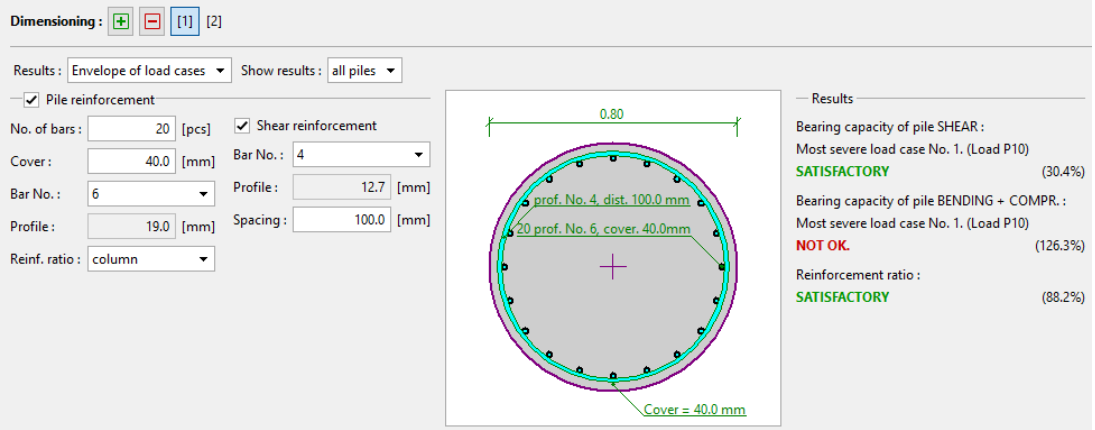
Shear Max = 289.04 kN

Efisiensi Kelompok = $1 - \frac{\theta}{90}\left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn}\right]$

$1 - \frac{18{,}43}{90}\ x\ 1.5$

0.69 (Koreksi Eg Metode Converse & Labarre)

8. Analisis Kapasitas Tulangan Terpasang Daerah Momen Maksimum.



Gambar 4. 180 Hasil Analisa Tulangan pada P10

(Sumber : Pemodelan GEO5)

Verification of cross section in bending and compression:
Most severe load case No. 1. (Load P10)
Pile diameter: d=0.80m
Reinforcement - 20 pc bar No. 6; cover 40.0 mm
Type of structure (reinforcement ratio) : column
Reinforcement ratio ρ = 1.134 % > 1.000 % = ρ_{min}
Load : P_u = 547.78 kN (compression) ; M_u = 992.88 kNm
Bearing capacity : ϕP_n = 433.77 kN; ϕM_n = 786.23 kNm
Designed pile reinforcement is NOT SATISFACTORY
Verification of cross section in shear:
Most severe load case No. 1. (Load P10)
Shear reinf. - bar No. 4; spacing 100.0 mm
A_v = 2 x 1266.8 = 2533.5 mm²
Ultimate shear force: ϕV_n = 950.08 kN > 289.04 kN = V_u
Cross-section is SATISFACTORY.
only minimal shear reinforcement

Gambar 4. 181 Verifikasi Tulangan P10

(Sumber : Pemodelan GEO5)

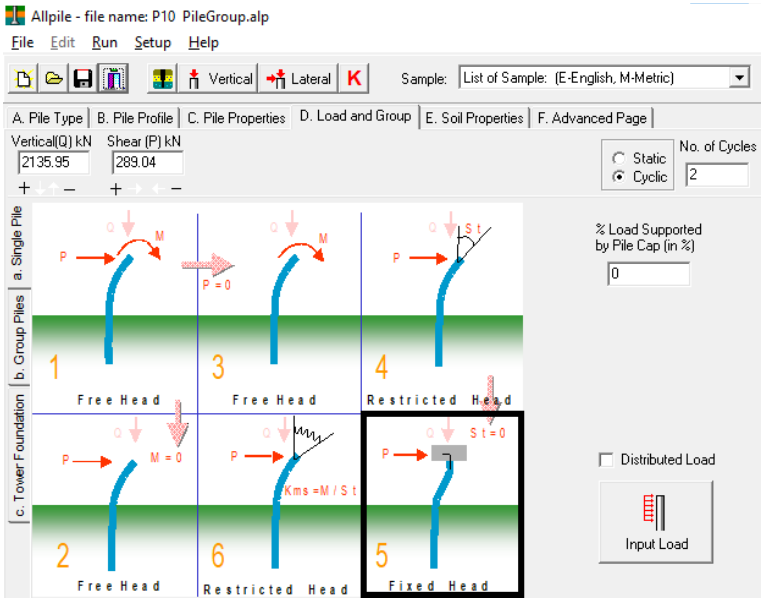
9. Pemeriksaan rasio daya dukung dilakukan untuk memastikan keamanan fondasi terhadap beban yang bekerja. Kontrol Rasio Qg > 1, Daya dukung fondasi memenuhi, Qg < 1, menggunakan Metode Mayerhof.

   - Tekan (Digunakan Data *Bore Hole* 3)

$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmax} = \frac{0.69\text{x}5024.81}{2135.95} = 1.63(Ok\ Aman)$$

10. Evaluasi defleksi lateral dan penurunan (*settlement*) pada tiang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak **Allpile 7.0**.

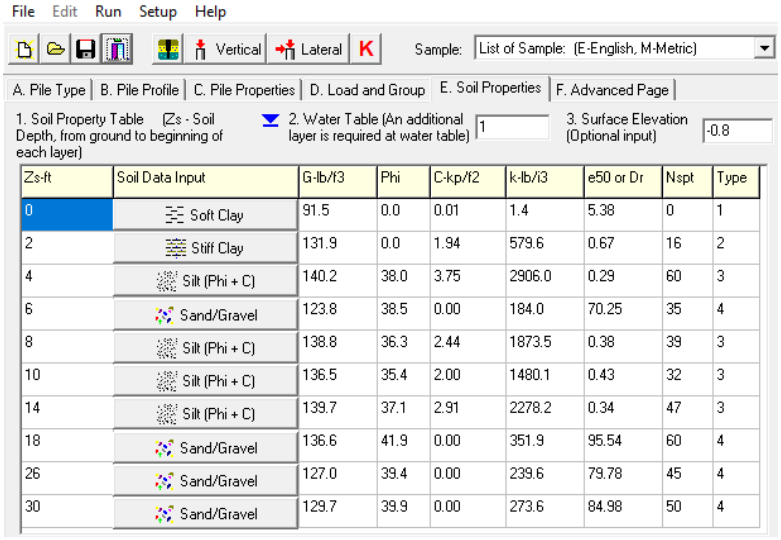
    - Evaluasi defleksi lateral dianalisis berdasarkan pendekatan tiang tunggal (*single pile*) dengan memasukkan parameter pembebanan sebagai berikut:



Gambar 4. 182 Memasukan Beban Layan pada Single Pile

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Penentuan parameter dan profil data tanah diselaraskan dengan hasil pengujian *Bore Hole* yang dipilih.

