



TUGAS AKHIR

IMPLEMENTASI BIM 5D PADA PERENCANAAN ULANG GEDUNG FAKULTAS HUKUM UNTAG SEMARANG DENGAN METODE SRPMK

Oleh :

Permadani Cahyati Adi Diningrat 40030522650092

Niken Dwi Anjarwati 40030522650141

Diajukan sebagai
salah satu syarat dalam menyelesaikan Sarjana Terapan
Program Studi Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur
Universitas Diponegoro

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
DAN PERANCANGAN ARSITEKTUR
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO
TAHUN 2025/2026**

LEMBAR PENGESAHAN



LAPORAN TUGAS AKHIR

IMPLEMENTASI BIM 5D PADA PERENCANAAN ULANG GEDUNG FAKULTAS HUKUM UNTAG SEMARANG DENGAN METODE SRPMK

Oleh :

Permadani Cahyati Adi Diningrat

40030522650092

Niken Dwi Anjarwati

40030522650141

Laporan ini telah disusun berdasarkan masukan dari pembimbing dan dinyatakan dapat diajukan untuk ujian tugas akhir pada tanggal 23 Juni 2026

Semarang, 11/06/2026

Pembimbing I

Asri Nurdiana, S.T., M.T.

NIP. 198512092012122001

Pembimbing II

Dita Mentari Putri, S.T., M.T.

NIP. 199302052024062001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur

Asri Nurdiana, S.T., M.T.

NIP. 198512092012122001



LAPORAN TUGAS AKHIR
IMPLEMENTASI BIM 5D PADA PERENCANAAN ULANG GEDUNG
FAKULTAS HUKUM UNTAG SEMARANG DENGAN METODE SRPMK

Oleh:

Permadani Cahyati Adi Diningrat 40030522650092

Niken Dwi Anjarwati 40030522650141

Laporan ini telah diperbaiki dan disempurnakan berdasarkan masukan dan koreksi
saat pelaksanaan ujian tugas akhir pada tanggal 22 Juni 2026

Semarang, 29 Juni 2026

Mahasiswa I

Permadani Cahyati Adi Diningrat

NIM. 40030522650092

Mahasiswa II

Niken Dwi Anjarwati

NIM. 40030522650141

Penguji I

Fardzanela Suwanto S.T., M.Sc., Ph.D

NIP. 198903212015042002

Menyetujui,
Penguji II

Asri Nurdiana, S.T., M.T.

NIP. 198512092012122001

Penguji III

Dita Mentari Putri, S.T., M.T.

NIP. 199302052024062001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur

Asri Nurdiana, S.T., M.T.

NIP. 198512092012122001

ABSTRAK

Keterbatasan lahan di Indonesia mendorong pesatnya pembangunan gedung bertingkat, namun kondisi geografis Indonesia yang berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik menuntut perencanaan bangunan memenuhi persyaratan struktur tahan gempa. Penelitian ini menggunakan metode sistem rangka pemikul momen khusus yang mengacu pada SNI 1726:2019 dan implementasi *Building Information Modeling* pada perencanaan ulang Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang. Perencanaan ulang dilakukan karena masih perencanaan awal masih menggunakan metode konvensional, dan tidak tersedianya tangga darurat, serta bentuk eksisting bangunan yang berpotensi memengaruhi respons terhadap beban gempa. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kinerja struktur maka direncanakan penambahan *shear wall* pada area lift dan tangga. Penerapan BIM 5D melalui *software* SAP2000, Revit, Microsoft Project, dan Navisworks untuk mendukung analisis struktur, pemodelan, perhitungan volume, penjadwalan, serta integrasi biaya dan waktu proyek secara terkoordinasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur yang direncanakan telah memenuhi syarat keamanan dengan nilai rancangan anggaran biaya (RAB) sebesar Rp 22.206.932.376,15 dan durasi pelaksanaan pekerjaan selama 120 hari kerja. Dengan menerapkan BIM 5D pada perencanaan Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang, dapat meningkatkan efisiensi proses perencanaan, risiko kesalahan dapat diminimalisir, serta pengendalian proyek dan hasil analisis lebih akurat.

Kata Kunci : BIM, Gempa Bumi, SRPMK, Revit, Ms. Project

ABSTRACT

Land scarcity in Indonesia has driven the rapid construction of high-rise buildings; however, Indonesia's geographical location at the junction of three tectonic plates requires building designs to meet earthquake-resistant structural requirements. This study employs a specialized moment-resisting frame system method in accordance with SNI 1726:2019 and the implementation of Building Information Modeling (BIM) in the redesign of the UNTAG Semarang Faculty of Law Building. The redesign was undertaken because the initial design still utilized conventional methods, lacked emergency staircases, and featured an existing building form that could potentially affect its response to seismic loads. Therefore, to improve structural performance, the addition of shear walls in the elevator and stairwell areas was planned. The application of 5D BIM through SAP2000, Revit, Microsoft Project, and Navisworks software supports structural analysis, modeling, volume calculations, scheduling, and the coordinated integration of project costs and timelines. Analysis results indicate that the planned structure meets safety requirements with a design budget (RAB) of Rp 22,206,932,376.15 and a construction duration of 120 working days. By applying 5D BIM to the planning of the UNTAG Semarang Faculty of Law Building, planning process efficiency can be improved, the risk of errors can be minimized, and project control and analysis results can be more accurate.

Keywords: *BIM, Earthquake, SRPMK, Revit, Microsoft Project*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas limpahan rahmat, hidayah, serta kemudahan yang diberikan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya. Salawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada junjungan kita, Nabi Muhammad Shallallahu 'Alaihi Wasallam, beserta keluarga, para sahabat, hingga umat beliau hingga akhir zaman.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki banyak keterbatasan dan belum mencapai kesempurnaan. Hal tersebut tidak lepas dari keterbatasan ilmu, wawasan, serta pengalaman yang penulis miliki. Oleh sebab itu, dengan segala kerendahan hati, penulis sangat terbuka dalam menerima masukan, kritik, maupun saran yang membangun dari berbagai pihak. Melalui kesempatan ini pula, dengan penuh rasa hormat, penulis ingin menyampaikan apresiasi dan rasa terima kasih yang tulus kepada :

1. Ibu Asri Nurdiana, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, yang telah memberikan izin serta arahan selama masa studi dan penyusunan tugas akhir ini.
2. Ibu Asri Nurdiana, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Dita Mentari Putri, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen dan staf Program Studi Sarjana Terapan Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, yang telah memberikan ilmu kepada penulis.
5. Orang tua serta keluarga tercinta yang telah memberikan saya doa, motivasi dan kasih sayang. Serta dukungan dari segi moral maupun material dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
6. PT. Chimarder 777 yang telah memberikan bantuan dalam pengumpulan data selama penulis menyusun tugas akhir ini.

7. Seluruh teman angkatan Baskara Bimantara, yang telah menyemangati, berbagi ilmu bersama dalam melewati masa-masa perkuliahan.

Penulis menyadari akan ketidaksempurnaan maupun kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun guna kesempurnaan laporan ini.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I_PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	5
1.4 Manfaat	5
1.5 Batasan Masalah	6
1.6 Ruang Lingkup.....	7
BAB II_TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 <i>Building Information Modelling</i>	8
2.2 Implementasi Perangkat Lunak BIM	9
2.2.1 SAP2000 v26	10
2.2.2 Autodesk Revit v22.....	11
2.2.3 Microsoft Project.....	12
2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).....	12
2.4 Pembebanan	13
2.4.1 Beban Mati (<i>Dead Load</i>)	13
2.4.2 Beban Hidup (<i>Live Load</i>).....	13
2.4.3 Beban Angin (<i>Wind Load</i>).....	14
2.4.4 Beban Gempa (<i>Earthquake Load</i>)	16
2.4.5 Beban Air Hujan	21
2.4.6 Beban Kombinasi (<i>Combination Load</i>)	21
2.5 Penelitian Terdahulu	24
BAB III_METODE PENELITIAN	38

3.1	Jenis dan Metode Penelitian	38
3.2	Alur Perencanaan	38
3.3	Data Perencanaan	39
3.3.1	Data Umum	39
3.3.2	Data Tanah	40
3.3.3	Data Beton	41
3.4	Studi Literatur	42
3.5	Tahap Perencanaan	43
3.5.1	<i>Preliminary Design</i> Penampang	43
3.5.2	Analisa Struktur Atas	45
3.5.3	Analisa Struktur Bawah	48
3.5.5	Quantity Take Off	51
3.5.6	Perhitungan Rancangan Anggaran Biaya (RAB)	52
3.5.7	Penjadwalan Proyek	52
3.5.8	Integrasi BIM 5D	53
BAB IV PEMBAHASAN		55
4.1	Konsep Perencanaan	55
4.2	<i>Preliminary Design</i>	55
4.2.1	Balok	56
4.2.2	Plat Lantai	56
4.2.3	Kolom	58
4.2.3	Tangga	59
4.3	Perhitungan Pembebanan	59
4.3.1	Beban Mati	60
4.3.2	Beban Hidup	61
4.3.3	Beban Air Hujan	61
4.3.4	Beban Gempa	61
4.3.5	Beban Angin	66
4.4	Kombinasi Pembebanan	70
4.5	Perencanaan Struktur dengan SAP2000	72
4.5.1	Dimensi Penampang Struktur	72
4.5.2	Hasil Analisa Struktur	74
4.5.3	Hasil Perhitungan Volume Struktur dengan <i>AutoDesk Revit</i>	187
4.5.4	Perhitungan Rencana Anggaran Biaya	196

4.5.5	Penjadwalan Proyek dengan Microsoft Project.....	200
4.5.6	Integrasi BIM 5D dengan <i>Naviswork</i>	201
BAB V PENUTUP		202
5.1	Kesimpulan	202
5.2	Saran.....	203
DAFTAR PUSTAKA		205

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 SAP2000 v26.....	10
Gambar 2.2 Autodesk Revit v22	11
Gambar 2.3 Microsoft Project	12
Gambar 2.5 Peta percepatan spektrum respons 0,2 detik MCER.....	17
Gambar 2.6 Spektrum Respon Desain.....	19
Gambar 2.7 Simpangan Antar Tingkat (SNI 1726:2019).....	20
Gambar 3.1 Diagram Alir Perencanaan.....	38
Gambar 3.2 Citra Satelit Lokasi Proyek Pembangunan	39
Gambar 3.3 Diagram Alir Analisa Struktur Atas SAP2000	46
Gambar 3.4 Cek terhadap gaya lintang	47
Gambar 3.5 Cek terhadap gaya aksial	47
Gambar 3.6 Cek terhadap momen	47
Gambar 3.7 Diagram Alir Analisa Struktur Bawah	48
Gambar 3.8 Tipe Pondasi (SNI 2847:2019).....	49
Gambar 3.9 Diagram Alir Permodelan 3D.....	50
Gambar 3.10 Diagram Alir Quantity Take Off	51
Gambar 3.11 Diagram Alir Rencana Anggaran Biaya	52
Gambar 3.12 Penjadwalan Proyek	52
Gambar 3.13 Diagram Alir Penjadwalan Proyek.	53
Gambar 4.1 Grafik Spektrum Respon Desain	63
Gambar 4.2 Ilustrasi Denah dan Potongan Bangunan.....	66
Gambar 4.3 Peta Kecepatan Angin Asia Pasifik	67
Gambar 4.4 Diagram Beban Angin Atap Pelana (SNI 1727-2020)	69
Gambar 4.5 Hasil Analisis SAP2000	74
Gambar 4.6 Gaya Aksial	75
Gambar 4.7 Gaya Geser	75
Gambar 4.8 Momen.....	76
Gambar 4.9 Simpangan Arah Ux	79
Gambar 4.10 Simpangan Arah Uy	79
Gambar 4.11 Detail Sloof Tumpuan	113
Gambar 4.12 Detail Sloof Lapangan.....	114
Gambar 4.13 Detail K1 Tumpuan	122

Gambar 4.14 Detail K1 Lapangan.....	122
Gambar 4.15 Detail B1 Tumpuan	140
Gambar 4.16 Detail B1 Lapangan.....	140
Gambar 4.17 Struktur Plat.....	153
Gambar 4.18 Struktur Tangga	158
Gambar 4.19 Visualisasi 3D Revit	188
Gambar 4.20 <i>Quantity Take Off</i> Revit.....	188
Gambar 4.21 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya	197
Gambar 4.22 Penjadwalan dengan <i>Microsoft Project</i>	201
Gambar 4.23 Hasil Integrasi <i>Naviswork</i>	201

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Tanah dan Geoteknik.....	40
Tabel 3.2 Data Lapisan Tanah.....	41
Tabel 3.3 Data Beton Rencana	42
Tabel 3.4 Data Baja Tulangan Rencana	42
Tabel 3.5 Menentukan Tinggi Balok (SNI 2847:2019).....	43
Tabel 3.6 Tebal minimum pelat satu arah (SNI 2847:2019)	45
Tabel 3.7 Syarat dan batas penulangan (SNI 2847:2019)	50
Tabel 4.1 Rekapitulasi <i>Preliminary</i> Balok.....	56
Tabel 4.4 Rekapitulasi <i>Preliminary</i> Kolom	59
Tabel 4.5 Hasil N-SPT Tanah Proyek	62
Tabel 4.6 Koefisien Situs, F_a (SNI 1726:2019)	64
Tabel 4.7 Koefisien Situs, F_v (SNI 1726:2019).....	64
Tabel 4.8 Kecepatan Angin Rencana (HB 212-2002).....	67
Tabel 4.9 Koefisien Tekanan Internal, GC_{pi} (SNI 1727-2020)	68
Tabel 4.10 Perhitungan Nilai p Untuk Dinding.....	70
Tabel 4.11 Perhitungan Nilai p Untuk Atap.....	70
Tabel 4.12 Daftar Rencana Struktur Sloof.....	72
Tabel 4.13 Daftar Rencana Struktur Balok	73
Tabel 4.14 Daftar Rencana Struktur Kolom.....	73
Tabel 4.15 Daftar Rencana Struktur Plat.....	73
Tabel 4.16 Pemeriksaan Jumlah Ragam Gempa	76
Tabel 4.17 <i>Base Reaction</i> 1	77
Tabel 4.18 Hasil Penjumlahan Geser Untuk Masing – Masing Gempa.....	77
Tabel 4.19 <i>Base Reaction</i> 2	77
Tabel 4.20 Hasil Penjumlahan Geser Untuk Masing – Masing Gempa.....	78
Tabel 4.21 Simpangan Antar Lantai Arah X.....	78
Tabel 4.22 Simpangan Antar Lantai Arah Y.....	79
Tabel 4.23 Hasil Analisa Atap Baja ringan.....	94
Tabel 4.24 Hasil Analisa Sloof	114
Tabel 4.25 Hasil Analisa Gaya Dalam Kolom	114
Tabel 4.26 Hasil Analisa Struktur Kolom	122
Tabel 4.27 Hasil Analisa Struktur Balok.....	141