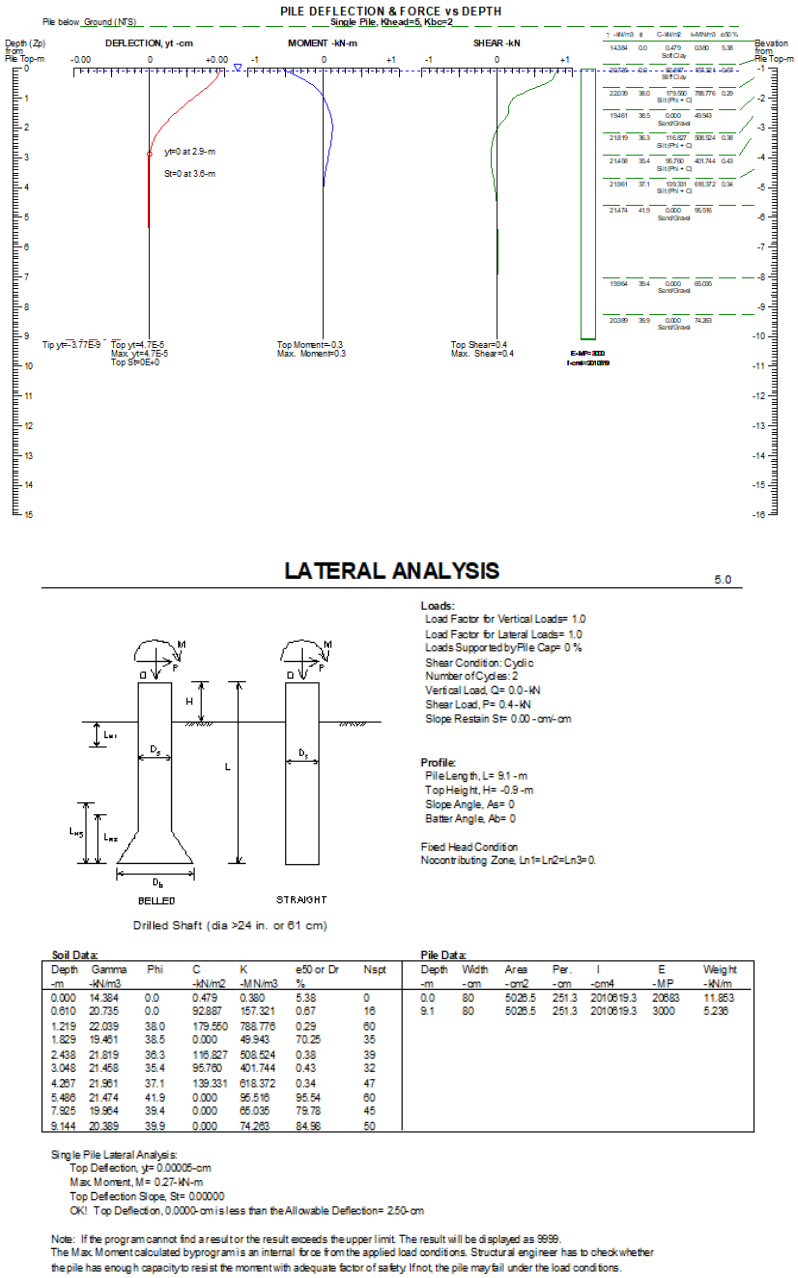


Zs-ft	Soil Data Input	G-lb/f3	Phi	C-kp/f2	k-lb/i3	e50 or Dr	Nspt	Type
0	Soft Clay	91.5	0.0	0.01	1.4	5.38	0	1
2	Stiff Clay	131.9	0.0	1.94	579.6	0.67	16	2
4	Silt (Phi + C)	140.2	38.0	3.75	2906.0	0.29	60	3
6	Sand/Gravel	123.8	38.5	0.00	184.0	70.25	35	4
8	Silt (Phi + C)	138.8	36.3	2.44	1873.5	0.38	39	3
10	Silt (Phi + C)	136.5	35.4	2.00	1480.1	0.43	32	3
14	Silt (Phi + C)	139.7	37.1	2.91	2278.2	0.34	47	3
18	Sand/Gravel	136.6	41.9	0.00	351.9	95.54	60	4
26	Sand/Gravel	127.0	39.4	0.00	239.6	79.78	45	4
30	Sand/Gravel	129.7	39.9	0.00	273.6	84.98	50	4

Gambar 4. 183 Parameter dan Profil Tanah

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Analisis Defleksi Lateral.



Depth -m	Gamma -kN/m3	Phi	C -kN/m2	K -MN/m3	e50 or Dr %	Nspt
0.000	14.384	0.0	0.479	0.380	5.38	0
0.610	20.735	0.0	92.887	157.321	0.67	16
1.219	22.039	38.0	179.550	788.776	0.29	60
1.829	19.461	38.5	0.000	49.943	70.25	35
2.438	21.819	36.3	116.827	508.524	0.38	39
3.048	21.458	35.4	95.760	401.744	0.43	32
4.267	21.961	37.1	139.331	618.372	0.34	47
5.486	21.474	41.9	0.000	95.516	95.54	60
7.925	19.964	39.4	0.000	65.035	79.78	45
9.144	20.389	39.9	0.000	74.263	84.98	50

Depth -m	Width -cm	Area -cm2	Per. -cm	I -cm4	E -MP	Weight -kN/m
0.0	80	5026.5	251.3	2010619.3	20683	11.853
9.1	80	5026.5	251.3	2010619.3	3000	5.236

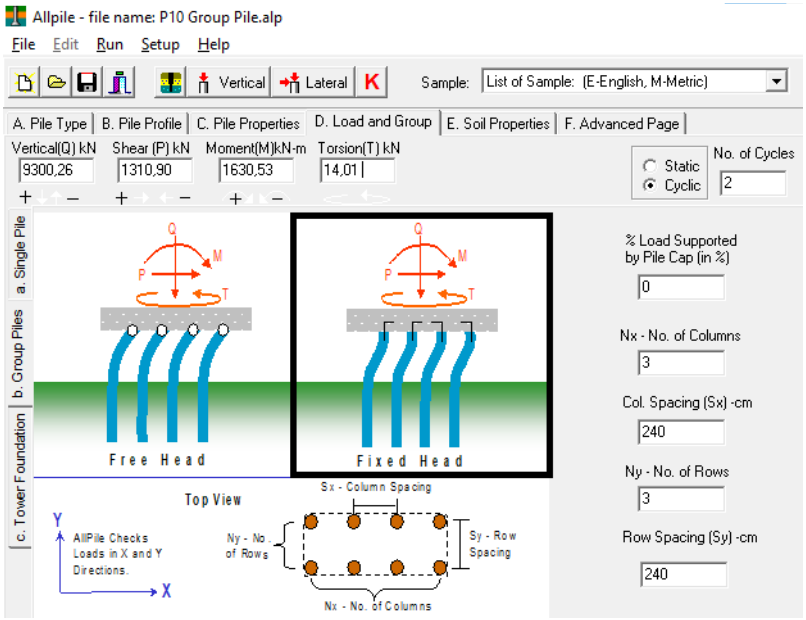
Gambar 4. 184 Hasil Analisa Defleksi Lateral

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Defleksi lateral = 0.00 mm

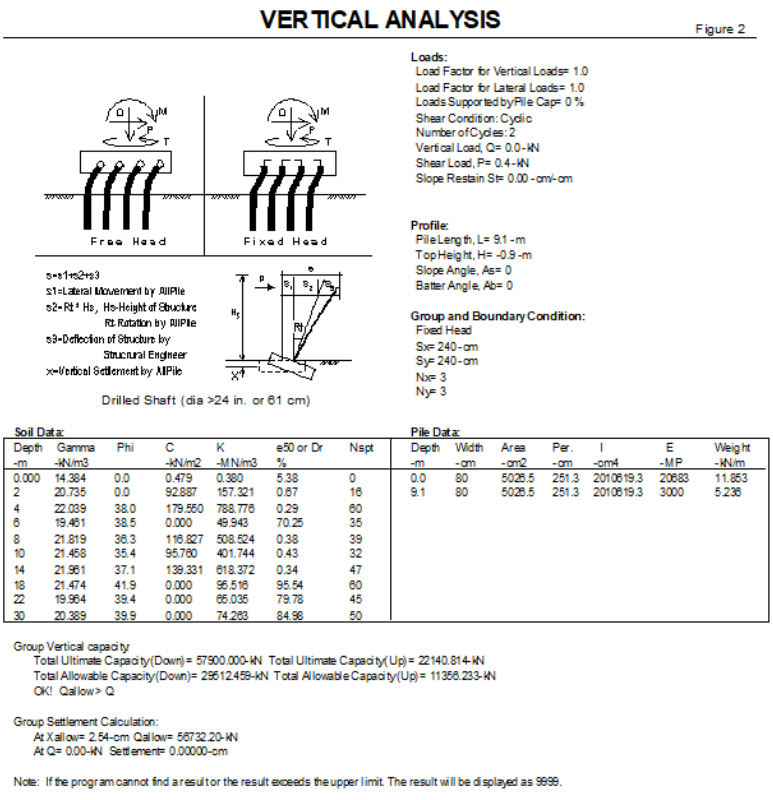
Kesimpulan = Memenuhi

- Analisis penurunan (*settlement*) ditinjau berdasarkan perilaku kelompok tiang (*group pile*). Penurunan fondasi yang diijinkan adalah sebesar 2.5 cm (SNI 8460:2017).



Gambar 4. 185 Input Load P10 untuk Group Pile

(Sumber : Pemodelan AllPile)



VERTICAL ANALYSIS

Figure 2

Free Head Fixed Head

s=s1+s2+s3
s1=Lateral Movement by AllPile
s2=Rt * Hs, Hs-Height of Structure
Rt-Rotation by AllPile
s3=Deflection of Structure by Structural Engineer
x=Vertical Settlement by AllPile

Drilled Shaft (dia >24 in. or 61 cm)

Loads:
Load Factor for Vertical Loads= 1.0
Load Factor for Lateral Loads= 1.0
Loads Supported by Pile Cap= 0 %
Shear Condition: Cyclic
Number of Cycles: 2
Vertical Load, Q= 0.0 -kN
Shear Load, P= 0.4 -kN
Slope Restain St= 0.00 -cm/-cm

Profile:
Pile Length, L= 9.1 -m
Top Height, H= -0.9 -m
Slope Angle, As= 0
Batter Angle, Ab= 0

Group and Boundary Condition:
Fixed Head
Sx= 240 -cm
Sy= 240 -cm
Nx= 3
Ny= 3

Soil Data:

Depth -m	Gamma -kN/m3	Phi	C -kN/m2	K -MN/m3	e50 or Dr %	Nspt
0.000	14.384	0.0	0.479	0.380	5.38	0
2	20.735	0.0	92.887	157.321	0.67	16
4	22.039	38.0	179.550	788.776	0.29	60
6	19.461	38.5	0.000	49.943	70.25	35
8	21.819	36.3	116.827	508.524	0.38	39
10	21.458	35.4	95.760	401.744	0.43	32
14	21.961	37.1	139.331	618.372	0.34	47
18	21.474	41.9	0.000	95.516	95.54	60
22	19.964	39.4	0.000	65.035	79.78	45
30	20.389	39.9	0.000	74.263	84.98	50

Pile Data:

Depth -m	Width -cm	Area -cm2	Per. -cm	I -cm4	E -MP	Weight -kN/m
0.0	80	5026.5	251.3	2010619.3	20683	11.853
9.1	80	5026.5	251.3	2010619.3	3000	5.236

Group Vertical capacity
Total Ultimate Capacity(Down)= 57900.000-kN Total Ultimate Capacity(Up)= 22140.814-kN
Total Allowable Capacity(Down)= 29512.459-kN Total Allowable Capacity(Up)= 11356.233-kN
OK! Qallow > Q

Group Settlement Calculation:
At Xallow= 2.54-cm Qallow= 56732.20-kN
At Q= 0.00-kN Settlement= 0.00000-cm

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.

Gambar 4. 186 Hasil Analisa Setlement

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Setlement = 0.00 mm (Memenuhi)

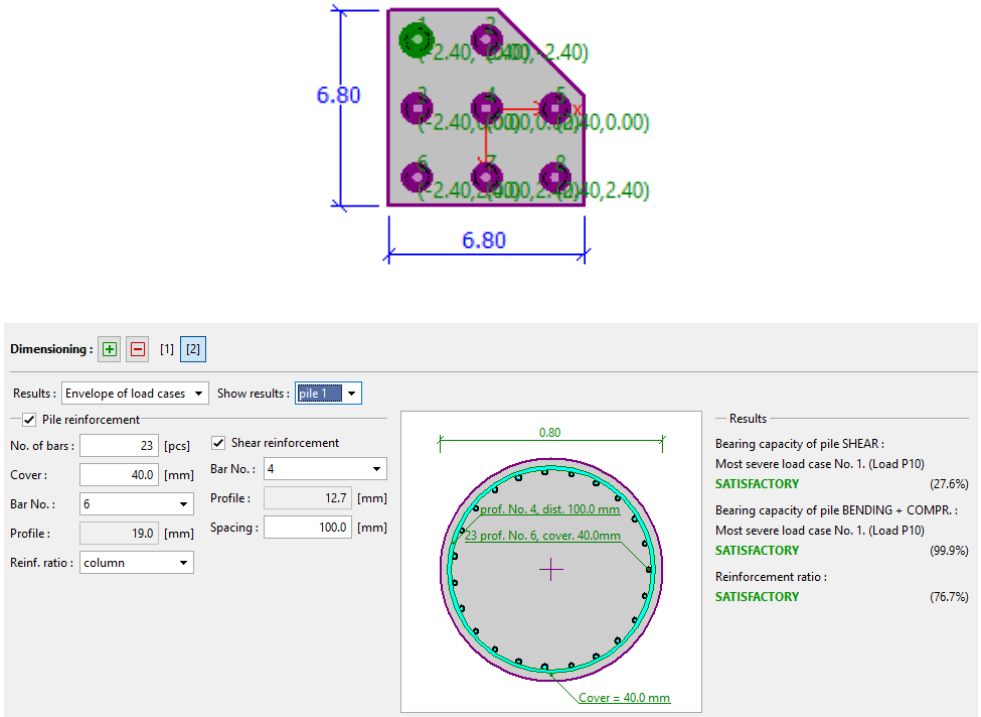
Tabel 4. 55 Ringkasan Hasil Analisis Fondasi Tipe P10

	Hasil Kontrol	Nilai Rujukan	Keterangan
Rasio Daya Dukung Tekan	1.61	> 1,00	Aman
Penulangan *Bore pile*	ΦMn < Mu	ΦMn > Mu	Gagal
Setlement	0.00 mm	< 25 mm (NAVFAC DM 7.02 (*Founda ons and Earth Structures*))	Aman
Defleksi Lateral	0.00 mm	< 25 mm (SNI 8460:2017)	Aman

(Sumber : Data Penulis)

11. Rekomendasi Daya Dukung

- Penulangan *Bored Pile*: Berdasarkan hasil analisis, kapasitas momen nominal tiang belum memenuhi kebutuhan beban terfaktor (*Mn* < *Mu*). Hal ini mengindikasikan bahwa jumlah tulangan eksisting belum memadai untuk memenuhi rasio penulangan yang disyaratkan. Oleh karena itu, konfigurasi tulangan awal (20D19) direkomendasikan untuk ditingkatkan menjadi 23D19 khusus pada *Pile* 1 (P1).
- Rekomendasi Penulangan: Perubahan penulangan direkomendasikan pada *Pile 1* (P1), sebagaimana ditandai dengan warna hijau pada Gambar dibawah ini.