Tabel 4.28 Hasil Analisa Struktur Plat	153
Tabel 4.29 Hasil Analisa Struktur Tangga Utama	158
Tabel 4.30 Hasil Analisa Struktur Tangga Darurat	158
Tabel 4.31 Kedalaman Tanah Keras	158
Tabel 4.32 Rekapitulasi Desain Kebutuhan Tiang Pondasi	164
Tabel 4.33 Susunan <i>pile</i> arah X dan Y	167
Tabel 4.34 Gaya Aksial Akibat Beban Terfaktor	174
Tabel 4.35 Hasil Analisa Struktur Bawah	180
Tabel 4.36 Hasil Analisa Struktur <i>Shear Wall</i>	187
Tabel 4.37 Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Pondasi	188
Tabel 4.38 Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Struktur Lantai 1	189
Tabel 4.39 Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Struktur Lantai 2	190
Tabel 4.40 Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Struktur Lantai 3	191
Tabel 4.41 Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Struktur Lantai 4	192
Tabel 4.42 Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Struktur Lantai 5	193
Tabel 4.43 Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Struktur <i>Top Floor</i>	194
Tabel 4.44 Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Struktur Rumah <i>Lift</i>	195
Tabel 4.45 Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Atap Baja Ringan	196
Tabel 4.46 Perbandingan Rencana Anggaran Biaya	196
Tabel 4.47 Hasil Perhitungan Rencana Anggaran Biaya	197

DAFTAR LAMPIRAN

1. Lembar Asistensi
2. *Detail Engineering Design* (DED)
3. Perhitungan Struktur
4. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB)
5. Kurva S

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini Indonesia banyak sekali menambah fasilitas umum khususnya jalan raya dan gedung baru. Pembangunan gedung yang ada pada saat ini kebanyakan gedung bertingkat, karena keterbatasan lahan yang ada (Manoppo et al., 2023). Tingginya risiko gempa bumi di Indonesia disebabkan oleh kondisi geografisnya yang menjadi tempat bertemunya tiga lempeng tektonik utama di dunia. Peristiwa gempa bumi yang sulit diprediksi kapan akan terjadi dan mengakibatkan kerusakan struktur bangunan dengan runtuhnya bangunan tersebut bisa menimbulkan korban jiwa. Sehingga pada saat melakukan perencanaan suatu bangunan seorang perencana harus mempertimbangkan struktur bangunan tahan gempa dengan mengacu pada Standar Nasional Indonesia gempa yang ada.

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia tentang gempa yaitu SNI 1726:2019 terdapat 3 sistem sebagai acuan penahan beban gempa yaitu SRPMB, SRPMM, dan SRPMK. Sistem tersebut dapat digunakan sesuai dengan daerah zona gempa bumi (Salsabila & Machmoed, 2023). Salah satunya Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang digunakan pada perencanaan bangunan di daerah yang tingkat kekuatan gempa signifikan. Menurut Tangahu et al. (2019), SRPMK mempunyai tingkat potensi yang tinggi akan terjadinya gempa bumi daripada menggunakan sistem rangka konvensional (Fernanda et al., 2023). Metode ini digunakan karena memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap guncangan gempa kuat.

Selain mempertimbangkan aspek ketahanan terhadap gempa, perencanaan ulang gedung pada penelitian ini dilakukan karena terdapat beberapa kondisi pada bangunan eksisting yang belum sesuai dengan standar yang ada. Bangunan yang ditinjau belum memiliki tangga darurat, padahal keberadaan tangga darurat sangat penting sebagai sarana evakuasi ketika terjadi keadaan darurat seperti kebakaran

maupun gempa bumi. Selain itu, pada struktur eksisting terdapat beberapa elemen balok yang penempatannya belum tersusun secara *as to as* sehingga menyebabkan struktur bangunan menjadi kurang teratur. Pada struktur lift tidak terdapat tangga *shear wall*. Kondisi bangunan eksisting juga memiliki bentuk struktur yang miring yang dapat mempengaruhi perilaku struktur dalam menerima gaya lateral akibat gempa.

Di samping itu, proyek pembangunan gedung ini mengalami keterlambatan dalam proses pelaksanaannya sehingga pekerjaan konstruksi belum selesai sesuai dengan rencana yang telah ditentukan. Kondisi tersebut menunjukkan pentingnya pengendalian waktu dan penjadwalan proyek agar pelaksanaan pekerjaan dapat berjalan lebih efektif dan terarah. Sehingga, perencanaan ini melakukan penyusunan penjadwalan proyek (BIM 4D) untuk membantu mengatur tahapan pekerjaan konstruksi sehingga waktu pelaksanaan proyek dapat lebih terkontrol dan sesuai dengan target yang direncanakan.

Menurut Imam Soeharto, 1995 : 107 menjelaskan bahwa perencanaan yaitu semua tahapan yang dibuat dengan mempertimbangkan semua sumber daya untuk mencapai hal yang diinginkan (Evan et al., 2021). Menurut Ernest Kissi, Emmanuel Bannor Boateng dan Theophilus Adjei-Kumi, 2015 menjelaskan bahwa dalam sebuah pembangunan suatu proyek tidak menutup kemungkinan akan adanya permasalahan - permasalahan yang ada seperti penjadwalan yang tidak sesuai dengan target yang ditentukan, anggaran biaya yang tidak sesuai, kualitas yang kurang memadai sehingga hal tersebut tentunya dapat memicu terjadinya proyek yang tidak selesai atau mangkrak (Christiandava et al., 2023).

Dengan adanya *Building Information Modeling* (BIM) dapat meminimlasisir terjadinya kesalahan. Phang, Chen dan Tiong, 2019 mengatakan bahwa perkembangan mengenai ilmu pengetahuan dan teknologi juga dapat dirasakan di bidang konstruksi seperti dengan adanya sebuah teknologi yang ada pada saat ini yaitu *Building Information Modeling* atau BIM (Christiandava et al., 2023). *Building Information Modeling* (BIM) dapat mengatasi permasalahan - permasalahan di bidang konstruksi pada saat melakukan perencanaan yang terintegrasi pemodelan 3D (Hardianto dkk, 2024). Dengan adanya BIM tentunya

dapat membantu para jasa penyedia konstruksi dalam melakukan sebuah perencanaan pembangunan yang akan dilakukan. Penerapan *Building Information Modeling* (BIM) sangat membantu kelancaran proyek, mulai dari tahap pralaksana hingga selesai (Hardianto et al., 2024). Dibandingkan dengan metode konvensional, efisiensi yang ditawarkan BIM cukup signifikan, yakni memangkas durasi perencanaan sekitar 50%, mengurangi kebutuhan tenaga kerja sebesar 26,666%, dan menghemat anggaran biaya mencapai 52,25% (Berlian P. et al., 2016). *Building Information Modeling* (BIM) memberikan informasi dan data yang dapat membantu dalam mendesain, melakukan pembangunan serta pengendalian selama proses konstruksi untuk meminimalisir terjadinya kesalahan dan kerusakan agar proyek tetap berjalan sesuai dengan waktu yang ditentukan (Khatimi & Pardosi, 2022).

Mengacu pada permasalahan tersebut, maka penelitian ini berfokus pada Implementasi BIM 5D pada perencanaan ulang gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang dengan menggunakan metode SRPMK. Metode SRPMK digunakan dikarenakan Kota Semarang merupakan wilayah dengan zona gempa 4-6 termasuk kategori kelas yang cukup tinggi (Koesuma Sorja dkk, 2022) dan juga dikarenakan fungsi dari bangunan ini yaitu sebagai gedung perkuliahan dimana masuk ke dalam kategori risiko IV sehingga perlu menggunakan metode SRPMK. Tahap awal perencanaan ini berfokus pada *redesain* struktur bangunan yang mencakup struktur atas dan struktur bawah berdasarkan standar perencanaan bangunan tahan gempa. Perencanaan ulang ini merujuk pada SNI 1726:2019. Perencanaan ulang pada penelitian ini menggunakan beberapa bantuan *software* sesuai dengan fungsi masing-masing. *Software* SAP2000 pada penelitian ini digunakan untuk melakukan analisis struktur bangunan dengan analisis struktural lateral akibat gempa, analisis statis dan dinamis, analisis kegagalan, analisis *non - linear*, dan sebagainya (Sholeh, 2023). *Software* Revit digunakan untuk melakukan pemodelan 3D dan juga untuk pengecekan volume struktur yang digunakan untuk perhitungan kebutuhan RAB (BIM 5D). *Software* Microsoft Project pada perencanaan ini digunakan untuk membantu dalam penjadwalan selama proses berjalannya konstruksi (BIM 4D). Selanjutnya *Software* Naviswrok digunakan untuk mengintegrasikan model

perencanaan sehingga seluruh data pemodelan, volume pekerjaan, dan penjadwalan proyek dapat terhubung dalam sistem BIM 5D.

Penerapan Building Information Modelling (BIM) 5D dalam penelitian ini karena berfokus pada aspek perencanaan proyek konstruksi yang meliputi pemodelan bangunan, penjadwalan pekerjaan, dan estimasi biaya. BIM 5D telah mampu mengintegrasikan informasi geometri bangunan, waktu pelaksanaan, dan kebutuhan biaya ke dalam satu model yang terkoordinasi sehingga dapat mendukung proses perencanaan dan pengendalian proyek secara lebih efektif. Integrasi tersebut memungkinkan identifikasi potensi permasalahan desain, evaluasi durasi pelaksanaan pekerjaan, serta penyusunan rencana anggaran biaya yang lebih akurat pada tahap pra-konstruksi.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam perencanaan ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana mengimplemenntasikan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019 dalam merencanakan ulang struktur gedung agar dapat menahan beban gempa rencana?
2. Bagaimana perencanaan ulang bangunan eksisting yang belum memenuhi ketentuan Standar Nasional Indonesia (SNI), khususnya pada aspek tangga darurat dan penempatan elemen balok yang belum tersusun lurus antar elemen balok menggunakan *software* SAP2000?
3. Bagaimana perencanaan ulang menggunakan *Autodesk Revit* dalam memodelkan visualisasi 3D dan perhitungan *Quantity Take Off* pada bangunan tersebut?
4. Bagaimana penjadwalan dari pekerjaan struktur menggunakan *Microsoft Project* dalam menyelesaikan pekerjaan struktur?
5. Bagaimana menyusun Rencana Anggaran Biaya (RAB) berdasarkan hasil *Quantity Take Off* yang didapatkan dari *Autodesk Revit* serta integrasi BIM 5D menggunakan *Naviswork*?

1.3 Tujuan

Berdasarkan dari latar belakang yang kami tinjau, adapun tujuan dari perencanaan ini yaitu sebagai berikut

1. Merencanakan ulang bangunan Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang yang didesain sesuai standar bangunan tahan gempa dengan mempertimbangkan SNI 1726:2019.
2. Merencanakan ulang bangunan eksisting yang belum memenuhi standar perencanaan, seperti penambahan tangga darurat dan penyesuaian elemen balok yang belum tersusun secara *as to as*.
3. Memodelkan ulang struktur bangunan Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang dengan menggunakan *Autodesk Revit*.
4. Membuat serta menjadwalkan ulang penjadwalan bangunan Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang dengan menggunakan *software Microsoft Project*.
5. Merencanakan ulang rancangan anggaran biaya pada struktur bawah gedung beton bertulang serta struktur portal sloof, kolom, balok, dan plat lantai bangunan Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang dengan menghitung volume struktur bangunan menggunakan Revit.

1.4 Manfaat

Berdasarkan tujuan dari yang kami angkat, adapun manfaat yang dapat diambil dalam penyusun kami ini, diantaranya:

1. Memberikan pemahaman bagi semua pihak terkait tahapan perencanaan bangunan bertingkat dengan mengimplementasikan *Building Information Modelling 5D*.
2. Memberikan pemahaman mengenai pentingnya dalam merencanakan bangunan dengan memperhatikan struktur bangunan tahan gempa yang sesuai dengan standar.
3. Memberikan permodelan dan simulasi pembebanan lateral gempa pada komponen rangka pemikul momen khusus menggunakan *software SAP2000*.

4. Mengimplementasikan konsep BIM 3D berbasis *Autodesk Revit* untuk permodelan elemen struktur dan perhitungan volume material struktural secara otomatis guna menunjang estimasi biaya proyek.
5. Menyusun simulasi penjadwalan pelaksanaan konstruksi dan durasi kerja secara sistematis menggunakan *software Microsoft Project* sebagai representasi waktu (BIM 4D).

1.5 Batasan Masalah

Dalam penyusunan ini kami memerlukan adanya batasan masalah agar pembahasan yang kami ambil tidak terjadi pelebaran pembahasan. Adapun batasan masalah yang kami bahas, diantaranya sebagai berikut:

1. Perencanaan ulang bangunan Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang yang terletak pada wilayah pusat Kota Semarang yang memperhatikan zona wilayah gempa dengan mengacu pada SNI 1726:2019.
2. Menggunakan metode SRPMK dalam perencanaan pembangunan Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang sesuai dengan SNI 1726:2019.
3. Perencanaan ulang ini hanya berfokus pada permodelan komponen struktur atas yang meliputi komponen sloof, balok, kolom, dan plat lantai serta bagian struktur bawah gedung beton bertulang.
4. Program yang digunakan untuk menganalisa struktur bangunan Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang yaitu SAP2000.
5. Program yang digunakan untuk memodelkan struktur bangunan Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang pada perencanaan ulang ini yaitu *Autodesk Revit*.
6. Penyusunan estimasi biaya atau RAB dilakukan menggunakan aplikasi *Microsoft Excel*, dengan mengacu pada hasil perhitungan volume struktural yang diperoleh dari model *Autodesk Revit*.
7. Penjadwalan ulang pada perencanaan ulang Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang menggunakan program *Microsoft Project*.

1.6 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup yang ada pada perencanaan ini yaitu sebagai berikut:

1. Perencanaan ulang Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang dilakukan dengan mengacu pada ketentuan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726:2019).
2. Perencanaan ulang struktur gedung ini yaitu menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
3. Perencanaan ulang struktur meliputi struktur atas berupa sloof, kolom, balok, dan plat lantai serta struktur bawah gedung beton bertulang.
4. *Software* SAP2000 digunakan untuk menganalisis struktur pembebanan pada struktur bangunan.
5. Permodelan struktur bangunan dilakukan dengan menggunakan teknologi *Building Information Modelling* (BIM) dengan bantuan Autodesk Revit.
6. Penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dalam penelitian ini diproses menggunakan *Microsoft Excel* dengan menggunakan *Quantity Take Off* dari hasil pemodelan *Autodesk Revit*.
7. Penyusunan penjadwalan proyek pada perencanaan ulang Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang dilakukan menggunakan *Microsoft Project*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Building Information Modelling*

Eastman et al. (2008) menjelaskan mengenai definisi *Building Information Modelling* merupakan suatu diagram alir kerja pada industri konstruksi dengan pemodelan 3D dimana mencakup informasi penting proses konstruksi mulai dari tahap perencanaan, pelaksanaan hingga pemeliharaan bangunan tersebut (Putra et al., 2019). NBIMS (2012) mengemukakan BIM merupakan proses pembuatan dan pengelolaan informasi digital yang memuat karakteristik fisik dan fungsional suatu bangunan dengan didukung teknologi, alat, dan kontrak (Wisdianti et al., 2024). *Building Information Modelling* berbeda dengan *AutoCAD* yang dasarnya sebagai alat gambar arsitektur, sedangkan BIM memberikan informasi lebih terkait waktu, estimasi biaya, detail produsen, keberlanjutan dan pemeliharaan (Wisdianti et al., 2024).