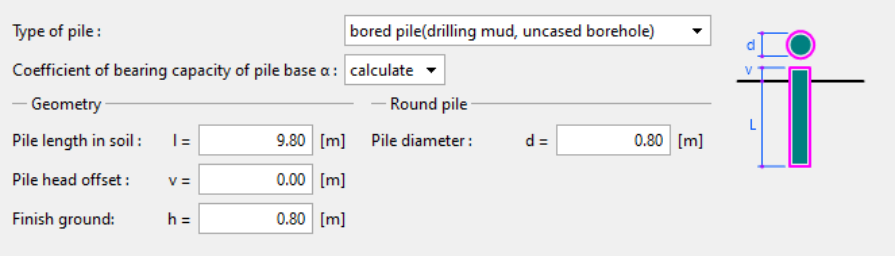
Gambar 4. 187 Evaluasi Penulangan pada P10

(Sumber : Pemodelan GEO5)

4.4.2.14 Kasus P11

1. Hitung daya dukung tiang tunggal menggunakan analisis *Pile CPT*.

2. Pemodelan struktur tiang wajib disesuaikan dengan *Shop Drawing*.



Gambar 4. 188 Pemodelan Pile CPT diAplikasi GEO5

(Sumber : Pemodelan GEO5)

3. Analisis dilakukan dengan menginput tiga data *Bore Hole*, di mana nilai daya dukung terkecil yang diperoleh digunakan sebagai acuan. Spesifikasi tiang disesuaikan secara presisi dengan desain eksisting, yaitu diameter 80 cm dan panjang kedalaman L = 9,2 m. Berdasarkan parameter tersebut, diperoleh nilai daya dukung izin tiang tunggal (P*ijin*) sebagai berikut.

Tabel 4. 56 Data Daya Dukung Tanah

Data Tanah	BH 1	BH 2	BH 3
Skin Faction	1994.53 kN	1688.32 kN	1813.18 kN
Point Bearing	6031.86 kN	4724.96 kN	3216.99 kN
Bearing Capacity	8026,39 kN	6413.27 kN	5030.17 kN

(Sumber : DEEP DRILLING & SPT TEST.pdf)

(digunakan daya dukung paling kecil)

4. Reaksi perletakan (*Joint Reaction*) pada kolom yang ditumpu oleh *Pile Cap* P9 diperoleh dari luaran analisis program SAP2000, dengan mengacu pada *Shop Drawing* Lembar 2 (Denah Fondasi *Pile Cap*. Sebagai informasi bahwasanya Pile Cap P0038 bekerja dengan menopang 12 kolom. Yakni pada *Join Reaction* :

   691, 843, 845, 1102.

   Reaksi perletakan dari tiap kelompok kolom dijumlahkan secara kumulatif, kemudian nilai terbesar (maksimum) dari kedua kelompok tersebut diambil sebagai beban rencana dengan hasil sebagai berikut:

   Hx (F^1) = 237.08 kN
   Hy (F^2) = 597.47 kN
   P (F^3) = 2369.37 kN

Mx (M^1) = 622.94 kN m

My (M^2) = 528.28 kN m

Mputir = 4.23 kN m (tidak diperhitungkan karena nilainya kecil)

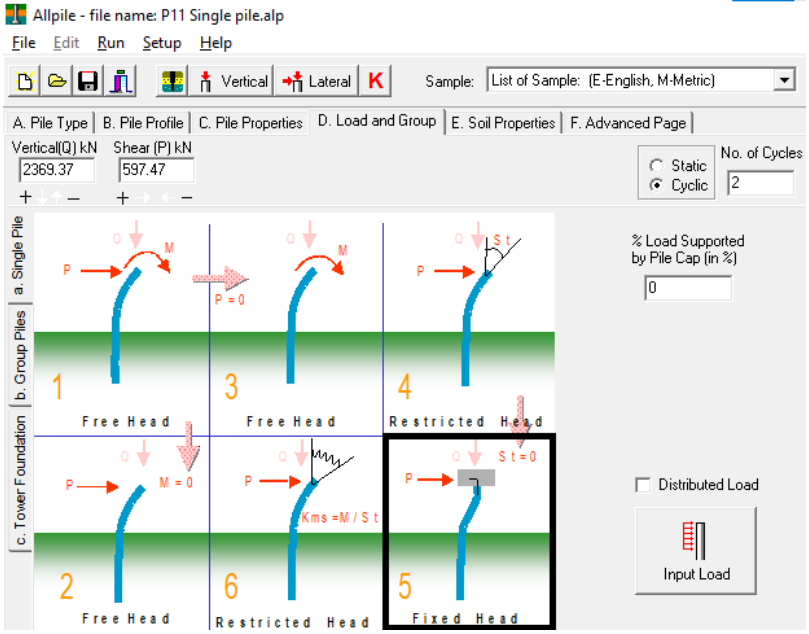
5. Pemeriksaan rasio daya dukung dilakukan untuk memastikan keamanan fondasi terhadap beban yang bekerja. Kontrol Rasio Qg > 1, Daya dukung fondasi memenuhi, Qg < 1, menggunakan Metode Mayerhof.

   - Tekan (Digunakan Data *Bore Hole* 3)

$$Rasio = \frac{egroup \text{ x } pijin}{pmax} = \frac{0.90\text{x}5030.17}{2369.37} = 2.12\ (Ok\ Aman)$$

6. Evaluasi defleksi lateral dan penurunan (*settlement*) pada tiang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak **Allpile 7.0**.

   - Evaluasi defleksi lateral dianalisis berdasarkan pendekatan tiang tunggal (*single pile*) dengan memasukkan parameter pembebanan sebagai berikut:



Gambar 4. 189 Input Load untuk Single Pile

(Sumber : Pemodelan AllPile)

   - Penentuan parameter dan profil data tanah diselaraskan dengan hasil pengujian *Bore Hole* yang dipilih.

File Edit Run Setup Help

Vertical Lateral K Sample: List of Sample: (E-English, M-Metric)

A. Pile Type | B. Pile Profile | C. Pile Properties | D. Load and Group | E. Soil Properties | F. Advanced Page

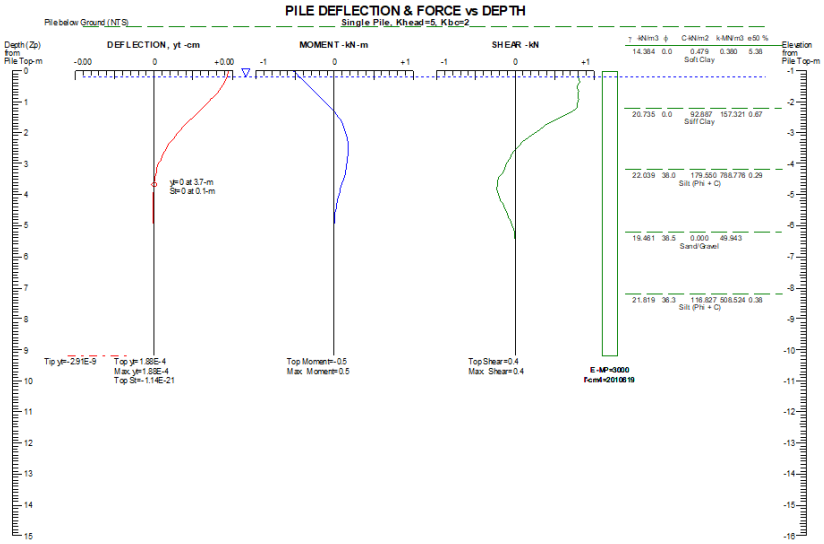
1. Soil Property Table (Zs - Soil Depth, from ground to beginning of each layer) 2. Water Table (An additional layer is required at water table) 1 3. Surface Elevation (Optional input) 0

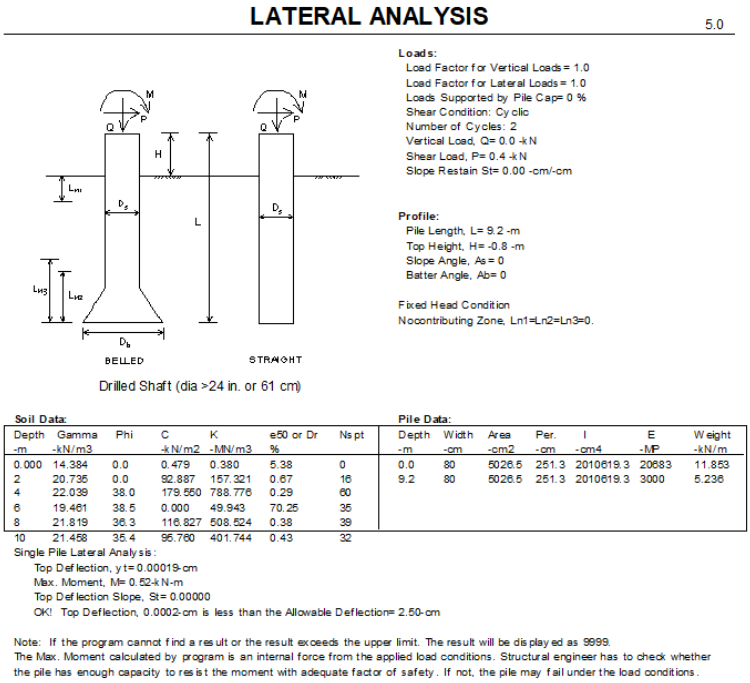
Zs-m	Soil Data Input	G-kN/m3	Phi	C-kN/m2	k-MN/m3	e50 or Dr	Nspt	Type
0.000	Soft Clay	14.384	0.0	0.479	0.380	5.38	0	1
2	Stiff Clay	20.735	0.0	92.887	157.321	0.67	16	2
4	Silt (Phi + C)[W]	22.039	38.0	179.550	788.776	0.29	60	3
6	Sand/Gravel[W]	19.461	38.5	0.000	49.943	70.25	35	4
8	Silt (Phi + C)[W]	21.819	36.3	116.827	508.524	0.38	39	3
10	Silt (Phi + C)[W]	21.458	35.4	95.760	401.744	0.43	32	3
14	Silt (Phi + C)[W]	21.961	37.1	139.331	618.372	0.34	47	3
18	Sand/Gravel[W]	21.474	41.9	0.000	95.516	95.54	60	4
26	Sand/Gravel[W]	19.964	39.4	0.000	65.035	79.78	45	4
30	Sand/Gravel[W]	20.389	39.9	0.000	74.263	84.98	50	4

Gambar 4. 190 Parameter dan Profil Tanah

(Sumber : Pemodelan AllPile)

- Analisis Defleksi Lateral.





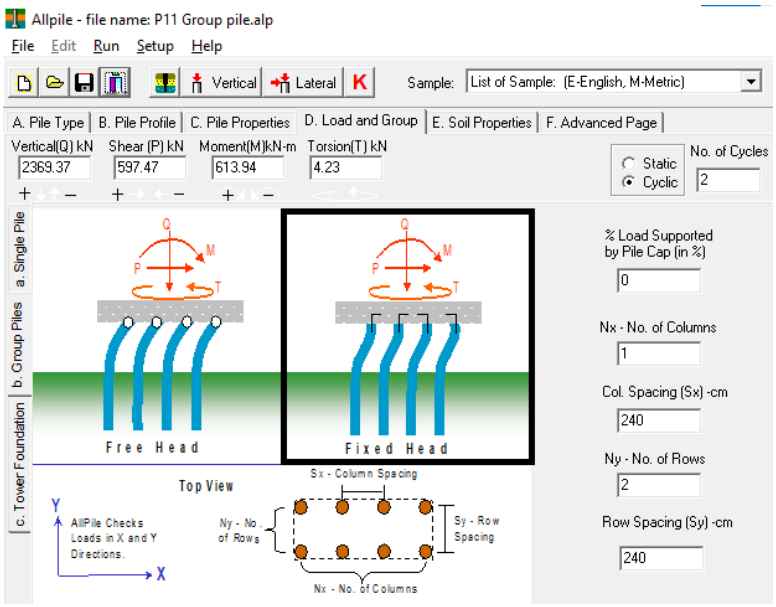
Gambar 4. 191 Hasil Analisa Defleksi Lateral

(Sumber : Pemodelan AllPile)

Defleksi lateral = 0.00 mm

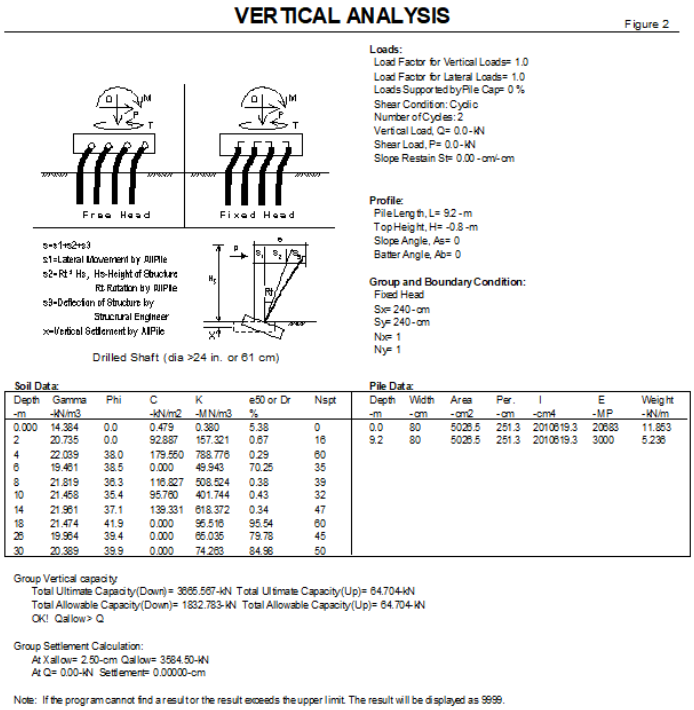
Kesimpulan = Memenuhi

- Analisis penurunan (*settlement*) ditinjau berdasarkan perilaku kelompok tiang (*group pile*). Penurunan fondasi yang diijinkan adalah sebesar 2.5 cm (SNI 8460:2017).