Secara umum dimensi pada *Building Information Modelling* (BIM) disesuaikan dengan tingkat implementasi terhadap proses konstruksi dimulai dari implementasi secara sederhana hingga kompleks. Menurut Putra et al. (2019), menjelaskan terkait tingkat penerapan BIM 3D hingga 7D pada bidang konstruksi. BIM 3D (*Parametric Data for Collaborative Work*) terkait pengelolaan data kolaborasi multidisiplin dalam bentuk pemodelan 3D untuk membantu mempersingkat waktu pengerjaan desain dan meminimalisir kesalahan analisis struktur bangunan. BIM 4D (*Scheduling*) terkait pengelolaan data mulai dari bentuk visualisasi hingga pembuatan jadwal pekerjaan proyek, sehingga pelaksanaan dan pengawasan selama proyek lebih optimal. BIM 5D (*Estimating*) terkait pengelolaan data hingga ke tahap perencanaan anggaran biaya, sehingga menghasilkan data akhir dalam bentuk pemodelan 3D, penjadwalan pekerjaan, dan perencanaan anggaran biaya. BIM 6D (*Sustainability*) terkait pengelolaan performa bangunan dengan konsep ramah lingkungan dan keberlanjutan. BIM 7D (*Building Management*) terkait pengelolaan

data hingga ke tahap *finishing* atau pemeliharaan bangunan secara lebih detail (Putra et al., 2019).

Selain itu, dimensi 5D merupakan tingkat implementasi BIM yang secara langsung berkaitan dengan indikator keberhasilan perencanaan proyek, yaitu mutu, waktu, dan biaya. Ketiga aspek tersebut merupakan parameter utama yang umumnya digunakan dalam evaluasi kinerja proyek konstruksi. Oleh karena itu, penerapan BIM hingga dimensi 5D telah memadai untuk mencapai tujuan penelitian dalam meningkatkan efisiensi perencanaan dan menghasilkan informasi yang dibutuhkan sebagai dasar pengambilan keputusan. Sementara itu, dimensi 6D dan 7D memiliki fokus yang berbeda karena lebih berkaitan dengan tahap operasional dan pengelolaan bangunan setelah konstruksi selesai. BIM 6D memerlukan data mengenai kinerja energi, dampak lingkungan, serta aspek keberlanjutan bangunan selama masa layan. Adapun BIM 7D membutuhkan data terkait manajemen fasilitas, strategi pemeliharaan, inventaris aset, dan biaya operasional bangunan dalam jangka panjang. Data-data tersebut umumnya belum tersedia pada tahap perencanaan dan memerlukan observasi pada fase operasional bangunan. Oleh karena itu, implementasi BIM 6D dan 7D berada di luar ruang lingkup penelitian ini, sehingga BIM 5D dipilih sebagai batas implementasi yang paling sesuai dengan tujuan, data yang tersedia, dan tahapan proyek yang ditinjau.

2.2 Implementasi Perangkat Lunak BIM

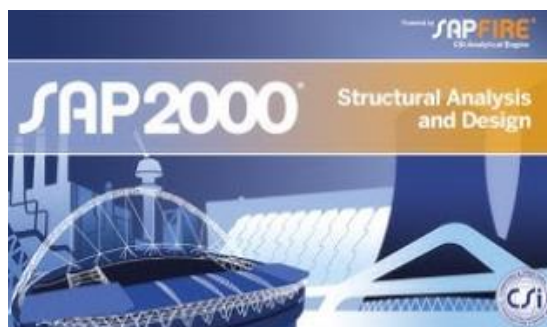
Dalam perencanaan bangunan bertingkat dimulai dengan tahapan pembuatan pemodelan 3D, menganalisis data struktur rencana hingga proses pelaksanaan di masa proyek. Penggunaan perangkat lunak BIM disesuaikan dengan kriteria kebutuhan perencanaan dalam perencanaan suatu bangunan dan tingkat penguasaan perencana terhadap perangkat lunak tersebut.

Software yang umum digunakan untuk menganalisis struktur bangunan ada tiga, yaitu SAP2000, ETABS, dan SAFE. *Autodesk Revit* yaitu salah satu perangkat lunak berbasis BIM yang mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu konstruksi, meliputi perancangan arsitektur, sistem MEP (*Mechanical, Electrical, Plumbing*), manajemen kontraktor, hingga analisis elemen struktural (Rahaditya, 2020). Sedangkan *Tekla Structures* memuat informasi dalam bentuk laporan, visualisasi,

detailing, dan penjadwalan (Wijaya et al., 2024). *Naviswork* dan *Microsoft Project* merupakan perangkat lunak BIM yang digunakan untuk mengatur penjadwalan proses konstruksi baik sebelum hingga selesai pelaksanaan kerja. Oleh karena itu, kami menggunakan tiga jenis perangkat lunak BIM untuk menunjang perencanaan ini.

2.2.1 SAP2000 v26

Menurut Sholeh (2023), memaparkan bahwa SAP2000 memiliki kemampuan dalam menganalisis struktur bangunan, dengan analisis struktur lateral akibat gempa, analisis statis dan dinamis, analisis kegagalan, analisis *non-linear*, dan sebagainya. Pengertian SAP2000 menurut Warman & Arifuddin. (2024), menjelaskan bahwa SAP2000 atau *Structural Analysis Program* merupakan *software* analisis struktur berbasis metode elemen FEM (*Finite Element Method*) yang dibuat oleh Prof. Edward L. Wilson pada tahun 1970 dan dikembangkan oleh *Computers and Structures, Inc* (CSI). Perhitungan dan analisis yang dilakukan SAP2000 sangat rinci sehingga membantu mempersingkat waktu untuk menganalisis struktur kompleks dalam industri konstruksi.



Gambar 2.1 SAP2000 v26

Sumber: google.com

Pemilihan material pada SAP2000 ada berbagai macam seperti beton, kayu, baja, dan lainnya. Perangkat lunak ini menghasilkan desain struktural berdasarkan peraturan desain yang berlaku dengan mencakup tebal pelat, dimensi balok, dimensi kolom, dan dimensi struktural lainnya. Selain itu SAP2000 mendukung dalam kegiatan impor dan ekspor data, sehingga dapat berkolaborasi dengan perangkat lunak lainnya (Sholeh, 2023).

SAP2000 dipilih sebagai perangkat lunak analisis dan perencanaan struktur dalam penelitian ini karena memiliki kemampuan yang lengkap dalam memodelkan, menganalisis, dan mendesain struktur bangunan gedung. *Software* ini mampu melakukan analisis gaya gempa, non-linear, analisa kegagalan dan lain sebagainya. Selain itu, SAP2000 menyediakan fitur yang berfokus utama pada analisis statik dan dinamik untuk struktur bangunan dan dapat dimodelkan secara 2 dimensi maupun 3 dimensi (Sholeh,2023).

SAP2000 juga memiliki antarmuka yang mudah digunakan serta mampu menampilkan hasil analisis secara detail, seperti gaya dalam, perpindahan struktur, reaksi tumpuan, dan kebutuhan tulangan pada elemen beton bertulang. Kemampuan tersebut memudahkan proses evaluasi dan verifikasi hasil perencanaan sehingga dapat meningkatkan ketelitian dalam pengambilan keputusan desain. Dengan berbagai fitur yang dimiliki, SAP2000 dinilai mampu mendukung proses analisis dan perencanaan struktur Gedung Fakultas Hukum Universitas 17 Agustus 1945 Semarang secara efektif, efisien, dan sesuai dengan tujuan perencanaan.

2.2.2 Autodesk Revit v22

Salah satu *software* dalam BIM yang mulai diterapkan oleh beberapa konstruksi di Indonesia. Menurut Rahaditya (2020), menjelaskan bahwa perangkat lunak ini membantu dalam perencanaan hingga pelaksanaan konstruksi.



Gambar 2.2 Autodesk Revit v22

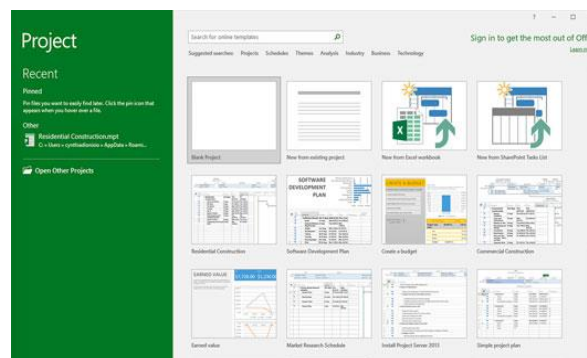
Sumber: google.com

Autodesk Revit juga dapat melakukan analisis *green building*, analisis pendingin atau pemanas ruangan (*Heat Load*), dan analisis struktur lainnya, serta perangkat ini mendukung kegiatan ekspor dan impor data secara interoperabilitas (Yogi Mariza,

2019). Selain itu Revit juga digunakan sebagai pemodelan 3D dan pengecekan kebutuhan volum untuk dasar dari perhitungan RAB (Christiandava et al., 2023).

2.2.3 Microsoft Project

Menurut Adi Kusrianto, 2008 menjelaskan terkait *Microsoft Project* adalah perangkat yang memiliki kemampuan untuk mencatat kebutuhan tenaga kerja pada masing-masing jenis pekerjaan, mencatat kebutuhan waktu kerja baik jam kerja maupun jam lembur, membantu menghitung jumlah biaya yang dibutuhkan, dan membantu mengontrol penggunaan tenaga kerja yang diperlukan agar terhindar dari overallocation (Tamba & Maisandi Hutaaruk, 2018).



Gambar 2.3 Microsoft Project

Sumber: google.com

Penyusunan jadwal pelaksanaan konstruksi secara menyeluruh dapat dipermudah melalui pengaplikasian Microsoft Project. Perangkat lunak ini mensinergikan beberapa teknik manajemen proyek konvensional, yang meliputi metode CPM, analisis PERT, dan visualisasi *Gantt Chart* serta dapat memantau dan mencatat penggunaan tenaga kerja, material dan peralatan (Sholeh & Nurdiana, 2021).

2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Wilayah Indonesia berada di perbatasan lempeng tektonik dimana berada di titik pertemuan 3 lempeng tektonik. Posisi tersebut menyebabkan responsif terhadap gempa bumi, dimana waktu terjadinya maupun besaran magnitudonya tidak dapat diprediksi secara akurat. Pembangunan Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang berlokasi di pusat Kota Wilayah Semarang tergolong dalam wilayah

zona gempa IV - VI pada tahun 2022 (Koesuma Sorja dkk, 2022). Berdasarkan data terbaru di tahun 2025, Semarang mengalami gempa bumi sebesar 2.8 magnitudo di bulan Mei. Sehingga untuk perencanaan ulang pembangunan Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang direncanakan dengan metode gempa sistem rangka pemikul momen khusus.

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia 1726:2019 memaparkan terkait Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) merupakan salah satu sistem yang digunakan dalam penentuan struktur rangka dan sambungannya untuk menahan beban lateral gempa. Keunggulan yang dimiliki oleh sistem ini, yaitu memiliki daktilitas penuh dan bukan dinding struktural atau bresing vertikal dan diagonal.

2.4 Pembebanan

Merujuk pada ketentuan SNI 1727:2020, beban struktural diidentifikasi sebagai aksi atau gaya yang bersumber dari berat material bangunan, aktivitas pengguna, efek lingkungan, selisih penurunan tanah, maupun perubahan dimensi. Komponen utama dalam struktur wajib mengintegrasikan beban hidup, beban mati, dan beban angin. Selanjutnya, beban gempa harus dimasukkan ke dalam pemodelan struktur jika objek konstruksi berada di kawasan yang responsif terhadap aktivitas seismik.

2.4.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Komponen beban mati menurut acuan SNI 1727:2020 mencakup bobot dari seluruh elemen penyusun gedung, baik berupa struktur utama, material lapis (*finishing*), instalasi mekanikal tetap, hingga utilitas penunjang lainnya. Nilai koefisien berat jenis material tersebut mengacu pada batas minimum yang ditetapkan. Dalam permodelan ini, spesifikasi beban mati tambahan ditentukan berdasarkan material bangunan yang digunakan.

2.4.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup didefinisikan sebagai gaya yang bekerja pada bangunan akibat fungsi dari penggunaan ruangan. Ketentuan pembebanan beban hidup merujuk pada tabel 4.3-1 SNI 1727:2020. Nilai beban ini sangat bergantung sesuai dengan fungsional pada masing-masing lantai.

2.4.3 Beban Angin (*Wind Load*)

Merujuk pada standar pembebanan SNI 1727:2020, perhitungan beban angin pada struktur bangunan sangat dipengaruhi oleh variabel kecepatan angin dasar yang disesuaikan dengan kategori risiko strukturnya. Sesuai dengan batasan teknis pada Tabel 26.6-1, faktor arah angin untuk Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU) diambil nilai K_d sebesar 0.85.

Prosedur penentuan klasifikasi eksposur angin didasarkan pada morfologi topografi serta tingkat kekasaran permukaan tanah yang masing-masing dijabarkan secara rinci pada Pasal 26.7.2 dan Pasal 26.7.3. Lebih lanjut, fenomena peningkatan kecepatan angin lokal diakomodasi dalam perancangan dengan menyertakan faktor efek topografi K_{zt} berdasarkan persamaan pada gambar 26.8-1 dalam SNI 1727:2020, sebagai berikut:

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \dots\dots\dots (01)$$

Keterangan rumus diatas, yaitu:

- K_1 = Faktor perhitungan bentuk topografis dan pengaruh kecepatan maksimum.
- K_2 = Faktor reduksi peningkatan kecepatan jarak dari sisi angin datang ke sisi angin pergi.
- K_3 = Faktor reduksi peningkatan kecepatan ketinggian diatas elevasi kawasan.

Apabila parameter lapangan tidak memenuhi seluruh kriteria uji topografi, maka nilai faktor efek topografi K_{zt} diambil sama dengan 1. Selanjutnya, koefisien elevasi permukaan tanah K_e untuk koreksi densitas udara ditentukan melalui Tabel 26.9-1, di mana penggunaan nilai $K_e = 1$ bersifat opsional dan diizinkan untuk semua kondisi ketinggian bangunan.

Menentukan koefisien tekanan kecepatan berupa nilai K_z atau K_h yang diperoleh berdasarkan kategori eksposur bangunan sesuai pada SNI 1727:2020 dalam Tabel 26.10-1 dengan persamaan rumus sebagai berikut:

$$\text{Untuk } 15 \text{ ft} < Z < Z_g \rightarrow K_z = 2.01 (Z/Z_g)^{2/\alpha} \dots\dots\dots (02)$$

$$\text{Untuk } Z < 15 \text{ ft} \rightarrow K_z = 2.01 (15/Z_g)^{2/\alpha} \dots\dots\dots (03)$$

Keterangan rumus diatas, yaitu:

Z = Ketinggian bangunan dari atas permukaan tanah.

Z_g = Nilai konstanta dari SNI 1727:2020 pada tabel 26.11-1.

α = Nilai konstanta dari SNI 1727:2020 pada tabel 26.11-1.

Kemudian menghitung tekanan kecepatan dengan kecepatan angin dasar (V) dalam satuan m/s dapat menggunakan persamaan berikut:

$$q_z = 0.613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times K_e \times V^2 \dots\dots\dots (04)$$

Keterangan rumus diatas, yaitu:

K_z = Koefisien eksposur tekanan kecepatan angin.

K_{zt} = Faktor topografi.

K_d = Faktor arah angin.

K_e = Faktor elevasi permukaan tanah.

V = Kecepatan angin dasar.

Koefisien tekanan internal (GC_{pi}) yang diperoleh dari tabel 26.13-1 terkait koefisien tekanan internal untuk bangunan tertutup, tertutup sebagian, terbuka dan terbuka sebagian. Berdasarkan klasifikasi ketertutupan untuk jenis bangunan tertutup digunakan nilai GC_{pi} sebesar -0.18 dengan tekanan internal sedang. Perhitungan tekanan angin desain untuk sistem penahan gaya angin utama (SPGAU) ditentukan pada pasal 27.3.1 bangunan gedung tertutup, kaku tertutup sebagian dan fleksibel, yaitu:

$$p = q \times G \times C_p - q_i(GC_{pi}) \dots\dots\dots (05)$$

Keterangan rumus diatas, yaitu:

q = Tekanan kecepatan angin berdasarkan ketinggian (z).

q_i = Tekanan kecepatan angin untuk mengevaluasi tekanan internal negatif atau positif pada bangunan tertutup.

G = Faktor efek hembusan angin

C_p = Koefisien tekanan eksternal

GC_{pi} = Koefisien tekanan internal

2.4.4 Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Menurut ketentuan dalam SNI 1726:2019, beban lateral akibat aktivitas seismik dimodelkan sebagai beban rencana yang memengaruhi stabilitas struktur bangunan. Karakteristik gempa rencana tersebut dihitung berdasarkan analisis risiko dimana peluang terjadinya beban gempa yang melebihi kapasitas desain dibatasi hanya sebesar 2% selama estimasi umur bangunan 50 tahun.

Dalam memudahkan dalam menentukan beban gempa, maka perlu mengetahui jenis kategori risiko gempa dan faktor keutamaan gempa yang ditetapkan pada pasal 4.1.2 dalam SNI 1726:2019. Kemudian menentukan faktor keutamaan gempa diatur pada SNI Tabel 4 yang dimana faktor gempa untuk kategori risiko I dan II sebesar 1.00, kategori risiko III sebesar 1.25, dan kategori risiko IV sebesar 1.50.

Klasifikasi situs disesuaikan dengan kondisi tanah proyek di lapangan. Klasifikasi ini diatur pada Pasal 5.3 dalam SNI 1726:2019 tentang definisi kelas situs. Klasifikasi situs dibagi menjadi 6 kategori diantaranya batuan keras (SA), batuan (SB), tanah keras (SC), tanah sedang (SD), tanah lunak (SE), dan tanah khusus (SF). Menentukan klasifikasi situs dengan nilai $\dot{N}$ berdasarkan N-SPT hasil pengujian bor mesin, digunakan persamaan berikut:

$$\text{N-SPT rata-rata, } \dot{N} = \frac{\sum T}{\sum T_i / N_i} \dots \dots \dots (06)$$

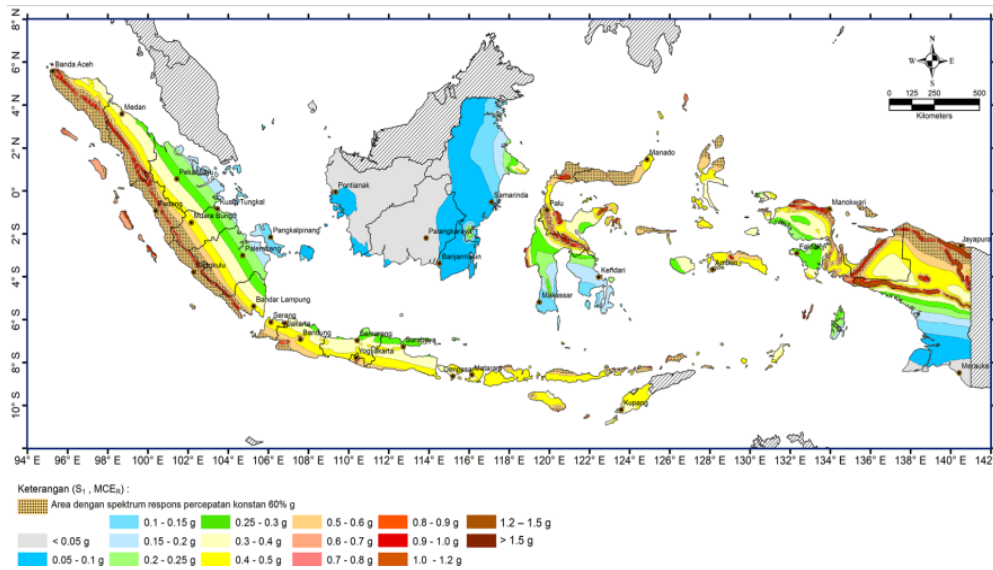
Keterangan rumus diatas, yaitu:

$\sum T$ = Jumlah total tebal seluruh lapisan tanah (m).

T_i = Tebal lapisan tanah ke-i (m).

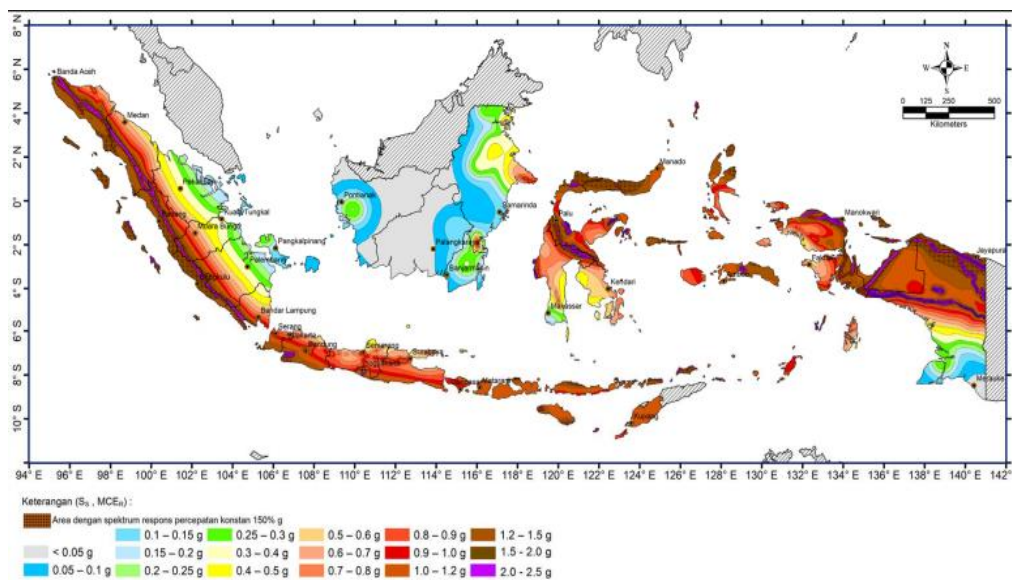
N_i = Nilai SPT pada lapisan tanah ke-i

Menentukan nilai respon spektrum suatu daerah dapat dilihat melalui Peta Gempa Indonesia 2017 sebagai acuan. Nilai respon spektrum gempa dapat diambil dari *website* Cipta Karya PUPR tahun 2021 yang mengacu pada Peta Gempa 2017 dengan menginput data titik koordinat lokasi bangunan. Hasil yang diperoleh berupa grafik dan nilai percepatan spektra (S_s) untuk periode 0,2 detik, serta (S_1) untuk periode 1 detik dapat dilihat pada gambar 2.4 dan 2.5.



Gambar 2.4 Peta percepatan spektrum respons 1 detik MCER

Sumber: SNI 1726:2019



Gambar 2.5 Peta percepatan spektrum respons 0,2 detik MCER

Sumber: SNI 1726:2019

Prosedur penentuan respons spektral percepatan gempa di permukaan tanah menurut SNI 1726:2019 mensyaratkan estimasi faktor amplifikasi seismik pada periode pendek (0,2 detik) dan periode 0,1 detik. Parameter respons spektral percepatan untuk periode pendek dinotasikan sebagai (S_{MS}), sedangkan untuk periode 1 detik dinotasikan sebagai (S_{M1}), di mana keduanya wajib disesuaikan

dengan klasifikasi situs tanah setempat. Apabila nilai parameter respons spektral percepatan gempa pada batuan dasar tersebut telah diperoleh, nilai tersebut kemudian dikalikan dengan koefisien situs F_a dan F_v untuk mendapatkan nilai magnitudo gempa permukaan. maka dihitung menggunakan interpolasi dengan persamaan berikut:

$$F_a = F_{a1} + \frac{S_s - S_{s1}}{S_{s2} - S_{s1}} \times (F_{a2} - F_{a1}) \dots\dots\dots (07)$$

Keterangan rumus diatas, yaitu:

- F_a = Koefisien percepatan spektral untuk periode pendek.
- F_{a1} = Nilai F_a pada S_{s1} (dari tabel SNI 1726:2019).
- F_{a2} = Nilai F_a pada S_{s2} (dari tabel SNI 1726:2019).
- S_s = Nilai percepatan spektral periode pendek hasil analisis.
- S_{s1} = Nilai batas bawah S_s pada tabel.
- S_{s2} = Nilai batas atas S_s pada tabel.

$$F_v = F_{v1} + \frac{S_1 - S_{11}}{S_{12} - S_{11}} \times (F_{v2} - F_{v1}) \dots\dots\dots (08)$$

Keterangan rumus diatas, yaitu:

- F_v = Koefisien percepatan spektral untuk periode 1 detik.
- F_{v1} = Nilai F_v pada S_{11} (dari tabel SNI 1726:2019).
- F_{v2} = Nilai F_v pada S_{12} (dari tabel SNI 1726:2019).
- S_1 = Nilai percepatan spektral periode 1 detik hasil analisis.
- S_{11} = Nilai batas bawah S_1 pada tabel.
- S_{12} = Nilai batas atas S_1 pada tabel.

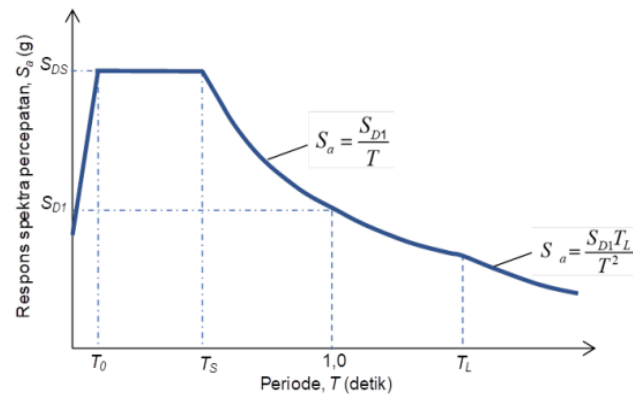
Dalam menentukan nilai parameter percepatan spektral diperoleh dari persamaan, sebagai berikut :

$$S_{MS} = S_s \times F_a \dots\dots\dots (09)$$

$$S_{M1} = S_1 \times F_v \dots\dots\dots (10)$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \dots\dots\dots (11)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} \dots\dots\dots (12)$$



Gambar 2.6 Spektrum Respon Desain

Sumber: (SNI 1726:2019)

Berdasarkan SNI 1726:2019 persamaan untuk menentukan nilai respons spektral percepatan desain (S_a), sebagai berikut:

- a. Untuk periode $T < T_0$, maka menggunakan persamaan berikut:

$$S_a = S_{DS} [0,4 + 0,6 T/T_0] \dots\dots\dots (13)$$

- b. Untuk periode $T_0 \leq T \leq T_{S1}$, maka menggunakan persamaan berikut:

$$S_a = S_{DS} \dots\dots\dots (14)$$

- c. Untuk periode $T_S < T \leq T_L$, maka menggunakan persamaan berikut:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots (15)$$

- d. Untuk periode $T < T_L$, maka menggunakan persamaan berikut:

$$S_a = \frac{S_{D1} \times T_L}{T} \dots\dots\dots (16)$$

Penentuan KDS ini disesuaikan berdasarkan korelasi antara indeks kategori risiko dengan parameter respons spektral percepatan desain, yang mekanismenya diatur pada tabel 8 (untuk komponen periode pendek) serta tabel 9 (untuk komponen periode 1 detik). Di sisi lain, dalam mengevaluasi aspek dinamika struktur, nilai periode fundamental batasan (T) tidak diperkenankan melampaui ambang batas dari hasil perkalian antara koefisien batas atas (C_u) pada tabel 17 dengan nilai periode fundamental pendekatan (T_a). Prosedur perhitungan variabel T_a tersebut menggunakan perhitungan berikut ini:

$$T_a = C_t \times h_n^x \dots\dots\dots (17)$$

Keterangan untuk rumus diatas, sebagai berikut:

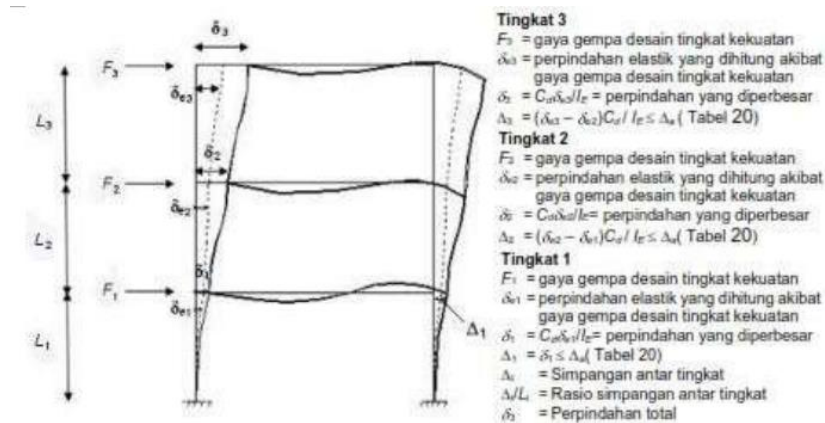
- T_a = Periode fundamental pendekatan minimum (detik).
 h_n = Ketinggian struktur bangunan (meter).
 C_t = Nilai koefisien dari tabel 18 SNI 1726:2019.
 x = Nilai koefisien dari tabel 18 SNI 1726:2019.