Gambar 4. 192 Input Load P11 untuk Group Pile

(Sumber : Pemodelan AllPile)



VERTICAL ANALYSIS

Figure 2

Free Head

Fixed Head

Drilled Shaft (dia >24 in. or 61 cm)

Loads:
Load Factor for Vertical Loads= 1.0
Load Factor for Lateral Loads= 1.0
Loads Supported by Pile Cap= 0 %
Shear Condition: Cyclic
Number of Cycles: 2
Vertical Load, Q= 0.0 -kN
Shear Load, P= 0.0 -kN
Slope Restain St= 0.00 -cm/-cm

Profile:
Pile Length, L= 9.2 -m
Top Height, H= -0.8 -m
Slope Angle, As= 0
Batter Angle, Ab= 0

Group and Boundary Condition:
Fixed Head
Sx= 240 -cm
Sy= 240 -cm
Nx= 1
Ny= 1

Soil Data:

Depth -m	Gamma -kN/m3	Phi	C -kN/m2	K -MN/m3	e50 or Dr %	Nspt
0.000	14.384	0.0	0.479	0.380	5.38	0
2	20.735	0.0	92.887	157.321	0.67	16
4	22.039	38.0	179.550	788.776	0.29	60
6	19.461	38.5	0.000	49.943	70.25	35
8	21.819	36.3	116.827	508.524	0.38	39
10	21.458	35.4	95.760	401.744	0.43	32
14	21.961	37.1	139.331	618.372	0.34	47
18	21.474	41.9	0.000	95.516	95.54	60
26	19.964	39.4	0.000	65.035	79.78	45
30	20.389	39.9	0.000	74.263	84.96	50

Pile Data:

Depth -m	Width -cm	Area -cm2	Per. -cm	I -cm4	E -MP	Weight -kN/m
0.0	80	5026.5	251.3	2010619.3	20683	11.853
9.2	80	5026.5	251.3	2010619.3	3000	5.236

Group Vertical capacity
Total Ultimate Capacity(Down)= 3665.567-kN Total Ultimate Capacity(Up)= 64.704-kN
Total Allowable Capacity(Down)= 1832.783-kN Total Allowable Capacity(Up)= 64.704-kN
OK! Qallow > Q

Group Settlement Calculation:
At Xallow= 2.50-cm Qallow= 3584.50-kN
At Q= 0.00-kN Settlement= 0.00000-cm

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.

Gambar 4. 193 Hasil Analisa Setlement

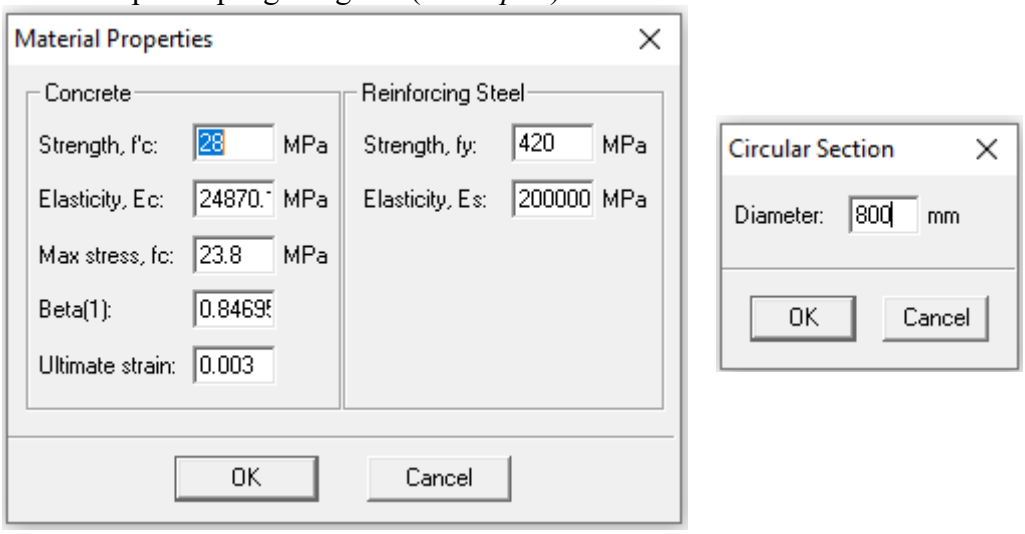
(Sumber : Pemodelan AllPile)

Setlement = 0.00 mm (Memenuhi)

7. Cek/kontrol Penulangan

Pemeriksaan dan evaluasi kapasitas penulangan dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak PCA Column.

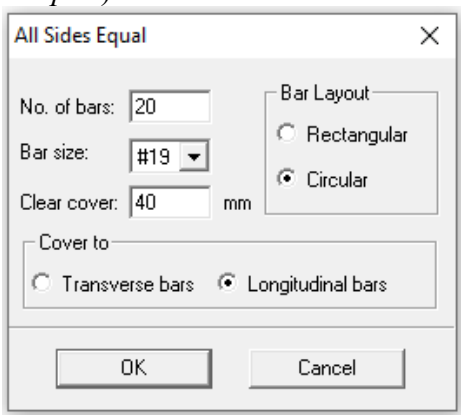
- Tahap pertama dilakukan dengan menginput properti material dan penampang tiang bor (*bored pile*).



Gambar 4. 194 Material Property sesuai Shop Drawing

(Sumber : Pemodelan PCAColumn)

- Tahap kedua dilakukan dengan menginput data tulangan longitudinal pada tiang bor (*bored pile*).

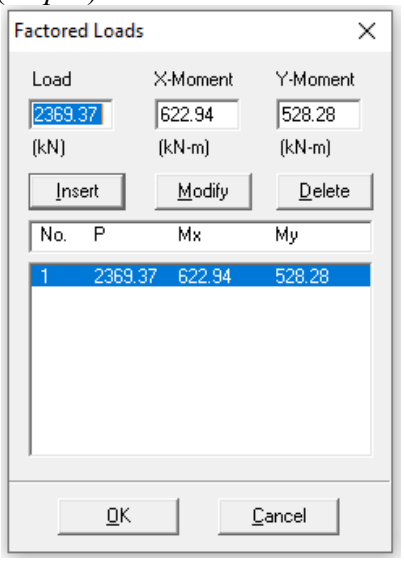


Gambar 4. 195 Menginput Data Tulangan sesuai Shop Drawing

(Sumber : Pemodelan PCAColumn)

Berdasarkan gambar kerja (*Shop Drawing*), penulangan dipasang sebanyak 20D19 yang menghasilkan rasio penulangan sebesar 1,13%.

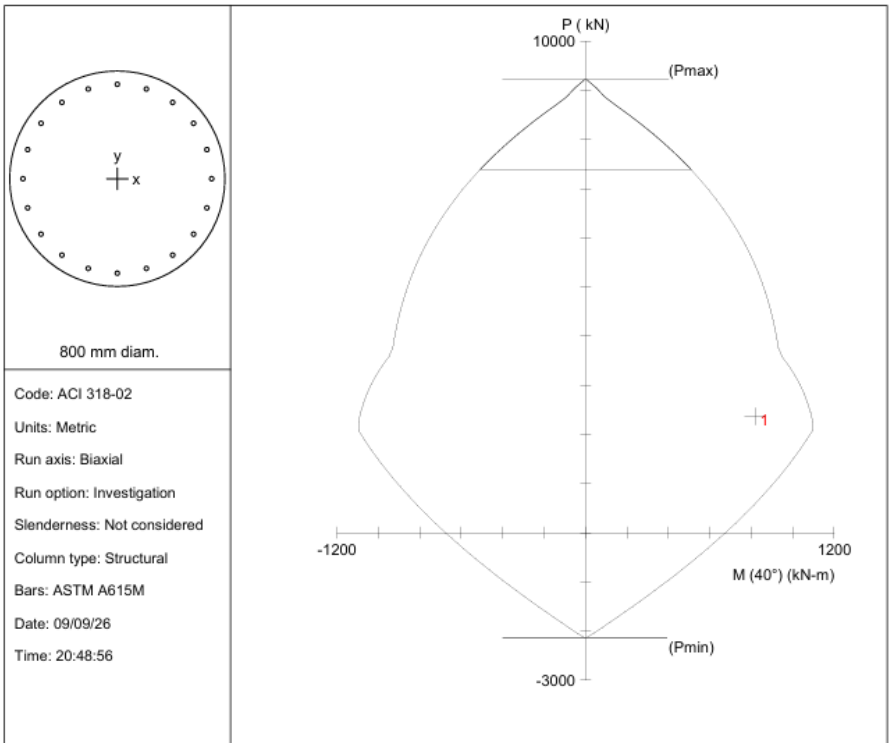
- Tahap ketiga dilakukan dengan menginput data pembebanan berdasarkan hasil keluaran (*output*) analisis SAP2000.



Gambar 4. 196 Menginput Data Pembebanan dari Hasil SAP2000

(Sumber : Pemodelan PCAColumn)

- Tahap keempat meliputi proses eksekusi (*execute*) dan evaluasi.
  Berdasarkan hasil verifikasi PCA Column, posisi kombinasi beban dengan tulangan 20D19 masih berada di dalam batas kurva diagram interaksi, sehingga kapasitas penampang dinyatakan aman.



Gambar 4. 197 Hasil Analisa Tulangan menggunakan PCAColumn

(Sumber : Pemodelan PCAColumn)

Tabel 4. 57 Ringkasan Hasil Analisis Fondasi Tipe P11

	Hasil Kontrol	Nilai Rujukan	Keterangan
Rasio Daya Dukung Tekan	2.12	> 1,00	Aman
Penulangan *Bore pile*	ΦMn < Mu	ΦMn > Mu	Aman
Setlement	0.00 mm	< 25 mm (NAVFAC DM 7.02 (*Founda ons and Earth Structures*))	Aman
Defleksi Lateral	0.00 mm	< 25 mm (SNI 8460:2017)	Aman

(Sumber : Data Penulis)

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan evaluasi yang telah dilakukan pada Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai simpangan antar lantai maksimum yang terjadi pada struktur bangunan tersebut terbukti berada di bawah batas simpangan izin (Δ_a) yang disyaratkan dalam SNI 1726:2019, yaitu sebagai berikut :

Tabel 5.1 Hasil Kontrol Simpangan Antar Lantai

Story	*height*	Perpindahan		Perpindahan Elastik		*Story Drift*		*Drift Limit*	*Cek*
		δ_X	δ_Y	δe_X	δe_Y	Δ_X	Δ_Y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
ATAP	4200	17.688	20.561	3.895	4.549	14.283	16.680	42.000	OK
3	4200	13.793	16.012	6.569	7.747	24.085	28.404	42.000	OK
2	4200	7.224	8.265	6.844	7.829	25.093	28.707	42.000	OK
DASAR	0	0.381	0.436	0.381	0.436	1.396	1.600	0.000	

(Sumber : Data Penulis)

Dengan demikian, struktur bangunan laboratorium dinilai aman, memiliki kekakuan lateral yang memadai, dan risiko kerusakan pada komponen akibat deformasi lateral gempa dapat dihindari.

2. Berdasarkan hasil analisis pemodelan struktur menggunakan SAP2000, kombinasi beban maksimum (*envelope*) yang bekerja pada dasar kolom di atas setiap tipe *pile cap* disajikan pada Tabel dibawah ini.

Tabel 5 2. Rekapitulasi Beban Envelope pada Dasar Kolom per Tipe Pile Cap

Tipe *Pile Cap*	Hx (kN)	Hy (kN)	P (kN)	Mx (kN·m)	My (kN·m)	Mpuntir (kN·m)
P1	1993.10	1920.10	13716.71	3304.09	3029.12	25.38
P2	1455.77	972.16	9213.26	2148.48	2219.05	19.61
P3	1231.92	1341.55	10188.49	2217.04	1571.89	16.92
P4	633.45	923.65	10190.21	1255.24	1013.48	11.15
P4a	393.05	400.44	5150.97	108.02	84.84	2.82
P5	407.40	496.56	6358.85	1010.36	769.93	8.46
P5a	501.23	718.22	4649.66	923.35	766.55	8.46
P6	306.32	209.33	5306.23	612.15	555.75	5.58
P6a	479.69	527.80	5127.45	978.12	759.20	8.46
P7	288.94	201.70	4236.35	515.51	427.64	4.23
P8	906.23	975.72	6109.48	1263.24	982.91	8.46
P9	617.75	645.41	6067.92	642.19	620.86	5.58
P10	800.67	1310.90	9300.26	1630.53	1206.89	14.01
P11	237.08	597.47	2369.37	622.94	528.28	4.23

(Sumber : Data Penulis)

Berdasarkan hasil analisis menggunakan perangkat lunak Allpile dan GEO5 terhadap beban pada Tabel dibawah ini, diperoleh parameter tingkat keamanan untuk setiap tipe *pile cap* sebagai berikut.

Tabel 5 3. Rekapitulasi Hasil Kontrol Kapasitas Pondasi

Tipe *Pile Cap*	Rasio Tekan	Rasio Tarik	Pembesian *Bore pile* (*Shop Drawing*)	Penurunan (mm)	Defleksi Lateral (mm)	Keterangan
P1	1.60	-	20D19 (Gagal)	0.00	0.00	Penulangan Kurang
P2	2.15	-	20D19 (Aman)	0.00	0.00	Memenuhi
P3	1.82	-	20D19 (Gagal)	0.00	0.00	Penulangan Kurang
P4	1.82	-	20D19 (Aman)	0.00	0.00	Memenuhi
P4a	3.16	-	20D19 (Aman)	0.00	0.00	Memenuhi
P5	2.20	-	20D19 (Aman)	0.00	0.00	Memenuhi
P5a	2.33	-	20D19 (Aman)	0.00	0.00	Memenuhi
P6	1.98	-	20D19 (Aman)	0.00	0.00	Memenuhi
P6a	1.65	-	20D19 (Aman)	0.00	0.00	Memenuhi
P7	0.68	0.94	20D19 (Gagal)	0.00	0.00	Daya Dukung & Penulangan Kurang
P8	0.71	0.57	20D19 (Gagal)	0.00	0.00	Daya Dukung & Penulangan Kurang
P9	0.90	-	20D19 (Gagal)	0.00	0.00	Daya Dukung & Penulangan Kurang
P10	1.61	-	20D19 (Gagal)	0.00	0.00	Penulangan Kurang
P11	2.12	-	20D19 (Aman)	0.00	0.00	Memenuhi

(Sumber : Data Penulis)

a. Analisis menunjukkan adanya diskrepansi pada beberapa elemen pondasi, terutama pada kapasitas dukung grup tiang di area tertentu dan kapasitas lentur tiang. Berdasarkan hasil analisis komprehensif terhadap sistem pondasi Gedung Laboratorium Terpadu UIN Salatiga, dapat disimpulkan bahwa secara umum karakteristik deformasi yang meliputi penurunan (*settlement*) dan defleksi lateral masih berada di bawah ambang batas izin sesuai SNI 8460:2017 (yaitu < 25 mm).

Hal ini mengindikasikan bahwa kekakuan lateral tiang *bored pile* berdiameter 80 cm cukup efektif dalam mereduksi gaya lateral akibat beban gempa rencana.

b. Namun demikian, tinjauan terhadap kekuatan batas (*ultimate limit state*) menunjukkan adanya beberapa titik kritis pada komponen struktural tiang. Pada kasus P1, P3, P9, dan P10, beban momen yang dihasilkan dari *Joint Reaction* SAP2000 melampaui kapasitas nominal penampang tiang dengan penulangan eksisting (20D19), sehingga diperlukan peningkatan rasio penulangan longitudinal untuk menjamin integritas tiang terhadap gaya lentur.
c. Pada area pile cap P7 dan P8, ditemukan bahwa efisiensi grup tiang tidak mencukupi untuk memikul beban aksial yang bekerja (rasio < 1,0). Fenomena ini menuntut adanya evaluasi konfigurasi geometri pondasi atau peningkatan daya dukung ujung (*point bearing*) melalui penetrasi tiang yang lebih dalam ke lapisan tanah keras.