Pengecekan terhadap batas atas periode ditentukan dengan persamaan berikut:

$$T = C_u \times T_a \dots\dots\dots (18)$$

Keterangan untuk rumus diatas, sebagai berikut:

- T = Periode fundamental pendekatan maksimal (detik).
 T_a = Periode fundamental pendekatan minimum (detik).
 h_n = Ketinggian struktur bangunan (meter).
 C_u = Nilai koefisien dari tabel 18 SNI 1726:2019.



Gambar 2.7 Simpangan Antar Tingkat (SNI 1726:2019)

Merujuk pada Tabel 13 SNI 1726:2019, peninjauan simpangan antar-tingkat (Δ) dihitung berdasarkan nilai selisih maksimum dari simpangan titik-titik yang selaras secara vertikal di sepanjang sisi luar struktur. Adapun evaluasi perpindahan atau simpangan pada area pusat massa diestimasi menggunakan formulasi matematika berikut

$$\Delta_x = \frac{C_d \times \Delta_{xe}}{I_e} \dots\dots\dots (19)$$

Keterangan dari rumus diatas, sebagai berikut:

Δ = Simpangan pusat massa di antar tingkat (mm).

Δ_{xe} = Simpangan di tingkat ke-i yang ditentukan dengan analisis elastik.

C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral (dari tabel SNI 1726:2019).

I_e = Faktor keutamaan gempa (dari tabel SNI 1726:2019).

2.4.5 Beban Air Hujan

Perhitungan beban hujan pada atap diperlukan untuk memperhitungkan beban tambahan akibat genangan air hujan yang dapat terjadi apabila sistem drainase tidak bekerja secara optimal (SNI 1727:2020). Rumus untu perhitungan beban air hujan (R) menggunakan persamaan yaitu:

$$R = 0.0098 (d_s + d_h) \dots \dots \dots (20)$$

Keterangan:

d_s : Ketinggian genangan air statis pada permukaan atap tanpa lendutan, yang diukur dari titik masuk sistem drainase sekunder ketika jalur drainase utama mengalami penyumbatan (dalam satuan mm atau inci).

d_h : Tinggi hidrolis tambahan yang terbentuk di atas elevasi bibir saluran drainase sekunder pada kondisi debit banjir rencana (inci/mm).

2.4.6 Beban Kombinasi (*Combination Load*)

Perhitungan beban kombinasi yang digunakan mengacu pada kombinasi ultimit SNI 1726:2019 yaitu:

$$1. U = 1,4 D \dots \dots \dots (21)$$

$$2. U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) \dots \dots \dots (22)$$

$$3. U = 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W) \dots \dots \dots (23)$$

$$4. U = 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) \dots \dots \dots (24)$$

$$5. U = 0,9 D + 1,0 W \dots \dots \dots (25)$$

$$6. U = 1,2 D + E_v + E_h + L \dots \dots \dots (26)$$

$$7. U = 0,9 D - E_v + E_h \dots \dots \dots (27)$$

Keterangan persamaan beban kombinasi diatas diantaranya:

- D = beban mati
- L = beban hidup
- Lr = beban atap
- R = beban air hujan
- W = beban angin
- E_v = beban gempa vertikal
- E_h = beban gempa horizontal

Kombinasi ini harus diperhitungkan jika bangunan mengalami beban gempa. Dalam hal ini, selain kombinasi beban dasar yang disebutkan di atas, kombinasi beban berikut ini juga harus diperhitungkan (SNI 1726:2019).

a) Pengaruh beban gempa

E harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$E = E_h + E_v \text{ (untuk persamaan 26) } \dots\dots\dots (28)$$

$$E = E_h - E_v \text{ (untuk persamaan 27) } \dots\dots\dots (29)$$

Keterangan dari rumus berikut:

- E* = pengaruh beban gempa
- E_h* = pengaruh beban gempa horizontal
- E_v* = pengaruh beban gempa vertikal

b) Pengaruh beban seismik horizontal

E_h menggunakan rumus berikut ini:

$$E_h = p \times Q_E \dots\dots\dots (30)$$

Keterangan dari rumus berikut:

- p* = pengaruh gaya gempa horizontal dari *V* atau *F_p*, pengaruh tersebut dihasilkan dari penerapan gaya horizontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus satu sama lain

$$Q_E = \text{faktor redudansi}$$

c) Pengaruh beban seismik vertikal

Pengaruh beban gempa vertikal, *E* harus ditentukan persamaan berikut:

$$E_h = 0.2 S_{DS} \times D \dots\dots\dots (31)$$

Keterangan dari rumus berikut:

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek yang diperoleh pada perhitungan sebelumnya.

D = beban mati

d) Pengaruh beban seismik termasuk faktor kuat lebih

$$E_m = E_{mh} + E_v \text{ (untuk persamaan 26) } \dots\dots\dots (32)$$

$$E_m = E_{mh} + E_v \text{ (untuk persamaan 27) } \dots\dots\dots (33)$$

Keterangan dari rumus berikut:

E_m = pengaruh beban gempa termasuk faktor kuat-lebih

E_{mh} = pengaruh beban gempa horizontal termasuk kuat-lebih struktur

E_v = pengaruh beban gempa vertikal

e) Pengaruh beban seismik horizontal dengan faktor kuat lebih

E_{mh} harus ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$E_{mh} = \Omega_0 \times Q_E \dots\dots\dots (34)$$

Keterangan dari rumus berikut:

Ω_0 = pengaruh gaya gempa horizontal dari V , F_{px} atau F_p ,
pengaruh tersebut dihasilkan dari penerapan gaya horizontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus satu sama lain

Q_E = faktor kuat-lebih

2.5 Penelitian Terdahulu

No	Nama Author	Tahun	Intisari
1.	Alfira Maghfirona, Tsulis Iq'bal Khairul Amar, Abdul Aziz Muhammad Habib Failasufa	2023	a. Tujuan : Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan akurasi perhitungan kuantitas (Quantity Take-Off, disingkat QTO) terhadap elemen-elemen bangunan bertingkat tiga sebagai bagian dari Proyek OMAH DW. Analisis perbandingan dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan volume berdasarkan Building Information Modeling (BIM) yang menggunakan Autodesk Revit 2023 dengan hasil metode perkiraan manual konvensional yang menggunakan Microsoft Excel. b. Metode : Metode yang digunakan yaitu metode studi korelasional dengan membandingkan perhitungan volume pekerjaan dengan metode BIM dan metode konvensional. c. Hasil : - Pemodelan struktur dengan Aplikasi Autodesk 2023. - Perhitungan dari data QTO metode BIM menggunakan Autodesk 2023 dan metode konvensional. - Perbandingan hasil perhitungan dua metode, kemudian didapatkan selisih nilai atau deviasi.
2.	Nabila Alsa Fernanda, Rendi Dwi Pratama, Asri Nurdiana, Bambang Setiabudi	2023	a. Tujuan : Perancangan ulang serta analisis komprehensif pada elemen struktur atas dan struktur bawah. Proses redesain bangunan beton bertulang ini mengintegrasikan teknologi <i>Building Information</i>

No	Nama Author	Tahun	Intisari
			<i>Modeling</i> (BIM) dengan menerapkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sebagai sistem penahan gaya gempa.. b. Metode : Menggunakan diagram alir perencanaan dengan pengumpulan data, studi literatur, <i>preliminary design</i>, analisis struktur, dan pemodelan 3D. c. Hasil : Melalui pemodelan struktur berbasis SAP2000 v22, penelitian ini berhasil mengidentifikasi dimensi optimum untuk elemen balok, kolom, dan pelat lantai. Pemanfaatan perangkat lunak ini juga memfasilitasi analisis beban gempa secara komprehensif, yang meliputi evaluasi perbandingan geser dasar (<i>base shear</i>) statis dan dinamis, kontrol simpangan antar-lantai (<i>story drift</i>), analisis rasio kapasitas batang, serta verifikasi gaya dalam berupa aksi aksial, gaya geser, dan momen terfaktor. <i>Output</i> data tersebut kemudian dijadikan dasar dalam menghitung kebutuhan penulangan lentur dan geser pada komponen balok serta kolom, perancangan tulangan pelat lantai, hingga detail penulangan <i>pile cap</i>. Sementara itu, visualisasi representasi 3D untuk superstruktur (balok, kolom, pelat) dan substruktur (fondasi tiang pancang, <i>pile cap</i>, dan <i>tie beam</i>) diekstraksi secara presisi memanfaatkan aplikasi <i>Autodesk Revit</i>.
3.	Agus Sunarso, Kusdiman Joko P, Reki Arbianto	2020	a. Tujuan : Merencanakan struktur bangunan menggunakan aturan SNI. Serta untuk menganalisis serta struktur sesuai dengan standar gempa yang ada.

No	Nama Author	Tahun	Intisari
			b. Metode : Metode yang digunakan diagram alir perencanaan dengan tahapan studi pustaka, pengumpulan data, <i>preliminary design</i>, perhitungan, kesimpulan dan saran. c. Hasil : Perhitungan pembebanan sesuai dengan SNI yang berlaku yang kemudian diinput pada <i>ETABS v.18</i> untuk dilakukan analisis pembebanan.
4.	Ronaldi, Iskandar Romey Sitompul, Alex Kurniawandy	2022	a. Tujuan : Merencanakan bangunan bertingkat terhadap tahan gempa 2010 dan tahan gempa 2017 menggunakan <i>Tekla</i> dan <i>SAP2000</i>. b. Metode : Metode yang digunakan studi korelasional dengan membandingkan hasil analisis struktur melalui <i>Tekla Structural Designer</i> dan <i>SAP200</i> bangunan gedung 5 lantai terhadap gempa 2010 dan gempa 2017. c. Hasil : 1. Hasil analisis struktur menggunakan <i>SAP2000</i> lebih besar 20,25% dibandingkan <i>Tekla Structural Designer</i>. 2. Hasil pemeriksaan simpangan antar lantai kedua metode tersebut memenuhi syarat dan nilai <i>SAP2000</i> lebih besar. 3. Tipe sambungan pelat ujung empat baut (4ES). Hasil rekapitulasi perhitungan sambungan menggunakan <i>Tekla</i> lebih kecil dibandingkan dengan <i>SAP2000</i>.

No	Nama Author	Tahun	Intisari
5.	Adam Rizky Christiandava, Adelia Azzahra, Asri Nurdiana, Bambang Setiabudi	2023	a. Tujuan : Perencanaan ulang Gedung Head Office Awann Group dengan menggunakan <i>Building Information Modeling</i> (BIM) berbasis <i>Autodesk Revit</i>, <i>Autodesk Navisworks</i>, serta perangkat lunak SAP2000. Studi ini ditujukan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi keunggulan implementasi BIM pada proyek konstruksi yang sebelumnya masih menggunakan metode konvensional. Dalam penerapannya, <i>Autodesk Revit</i> dimanfaatkan secara optimal untuk mentransformasikan data lapangan ke dalam visualisasi 3D serta visualisasi dokumentasi 2D sebagai produk <i>Detailed Engineering Design</i> (DED), selain itu untuk mengecek kebutuhan volume pada struktur yang digunakan saat menghitung RAB. <i>Naviswork</i> digunakan untuk merencanakan jadwal dan pengendalian selama proses pelaksanaan proyek. SAP2000 pada penelitian ini digunakan untuk menganalisis kelayakan struktur pada bangunan. b. Metode : Metode yang dilakukan dengan diagram alir yang dimana pengumpulan datanya dari proyek pembangunan Gedung <i>Head Office</i> Awann Group Semarang berupa <i>As Built Drawing</i> dan juga dengan studi literatur. c. Hasil : Hasil perhitungan kebutuhan dimensi balok, dimensi pelat, dimensi kolom, dimensi tangga. Selain itu untuk pengaplikasian SAP2000 hasilnya berupa pemodelan dari Gedung <i>Head Office</i> Awann Group Semarang dan juga berupa analisis struktur. Berdasarkan dari <i>output</i> SAP2000 dihasilkan nilai <i>As</i> perlu yang kemudian dibandingkan dengan <i>As</i> minimum sesuai dengan SNI

No	Nama Author	Tahun	Intisari
			yang digunakan untuk menghitung penulangan lentur dan geser balok serta kolom. Selain itu hasil dari Mu SAP2000 juga digunakan untuk perhitungan kebutuhan penulangan pelat. Penulangan <i>pile cap</i> diambil dari reaksi tiang pancang terhadap muka kolom. Untuk <i>software</i> Revit untuk pemodelan struktur bawah dan struktur atas yang dimana berdasarkan pemodelan tersebut akan mendapatkan informasi mengenai volume kebutuhan yang digunakan untuk perhitungan RAB. Untuk <i>Microsoft Project</i> digunakan untuk penjadwalan pekerjaan yang dijadwalkan selama 10 bulan pekerjaan dimana dari hasil penjadwalan tersebut dapat langsung diintegrasikan ke <i>naviswork</i> yang telah terintegrasi ke hasil 3D <i>Revit</i> .
6.	Bernald Durrademantar, Soerjandani Priantoro Machmoed	2023	a. Tujuan : Merencanakan bangunan gedung perkantoran dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) untuk meminimalisir terjadinya kegagalan struktur apabila terjadi gempa. b. Metode : Menggunakan metode studi kasus gempa Palu-Donggala pada tahun 2018 dengan magnitudo 7,4 sehingga memerlukan bangunan tahan gempa. Dan metode perencanaan berdasarkan literatur sesuai dengan SNI yang berlaku serta metode diuraikan dalam bentuk diagram alir. c. Hasil : Pemodelan struktur bangunan menggunakan SAP2000 yang akan dilakukan analisa pembebanan strukturnya. Dan berdasarkan hasil <i>preliminary design</i> dimensi struktur mampu