5.2 Saran

1. Tinjauan Khusus Peralatan Laboratorium:
   Mengingat fungsi gedung sebagai laboratorium, penelitian selanjutnya dapat mengevaluasi batasan simpangan absolut untuk keamanan peralatan-peralatan lab yang sensitif terhadap getaran tinggi atau kemiringan sesaat, karena standar SNI umumnya difokuskan pada keselamatan nyawa (*life safety*) dan struktur utamanya.
2. Mengacu pada temuan permasalahan pada kasus-kasus *pile cap*, berikut disampaikan saran dan rekomendasi teknis tindak lanjut.

Tabel 5 4. Rekomendasi Tindak Lanjut Kasus Pile Cap Kritis

Kasus	Temuan Masalah	Saran / Rekomendasi Teknis	Tindak Lanjut
P1	Momen > kapasitas lentur	Tingkatkan rasio tulangan dari 20D19 menjadi 32D19	Revisi Pembesian
P3	Momen > kapasitas lentur	Tingkatkan rasio tulangan dari 20D19 menjadi 30D19	Revisi Pembesian
P7	Daya dukung tekan & tarik < 1,0	Tambah jumlah tiang dalam grup atau perpanjang tiang (L)	Evaluasi Geometri
P8	Daya dukung tekan & tarik < 1,0	Ubah konfigurasi pile cap atau tambah kedalaman tiang	Evaluasi Geometri
P9 & P10	Momen & rasio kritis	Perkuat tulangan menjadi 28D19	Revisi Pembesian
Umum	Verifikasi aktual	Lakukan PDA Test pada titik-titik kritis (khususnya P7, P8, P9)	Validasi Lapangan

(Sumber : Data Penulis)

Selain itu, untuk pile cap P1, P3, P9, dan P10 yang mengalami kekurangan kapasitas lentur, peningkatan jumlah tulangan longitudinal sebagaimana tercantum pada Tabel 5.4 perlu segera ditindaklanjuti melalui revisi desain pembesian, sedangkan untuk bangunan yang telah terbangun dapat dipertimbangkan pembatasan beban layan serta pemantauan (*monitoring*) penurunan dan retak struktural secara berkala sebagai langkah mitigasi sementara.

DAFTAR PUSTAKA

American Society of Civil Engineers. (2017). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-16)*. Reston, VA: ASCE.

Anil K. Chopra. (2012). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering* (6th ed.). Prentice Hall , Upper Saddle River, NJ. https://search.worldcat.org/title/752471830

Badan Meteorologi, K. dan G. (2023). *Pengertian Gempa*. Balai Besar Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika Wilayah III Denpasar. https://bbmkg3.bmkg.go.id/tentang-gempa

Badan Standardisasi Nasional. (1997). *Metode Uji Hammer Test Beton (SNI 03-4430-1997). Jakarta: BSN.*

Badan Standardisasi Nasional. (2017). *Persyaratan Perancangan Geoteknik (SNI 8460:2017).*

Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*.

Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2019).*

Badan Standardisasi Nasional. (2020). *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2020)*.

Bella Dessy Wulan Sari, S., & Benny Hendrawanto. (2022). Penentuan Nilai Parameter Gempa Bumi Menggunakan Metode Geiger dan Hukum Laska pada Pulau Lombok. *Jurnal Geosains Kutai Basin*, *5*(1). Jurnal Geosains Kutai Basin Volume 5 Nomor

Braja M. Das. (2010). *Principles of Foundation Engineering*. Boston: Cengage Learning.

Civiltech Software. (2018). *AllPile Software Documentation*. USA: Civiltech.

Computers and Structures Inc. (2020). *SAP2000 User Manual*. California: CSI Berkeley.

Fine Ltd. (2020). *GEO5 User Guide*. Praha: Fine Ltd.

Geologi, F. T., Padjadjaran, U., Caenur Winusda, S., Zahrani, D. A., & Hasanah, M. U. (2026). Bulletin of Scientific Contribution GEOLOGY ANALISIS SEISMISITAS DAN MEKANISME FOKAL UNTUK MENDELINIASI SESAR DI WILAYAH TIMUR PULAU JAWA. *Bulletin of Scientific Contribution: GEOLOGY*, *24*(1), 45–54. http://jurnal.unpad.ac.id/bsc

International Code Council. (2012). *International Building Code (IBC 2012)*. Country Club Hills, IL: ICC.

Jack C. McCormac dan Russell H. Brown. (2016). *Design of Reinforced Concrete*. New Jersey: Wiley.

Joseph E. Bowles. (1996). *Foundation Analysis and Design*. New York: McGraw-Hill.

Kurniawan, R., Sitepu, A. R. H., & Syuhada, S. (2020). STUDI NUMERIK PENGARUH JARAK DAN KONFIGURASI KELOMPOK TIANG TERHADAP DAYA DUKUNG AKSIAL TEKAN FONDASI DALAM. *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)*, *8*(1), 25–35. https://doi.org/10.33019/fropil.v8i1.1720

Muhammad Hilmi, Erizal, & Joana Febrita. (2021). Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat dengan Metode Analisis Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726:2019. *Https://Journal.Ipb.Ac.Id/Jsil/Article/View/36391*.

Parenta, A., Fikri, M., Sudirman, S., & Indrajaya, I. (2026). Tinjauan Keandalan Struktur Beton Menggunakan Metode Non- Destructive Testing (NDT) dengan Hammer Test (Studi Kasus Gedung FISIP Universitas Andi Djemma). *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, *26*(1), 52–61. https://doi.org/10.35965/eco.v26i1.8707

Portland Cement Association. (2004). *PCACOL User Manual*. Skokie, IL: PCA.

PuSGeN. (2017). *Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum.

Rahman, A. A., Hariati, F., Chayati, N., Muhammad, F., Taqwa, L., Sholeh, J. K., Km, I., Tanah, K., & Bogor, S. (2020). KORELASI HASIL ANALISIS DAYA DUKUNG ULTIMIT TIANG BOR DENGAN HASIL PENGUJIAN PDA (Studi Kasus:

Pembangunan Jalan Tol Bogor Ring Road Seksi III A Ruas Simpang Yasmin-Simpang Salabenda). In *Jurnal Komposit* (Vol. 4, Number 2).

Republik Indonesia. (2002). *Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung*. Jakarta.

Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Nomor 16 Tahun 2021 tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung*. Jakarta.

Septhia Irawati, I., Heriawati, I., & Setiawan, A. F. (2024). EVALUASI SEISMIK GEDUNG PERKULIAHAN 3 DAN 6 LANTAI EKSISTING DI KOTA YOGYAKARTA. *Jurnal Teknik Sipil*, *18*(1), 39–50. https://doi.org/10.24002/jts.v18i1.10168

Shinta Berlinda Wulandari, B. S. (2013). *Evaluasi Struktur SRPM Gedung 10 Lantai Sesuai Peraturan Gempa SNI 1726:2019*.

Tanijaya, J. (2019). Evaluasi Kekuatan Struktur Beton Bertulang untuk Bangunan Biasa terhadap Beban Gempa Berdasarkan Jenis Tanah yang Berbeda. *Journal of the Civil Engineering Forum*, *5*(2), 123. https://doi.org/10.22146/jcef.43789

Widodo, P., Wijaya, H. H., & Sunarto. (2011). Intensity, attenuation and building damage from the 27th May 2006 Yogyakarta earthquake. *WIT Transactions on the Built Environment*, *119*, 55–66. https://doi.org/10.2495/DMAN110061 .