No	Nama Author	Tahun	Intisari
			menahan beban yang terjadi. Serta hasil pendetailan sesuai dengan SNI yang berlaku dan kontrol <i>strong column weak beam</i> mampu menahan gempa.
7.	Muhammad Riyan Hidayat, Eka Purnamasari, dan Akhmad Gazali	2021	a. Tujuan : Mengetahui analisa struktur dan penerapan BIM di suatu pembangunan gedung. Dimana akan menghitung kombinasi pembebanan, memodelkan gedung dengan BIM, menghitung volume pekerjaan struktur menggunakan <i>software</i> Tekla <i>structure</i>, menghitung RAB pekerjaan struktur. b. Metode : Metode yang digunakan diagram alir penelitian dengan data yang diperoleh yaitu beberapa ada data sekunder hasil penulisan terdahulu, data dari internet. Sedangkan datanya berupa data sekunder dari Kontraktor Pelaksana PT. NACAS GROUP dan Konsultan Pengawas PT. ITNASINDO JAYA KONSULTAN. c. Hasil : Penggunaan SAP2000 untuk melakukan pembebanan 3D yang akan dilakukan analisis struktur bangunan. <i>Software</i> Tekla <i>structure</i> 20 digunakan untuk pemodelan gambar 3D yang kemudian akan dilanjutkan ke tahap detailing untuk memodelkan pembesian pada beton. Tulangan ini dimodelkan untuk kolom, balok, dan pelat yang mengacu pada <i>shop drawing</i> proyek gedung FKPPi. Selain itu <i>Tekla Structure</i> juga digunakan untuk menghitung volume pekerjaan balok dan kolom yang akan digunakan untuk perhitungan RAB.
8.	Dimas Irawan, Soerjandani Priantoro Machmoed	2024	a. Tujuan : Mendapatkan komponen struktur gedung beton bertulang bertingkat tinggi yang tahan gempa

No	Nama Author	Tahun	Intisari
			dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang dapat mengurangi resiko akibat gempa berkekuatan tinggi dengan mengacu pada SNI Gempa. b. Metode : Metode yang digunakan studi kasus, perencanaan gedung beton bertulang dengan SRPMK dibuat karena daerah Kabupaten Ende merupakan daerah yang rawan terhadap gempa bumi. c. Hasil : Perhitungan dimensi masing-masing komponen. Kemudian analisis struktur bangunan dengan pembebanan struktur sekunder yang terdiri dari beban hidup dan beban mati serta pembebanan struktur primer yang terdiri dari beban gempa. Berdasarkan hasil analisis pembebanan bahwa gedung ini mampu untuk menahan beban akibat gaya gempa yang terjadi sesuai dengan SNI yang berlaku.
9.	Yogi Hardianto, Ilham Muhammad Islam, Bambang Setiabudi, Asri Nurdiana	2024	a. Tujuan : Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan perancangan ulang struktur bangunan tahan gempa dengan mengintegrasikan <i>Building Information Modeling</i> (BIM). Proses visualisasi memanfaatkan perangkat lunak <i>Tekla Structures</i> untuk menghasilkan pemodelan 3D yang presisi, sedangkan evaluasi kekuatan superstruktur dilakukan melalui analisis menggunakan aplikasi ETABS dengan berpatokan pada SNI. Luaran akhir dari perancangan ini meliputi detail desain komponen struktur atas dan bawah (fondasi, <i>pile cap</i>, kolom, balok, serta pelat lantai), estimasi Rencana Anggaran Biaya (RAB), hingga visualisasi simulasi penjadwalan konstruksi.

No	Nama Author	Tahun	Intisari
			b. Metode : Penelitian ini menggunakan metode pengumpulan data dari pihak proyek pembangunan Rumah Susun Tenaga Pendidik Universitas Gadjah Mada yang dijelaskan melalui diagram alir. c. Hasil : Hasil rencana dimensi balok, dimensi plat, dan dimensi kolom. Kemudian dapat melakukan analisis struktur dengan <i>software</i> ETABS untuk mengetahui dimensi yang digunakan pada struktur tersebut aman atau tidak. Selain itu di <i>software</i> ETABS dapat menghasilkan gaya - gaya dari analisis struktur seperti hasil 3D gaya aksial, gaya geser, dan momen. Perhitungan tulangan struktur atas dan bawah berdasarkan hasil dari <i>output ETABS</i>. Untuk hasil dari pemodelannya dan penjadwalan pelaksanaan pekerjaan struktur menggunakan <i>software Tekla Structure</i>. Untuk perhitungan RAB dari perhitungan volume dari <i>output</i> permodelan dari <i>Tekla Structure</i>.
10.	Husnul Khatimi, Kristnanda Floter Pardosi	2022	a. Tujuan : Penerapan BIM 4D penjadwalan menggunakan <i>software</i> Tekla. Tekla digunakan untuk melakukan penjadwalan 4D melalui Tekla Task Manager yang kemudian akan dibandingkan dengan penjadwalan manual di proyek. b. Metode : Metode yang dipakai dalam penelitian ini yaitu dimulai dengan mengkaji perangkat lunak dan objek yang dimodelkan, pengumpulan data <i>as build</i>, kurva S, dan RAB. Dengan data yang

No	Nama Author	Tahun	Intisari
			dipakai dalam penelitian ini yaitu data sekunder dan data primer. Data primer dilakukan dengan melakukan wawancara ke pihak <i>owner</i>, kontraktor dan konsultan. c. Hasil : Pemodelan bangunan yang dilakukan dengan menggunakan <i>software</i> Tekla <i>Structure</i> 2020 dengan beton bertulang yang terdiri dari <i>pile cap, sloof</i>, balok, kolom, dan pelat lantai. Serta Tekla menjadwalkan durasi pekerjaan proyek yang nantinya akan dibandingkan antara penjadwalan Tekla dengan penjadwalan yang di dapat dari proyek.
12.	Pinta Astuti, Rangga Kurnianto, Surya Dewi Puspitasari.	2023	a. Tujuan : Perancangan struktur baja dan sambungan terhadap beban gempa. Melakukan program analisis dengan SAP2000 dan detailing dengan Tekla Structure. b. Metode : Menggunakan metode deskriptif. Tahapan metode penelitian yaitu pengumpulan data perancangan, kemudian pemodelan <i>SAP 2000</i> dan <i>Tekla Structure</i>. c. Hasil : Sebelum pemodelan tersebut dilakukan perencanaan balok, kolom, gording, pelat, sambungan, base plate, dan pondasi. Hasil dari perancangan menggunakan <i>Tekla Structure</i> berupa modeling dan gambar detail engineering design (DED) 3D, sedangkan hasil dari SAP 2000 berupa hasil analisis perhitungan elemen dan sambungan.

No	Nama Author	Tahun	Intisari
13.	Dani Setiawan, Aruni Bunga Saffarah, Riawan Gunadi, Heri Kasyanto	2024	a. Tujuan : Penerapan BIM di industri konstruksi membantu dalam percepatan dan pemerataan pembangunan. Perusahaan kontraktor hanya sedikit konsultan perencana yang menggunakan BIM. Sedangkan untuk meningkatkan efisiensi pekerjaan konstruksi, penerapan BIM dimulai dari tahap perancangan kemudian ke tahap pelaksanaan. b. Metode : Menggunakan metode studi kasus. Pelaksanaan rancangan berdasarkan diagram alir penelitian dan Integrasi Software. c. Hasil : Pemodelan struktur dengan <i>Revit 2023</i> (penerapan alur kerja/<i>flow work</i>), kemudian model di-export ke <i>RSAP 2023</i> untuk dilakukan analisis struktur dan perancangan elemen struktur. Tahap selanjutnya pemodelan perancangan dengan <i>RSAP 2023</i> dan <i>Revit 2023</i>. Pembuatan simulasi pekerjaan (<i>Naviswork 2023</i>) dan penjadwalan pekerjaan dengan Ms. Project.
14.	Sahal Priyono Putra, Zalfa Nizar Izzudin, Sumirin, Muhamad Rusli Ahyar	2021	a. Tujuan : Merencanakan penulangan dimensi balok, kolom, plat dan shearwall. Menghitung dimensi dan penulangan pile cap. Pembuatan pemodelan menggunakan sistem rangka gedung dan sistem ganda dengan ETABS. b. Metode : Menggunakan metode diagram alir perencanaan. Tahap metode perencanaan yaitu : pengumpulan data, perencanaan dan analisis perhitungan struktur, pemodelan struktur,

No	Nama Author	Tahun	Intisari
			perhitungan pembebanan, perhitungan dimensi, dan analisis struktur. c. Hasil : Bangunan RSUD Mijen tahan gempa berdasarkan SNI yang berlaku.
15.	Alfiyah Diah Salsabila, Soerjandani Priantoro Machmoed	2023	a. Tujuan : Menganalisa perhitungan struktur gedung beton bertulang dan tahan gempa dengan sistem SRPMK. b. Metode : Menggunakan metode studi kasus. Tahapan perancangan dimulai dengan studi literatur, pengumpulan data, preliminary design, dan analisa pembebanan. c. Hasil : Kontrol simpangan struktur gedung Hotel Dame memenuhi syarat simpangan ijin (100 cm), sehingga mampu digunakan dalam perencanaan tahan gempa.
16.	Rizky Ilham Mardhani, Anik Ratnaningsih, Syamsul Arifin	2022	a. Tujuan : Perencanaan ulang Gedung Perkuliahan FEB dengan aplikasi BIM mampu mengintegrasikan beberapa elemen proyek pada satu jenis file sehingga mempermudah dalam mengkoordinasi dengan baik. Merencanakan volume pekerjaan, biaya proyek serta penjadwalan. b. Metode : Menggunakan metode studi kasus. Tahapan yang dilakukan yaitu studi literatur, identifikasi masalah, pengumpulan data, pengolahan, pemodelan dan analisis data, serta pengolahan biaya

No	Nama Author	Tahun	Intisari
			dan waktu. c. Hasil : a) Pemodelan struktur meliputi : titik <i>bore pile</i>, <i>pile cap</i>, <i>foot plate</i>, <i>sloof</i>, kolom, balok, plat lantai. b) Pemodelan Tulangan meliputi : pondasi, kolom, dan plat untuk mendapatkan hasil volume. c) Diperoleh rencana anggaran dengan BIM berdasarkan hasil volume. d) Diperoleh estimasi waktu yang dibutuhkan dalam setiap lantai atau bagian pekerjaan.
17.	Abraham Giroth, Banu D. Handono, Servie O. Dapas	2024	a. Tujuan : Merencanakan struktur dengan beban gempa sebagai beban lateral dominan (tanpa perhitungan beban angin) menggunakan sistem baja RBKK sebagai sistem penahan gaya seismik, mulai dari preliminary design sampai dengan perencanaan sambungan. b. Metode : Menggunakan metode kajian literatur, pendataan struktur dan perhitungan beban. c. Hasil : Melakukan perbandingan sistem struktur dengan membuat 5 model struktur yang akan diuji coba terhadap sistem penahan gaya seismik dengan dimensi kolom yang berbeda. Menganalisis kontrol keamanan global struktur Merencanakan elemen struktur (kolom, balok, dan pelat) dan sambungan struktur.

No	Nama Author	Tahun	Intisari
18.	Wa Ode Siti Nur Aisyah, Soerjandani Priantoro Machmoed	2023	a. Tujuan : Tujuan dari perencanaan ini yaitu untuk mengetahui dimensi dinding geser dan rangkanya pada sistem ganda untuk bangunan tahan gempa. b. Metode : Metode pengumpulan data dan dijelaskan melalui diagram alir perencanaan. c. Hasil : Berdasarkan penelitian ini untuk pembeban gempa 3D menggunakan aplikasi SAP2000 yang secara otomatis mendapatkan nilai massa bangunan. Untuk perencanaan dinding geser <i>output</i> dari analisa struktur menggunakan SAP2000.
19.	Aditya Purnama, S.ST., M.T.	2021	a. Tujuan Mengetahui analisis struktur atas dengan menggunakan konsep tahan gempa serta untuk mengetahui perencanaan beton bertulang dengan sistem <i>strong column weak beam</i> dan mengetahui perbandingan dari perencanaan beton bertulang terhadap <i>existing</i>. b. Metode : Metode yang digunakan yaitu dengan meninjau beban gempa yang akan digunakan untuk perhitungan beban gempa. Kemudian akan dilakukan analisis perhitungan untuk mendapatkan besar gaya - gaya yang bekerja pada struktur bangunan dengan menggunakan program Midas Gen 2019

No	Nama Author	Tahun	Intisari
			c. Hasil : Pemodelan struktur 3D menggunakan <i>software</i> Midas Gen 2019. Hasil perhitungan perencanaan ulang dengan sistem <i>strong column weak beam</i> yang mampu menahan beban gempa.

Berdasarkan kajian terhadap jurnal penelitian terdahulu yang telah kami lakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa penerapan struktur bangunan tahan gempa sangat diperlukan mengingatkan wilayah Indonesia dilalui oleh tiga lempeng tektonik yang masih aktif. Oleh karena itu, perencanaan pada proyek bangunan Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang dilakukan dengan integrasi BIM 5D.

BAB III

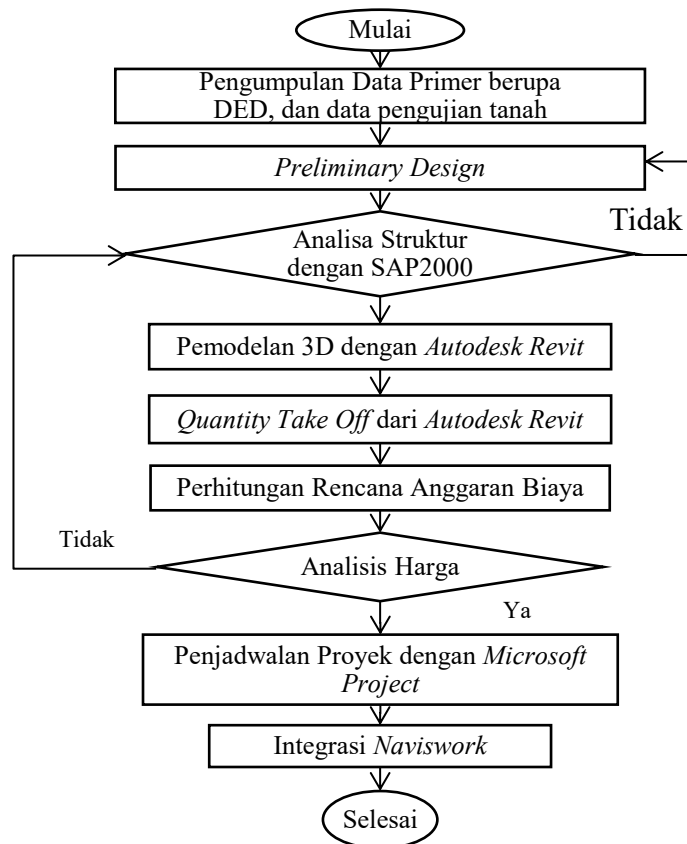
METODE PENELITIAN

3.1 Jenis dan Metode Penelitian

Jenis penelitian ini yaitu perencanaan ulang struktur Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang dengan menggunakan *Building Information Modeling* (BIM). Metode yang digunakan yaitu kuantitatif karena dalam penelitian ini terdapat beberapa perhitungan struktur bangunan serta analisa suatu bangunan dengan menggunakan *Building Information Modeling* (BIM).

3.2 Alur Perencanaan

Diagram alir ini merupakan tahapan dalam perencanaan ulang Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang yang terintegrasi *Building Information Modeling* (BIM) dengan metode SRPMK dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Perencanaan

3.3 Data Perencanaan

Data perencanaan proyek pembangunan Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang memuat informasi teknis yang berkaitan dengan karakteristik bangunan, kondisi lokasi, serta ketentuan perencanaan yang digunakan dalam pengembangan desain.

3.3.1 Data Umum

Data umum pada penelitian ini memuat informasi detail mengenai gambaran bangunan secara umum seperti berikut ini.

Nama Proyek	: Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Hukum Universitas 17 Agustus 1945 Semarang.
Lokasi Proyek	: Jl. Pemuda No. 70, Pandansari, Kecamatan Semarang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50133.
Pemilik Proyek	: Universitas 17 Agustus 1945 Semarang.
Sumber Dana	: Dana Internal Universitas 17 Agustus 1945.
Kontraktor	: PT. Chimarder 777
Metode Pelaksanaan	: Swakelola UNTAG
Luasan Lahan	: 690 m ² .
Tinggi Bangunan	: 23,35 meter
Fungsi Bangunan	: Gedung Perkuliahan.



Gambar 3.2 Citra Satelit Lokasi Proyek Pembangunan

Sumber: *Citra Satelit*

Berdasarkan peta lokasi proyek pembangunan Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang yang berada di area strategis di pusat kota dan sangat padat bangunan, dengan deskripsi batasan lahan berikut:

- Selatan : Berbatasan dengan jalan protokol utama, yaitu Jl. Pemuda.
- Utara : Berbatasan langsung dengan area pemukiman warga di wilayah Jl. Pandansari Raya.
- Barat : Berbatasan dengan bangunan KHAS Semarang Hotel dan bangunan komersial lainnya.
- Timur : Berbatasan dengan bangunan Hotel Louis Kiene Pemuda dan bangunan komersial lainnya.

3.3.2 Data Tanah

Data tanah untuk perencanaan ulang suatu bangunan diperoleh dengan melalui pengujian mekanika tanah seperti *Cone Penetration Test* (CPT), *Standard Penetration Test* (SPT), sondir dan lain sebagainya. Pengujian tanah tersebut bertujuan untuk mengetahui kondisi tanah di lapangan agar pada saat merencanakan sebuah pondasi sesuai dengan kondisi tanah yang ada sehingga pondasi bangunan menjadi kuat, aman dan juga untuk meminimalisir terjadinya penurunan tanah.

Tabel 3.1 Data Tanah dan Geoteknik

Data	Keterangan
Jenis Tanah	Pasir
Kedalaman Tanah	30 meter
Pengujian Lapangan	Bor Mesin
Pengujian Laboratorium	▪ Berat Isi (asli dan kering) dan Kadar Air ▪ <i>Specific Gravity</i> ▪ <i>Atterberg Limits</i> ▪ <i>Grain Size Test</i> ▪ <i>Direct Shear Test</i> ▪ <i>Unconfined Compression Test</i> ▪ <i>Consolidation</i>

Sumber: Laboratorium Mekanika Tanah UNTAG, (2024)

Tabel 3.2 Data Lapisan Tanah

Kedalaman Tanah	Keterangan
±0,00 s/d – 3,00	LEMPUNG berpasir dan material urugan, warna coklat kehitaman, ukuran butir sedang, konsistensi sedang, tidak plastis, dan terdapat banyak bongkahan keramik sisa <i>cutting</i> dari pondasi.
-3,00 s/d -5,00	PASIR berlempung, warna hitam, ukuran butir halus - sedang, kondisi tanah sangat lepas-lepas, tidak plastis, terdapat sedikit pecahan kulit kerang.
-5,00 s/d -9,00	PASIR, warna hitam, ukuran butir halus sedang, kondisi lepas, tidak plastis, terdapat banyak pecahan kulit kerang.
-9,00 s/d -10,00	PASIR berlempung, warna hitam keabu-abuan, kondisi tanah lepas, plastisitas sedang, terdapat sedikit pecahan kulit kerang, dan terdapat sedikit kerikil batuan.
-10,00 s/d -11,00	PASIR, warna hitam, ukuran butir sangat halus, kondisi tanah lepas, tidak plastis, dan terdapat banyak pecahan kulit kerang.
-11,00 s/d -14,00	LEMPUNG sedikit berpasir jhalus, warna abu-abu, konsistensi tanah sedang (<i>medium stiff</i>), plastisitas sedang - tinggi, dan terdapat sedikit pecahan kerang.
-14,00 s/d -19,00	PASIR, ukuran butir sangat halus, warna hitam, kondisi tanah lepas, tidak plastis, dan terdapat banyak pecahan kerang.
-19,00 s/d -22,00	LEMPUNG sedikit berpasir halus, warna abu-abu, konsistensi tanah kaku (<i>stiff</i>), plastisitas sedang, dan terdapat sedikit pecahan kerang
-22,00 s/d -23,00	PASIR, warna hitam, ukuran butir sangat halus, kondisi tanah sedang (<i>medium dense</i>), tidak plastisitas, dan terdapat banyak pecahan kulit kerang
-23,00 s/d -27,00	LEMPUNG, warna abu-abu, konsistensi tanah sangat kaku, dan plastisitas sedang
-27,00 s/d -28,00	LEMPUNG sedikit berpasir halus, warna abu-abu, konsistensi tanah sangat kaku, dan plastisitas sedang.
-28,00 s/d -30,00	LEMPUNG, warna abu-abu, konsistensi tanah sangat kaku (<i>very stiff</i>), dan plastisitas tinggi.

Sumber: Laboratorium Mekanika Tanah UNTAG, (2024)

3.3.3 Data Beton

Data beton diperoleh dari proyek konstruksi yang akan kita rencanakan ulang. Dimana data beton tersebut dapat meliputi seperti kolom, balok, pelat, pondasi (bisa

tiang pancang atau *bore pile* sesuai dengan jenis tanah dan lokasi proyek), *pile cap* dan lain sebagainya. Data beton yang dimaksud yaitu mengenai kekuatan mutu beton yang akan dipakai.

Tabel 3.3 Data Beton Rencana

Data	Keterangan
Jenis Struktur	Beton bertulang
Jenis Pondasi	<i>Bore pile</i>
Mutu Beton	Fc' 35 Mpa (<i>ready mix</i>)
Berat jenis beton	2400 kg/m ³
Modulus elastisitas	27.805,575 Mpa

Sumber: Gambar *Detail Engineering Design*

Tabel 3.4 Data Baja Tulangan Rencana

Data	Keterangan
Tulangan Pokok	BJTS 420, fy 420 Mpa, fu 525 Mpa
Tulangan Sengkang	BJTP 280, fy 280 Mpa, fu 350 Mpa
Mutu Beton	Fc' 35 Mpa (<i>ready mix</i>)
Berat jenis beton	7850 kg/m ³
Modulus elastisitas	200.000 Mpa

Sumber: Gambar *Detail Engineering Design*

3.4 Studi Literatur

Studi literatur pada penelitian ini yaitu dengan menggunakan jurnal 10 tahun terakhir sebagai pandangan dengan mengacu pada peraturan berikut:

1. SNI 1726:2019 Mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
2. SNI 2847:2019 Mengenai Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.
3. SNI 1727:2020 Mengenai Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

3.5 Tahap Perencanaan

Pada tahap ini dilakukan proses pengumpulan data awal, analisis kebutuhan, serta penetapan konsep perencanaan yang mencakup aspek teknis, fungsional, ekonomi, dan keselamatan bangunan. Data yang dikaji meliputi kondisi lokasi, karakteristik tanah, kebutuhan pengguna, serta ketentuan peraturan dan standar perencanaan yang berlaku.

3.5.1 Preliminary Design Penampang

Preliminary Design merupakan tahapan awal dari sebuah perencanaan untuk menentukan dimensi pada sebuah struktur meliputi desain balok, pelat, dan kolom berdasarkan SNI 2847-2019.

1. Balok

Salah satu bagian struktur atas yang memiliki fungsi untuk menyalurkan gaya atau momen ke kolom (Saputra, 2022). Dalam merencanakan tinggi balok diatur dalam pasal 9.3.1.1 SNI 2847:2019. Merujuk pada SNI 2847:2019 penentuan dimensi balok dapat menggunakan perhitungan sebagai berikut.

Tabel 3.5 Menentukan Tinggi Balok (SNI 2847:2019)

Perletakan Komponen Struktur	h minimum
Tertumpu Sederhana	$\ell / 16$
Satu Ujung Menerus	$\ell / 18,5$
Kedua Ujung Menerus	$\ell / 21$
Kantilever	$\ell / 8$

Perencanaan tinggi balok untuk perencanaan awal menggunakan persamaan berikut ini:

a. Balok induk $h = \frac{L}{12}$ (35)

b. Balok anak $h = \frac{L}{16}$ (36)

c. Kantilever $h = \frac{L}{8}$ (37)

d. Sloof $h = \frac{L}{18,5}$ (38)

Perencanaan untuk dimensi lebar balok menggunakan rumus berikut ini:

$$\text{Lebar balok } b = \frac{1}{2} h \dots\dots\dots (39)$$

Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dengan menurut SNI 2487:2019 Pasal 18.6.2.1 batasan dimensi balok harus memenuhi kriteria sebagai berikut.

1. Bentang bersih, $L_n \geq 4d$

$$d = h - \text{cover} - \emptyset \text{ tul. Sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul. Utama} \dots\dots\dots (40)$$

Keterangan :

L_n = Bentang bersih

d = Jarak efektif beton

2. Lebar penampang, b_w

$$b_w = 0,3h \text{ (atau)} \dots\dots\dots (41)$$

$$b_w = 250 \text{ mm} \dots\dots\dots (42)$$

3. Lebar proyeksi balok melintasi lebar kolom tidak boleh melebihi c_2 dan $0,75 c_1$ yang lebih kecil pada setiap sisi kolom.

2. Kolom

Perencanaan dimensi kolom berdasarkan SNI 2847:2019 dengan menggunakan metode pembebanan, dimensi kolom dapat diperoleh melalui perhitungan berikut ini.

$$\frac{I_{\text{kolom}}}{L_{\text{kolom}}} \geq \frac{I_{\text{balok}}}{L_{\text{balok}}} \dots\dots\dots (43)$$

$$I_{\text{kolom}} = \frac{1}{12} \times \frac{b}{l} \text{ kolom} \times h^3 \dots\dots\dots (44)$$

$$I_{\text{balok}} = \frac{1}{12} \times \frac{b}{l} \text{ balok} \times h^3 \dots\dots\dots (45)$$

Keterangan dari rumus diatas, sebagai berikut:

I_{kolom} = inersia kolom

L_{kolom} = tinggi bersih kolom

I_{balok} = inersia balok

L_{balok} = panjang bersih balok

3. Pelat

Perencanaan dimensi pelat berdasarkan SNI 2847:2019 pada jenis pelat satu arah, maka pelat akan dianggap menumpu balok bentang panjang, sedangkan balok bentang pendek hanya memikul beban pelat yang kecil Adapun syarat untuk pelat satu arah, yaitu :

Tabel 3. 1 Tebal minimum pelat satu arah (SNI 2847:2019)

Kondisi Tumpuan	Tinggi minimum
Tumpuan sederhana	$L/20$
Satu ujung menerus	$L/24$
Kedua ujung menerus	$L/28$
Kantilever	$L/10$

$$L_x < 0,4 \text{ (atau) } \dots\dots\dots (46)$$

$$\frac{L_y}{L_x} > 2 \dots\dots\dots (47)$$

Keterangan dari rumus diatas, yaitu:

L_y = panjang arah y.

L_x = panjang arah x.

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 8.3.1.1. terkait syarat untuk pelat dua arah, yaitu :

$$\frac{L_n}{S_n} < 2 \dots\dots\dots (48)$$

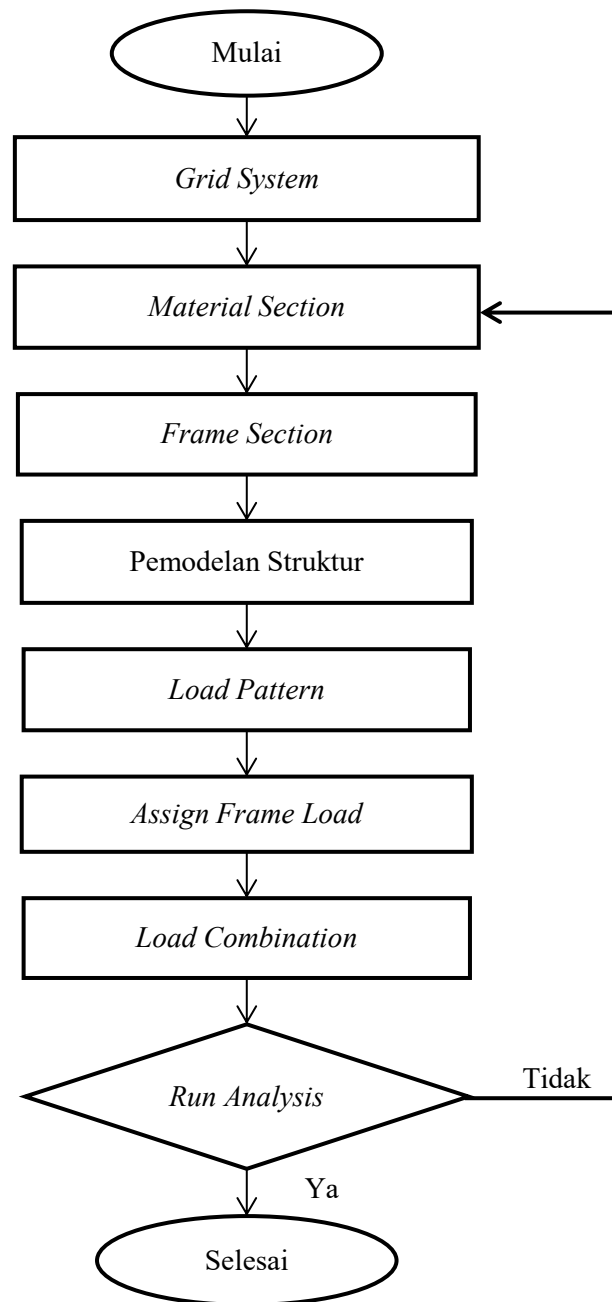
Keterangan dari rumus diatas, yaitu:

L_n = panjang bersih bentang.

S_n = panjang bersih bentang terpendek.

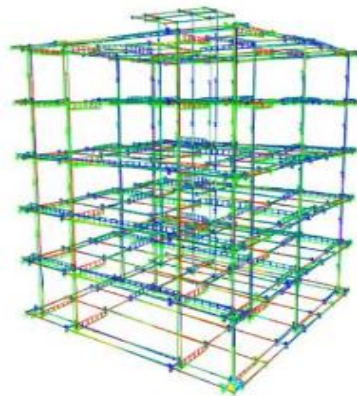
3.5.2 Analisa Struktur Atas

Pada penelitian ini analisa struktur atas menggunakan *software* SAP2000 untuk menganalisis beban mati, beban hidup, beban angin, gempa bumi, gaya lateral dan analisis dinamik yang lain. Tahapan analisa struktur bangunan ini dengan SAP2000 sebagai berikut:



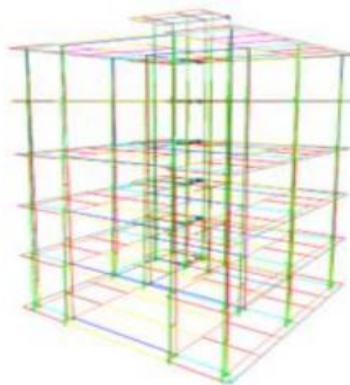
Gambar 3.3 Diagram Alir Analisa Struktur Atas SAP2000

Hasil dari analisa menggunakan SAP2000 ini yaitu gaya momen, gaya geser serta gaya aksial. Dalam melakukan analisa struktur atas namun tidak aman maka harus dilakukan perubahan dimensi dengan menyesuaikan SNI 2847:2019. Struktur atas meliputi balok, kolom, dan pelat. Berikut ilustrasi analisa struktur dengan SAP2000, yaitu



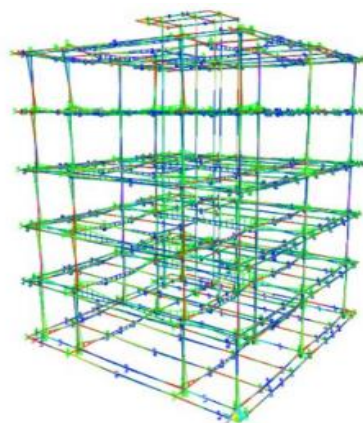
Gambar 3.4 Cek terhadap gaya lintang

Sumber: Christiandava et al., (2023)



Gambar 3.5 Cek terhadap gaya aksial

Sumber: Christiandava et al., (2023)

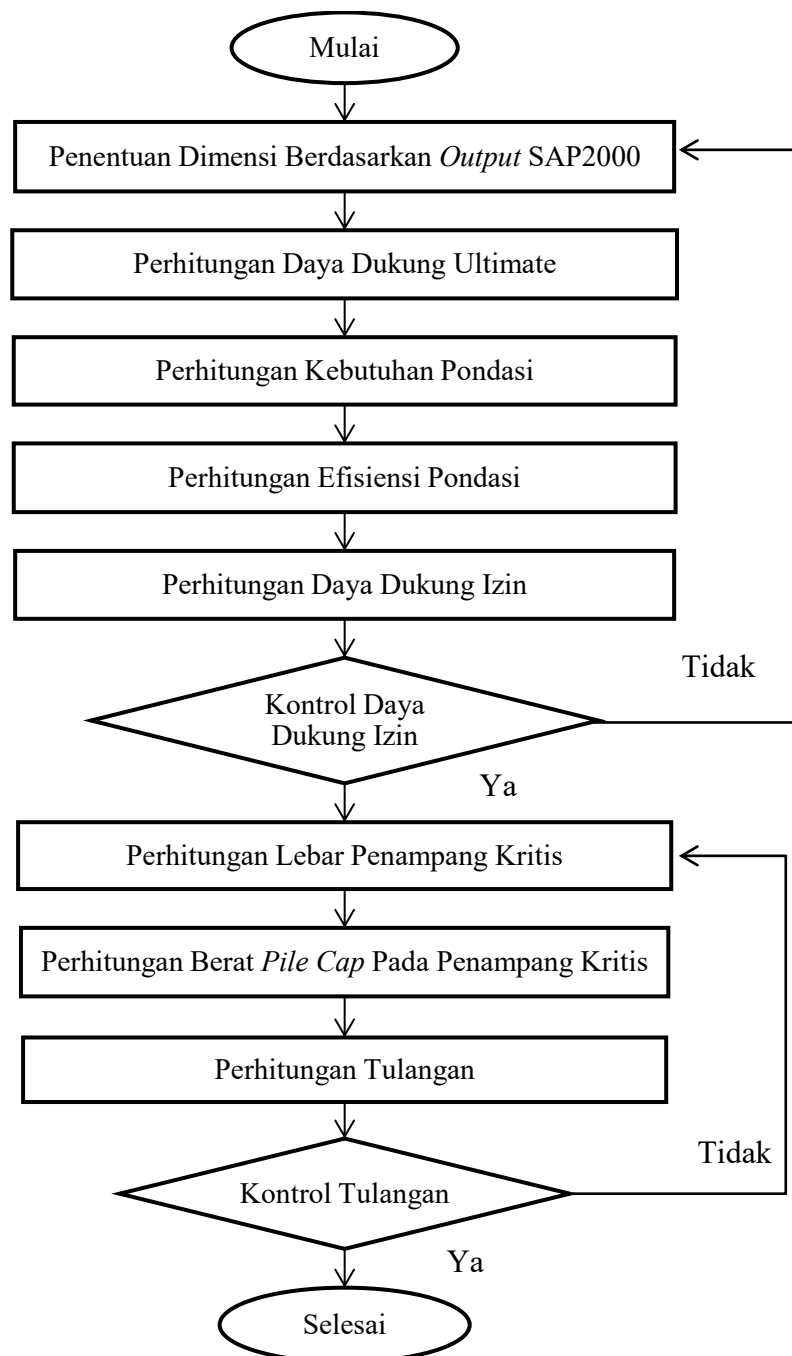


Gambar 3.6 Cek terhadap momen

Sumber: Christiandava et al., (2023)

3.5.3 Analisa Struktur Bawah

Analisis struktur bawah pada penelitian ini meliputi analisis pondasi dan *pile cap*. Struktur bawah bangunan ini di analisis menggunakan SAP2000 sehingga diperlukan tahapan sebagai berikut:

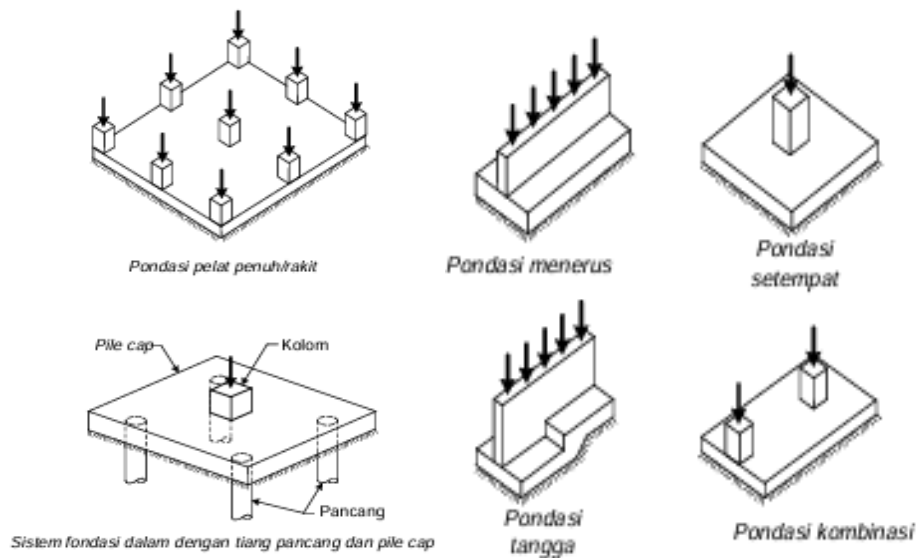


Gambar 3.7 Diagram Alir Analisa Struktur Bawah

Analisa struktur bawah bangunan ini meliputi struktur pondasi dan *pile cap*, dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Pondasi

Pemilihan jenis pondasi pada saat melakukan perencanaan sebuah proyek berdasarkan dengan kondisi tanah pada proyek dan juga kedalaman tanah kerasnya. Pondasi memiliki beberapa jenis yaitu pondasi dalam dan dangkal. Menurut Diansyah (2019), menjelaskan bahwa hal yang harus diperhatikan pada saat melakukan perencanaan sebuah pondasi yaitu perhitungan kapasitas beban, jumlah tiang pondasi yang dibutuhkan, pengaturan tegangan terbesar, penulangan beton cor *pile cap*. Perhitungan pondasi yang akan digunakan akan mengacu pada SNI 2847:2019. Contoh tipe pondasi diilustrasikan sebagai berikut:



Gambar 3.8 Tipe Pondasi (SNI 2847:2019)

Sumber: SNI 2847:2019

2. Pile Cap

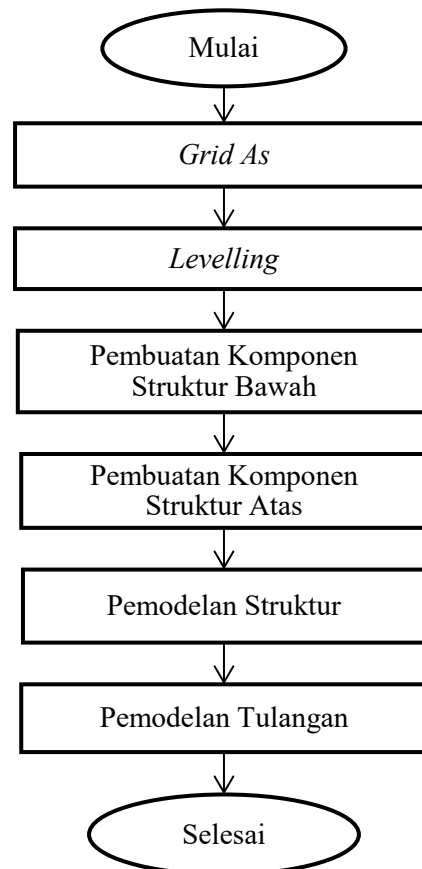
Pile cap bertujuan untuk menyalurkan beban dari kolom struktur atas ke pondasi *bore pile*. Berdasarkan SNI 2847:2019 tabel 22.2.2.4.3 syarat dan batas penulangan *pile cap* sebagai berikut:

Tabel 3.7 Syarat dan batas penulangan (SNI 2847:2019)

F_c' (MPa)	B_t
$17 \leq f_c' \leq 28$	0.85
$28 < f_c' < 55$	$0.85 - \frac{0.05 (f_c' - 28)}{7}$
$F_c' \geq 55$	0.65

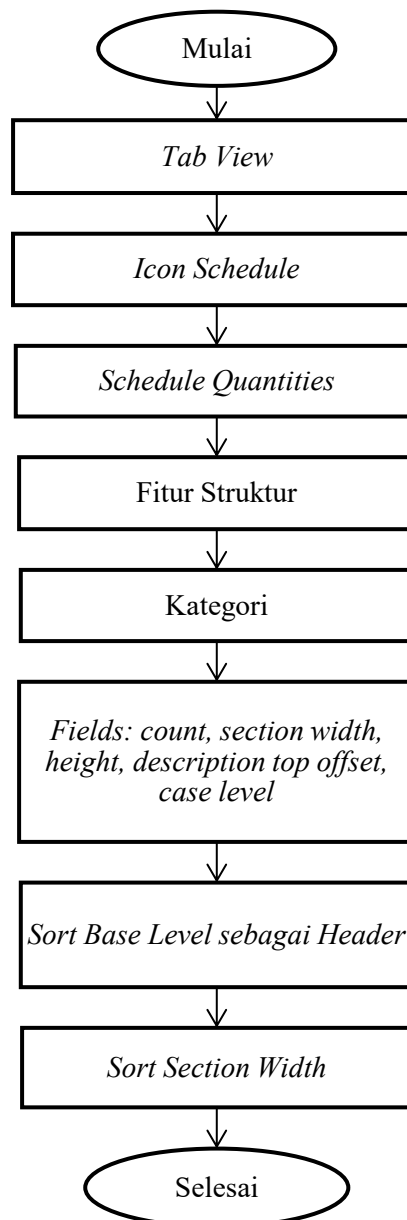
3.5.4 Permodelan 3D

Pemodelan 3D pada penelitian ini menggunakan *software* Revit. Pemodelan bangunan di Revit dimulai dengan membuat *Grid As* kemudian membuat sebuah *Levelling*. Setelah pembuatan tersebut dilanjutkan dengan membuat struktur atas dan bawah, lalu pemodelan tulangan. Apabila semua telah dilakukan maka pemodelan 3D dengan *software* Revit sudah selesai. Setelah pemodelan selesai yaitu perhitungan volume dan biaya.

**Gambar 3.9** Diagram Alir Permodelan 3D

3.5.5 Quantity Take Off

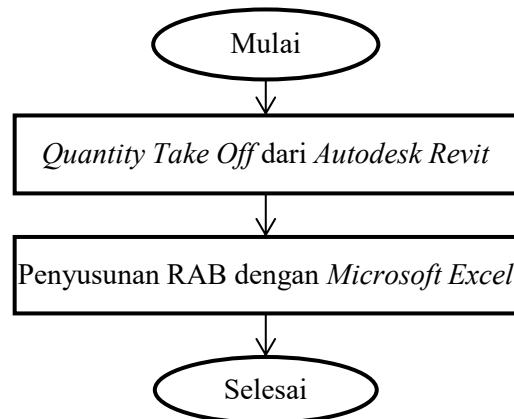
Setelah dilakukan pemodelan 3D maka dilakukan perhitungan volume bangunan di *software* Revit. Setelah dilakukan pemodelan dan *output* dari volume bangunan akan ada rekapitulasi mengenai *output* volume. *Quantity Take Off* nantinya menjadi dasar dalam penyusunan Rancangan Anggaran Biaya (RAB). Selain itu juga dapat digunakan dalam penyusunan penjadwalan sebuah proyek.



Gambar 3.10 Diagram Alir Quantity Take Off

3.5.6 Perhitungan Rancangan Anggaran Biaya (RAB)

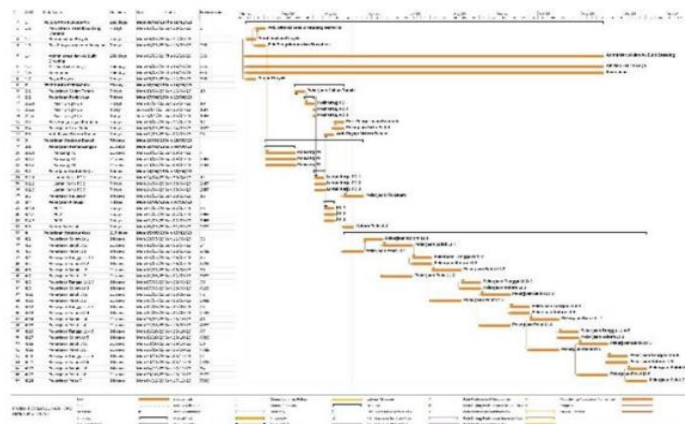
Perhitungan Rancangan Anggaran Biaya pada penelitian ini dibantu dengan menggunakan *Microsoft Excel*. Perhitungan tersebut diperoleh dari volume struktur bangunan dari Revit yang kemudian dihitung sesuai dengan standar harga satuan yang ada di wilayah tersebut.



Gambar 3.11 Diagram Alir Rencana Anggaran Biaya

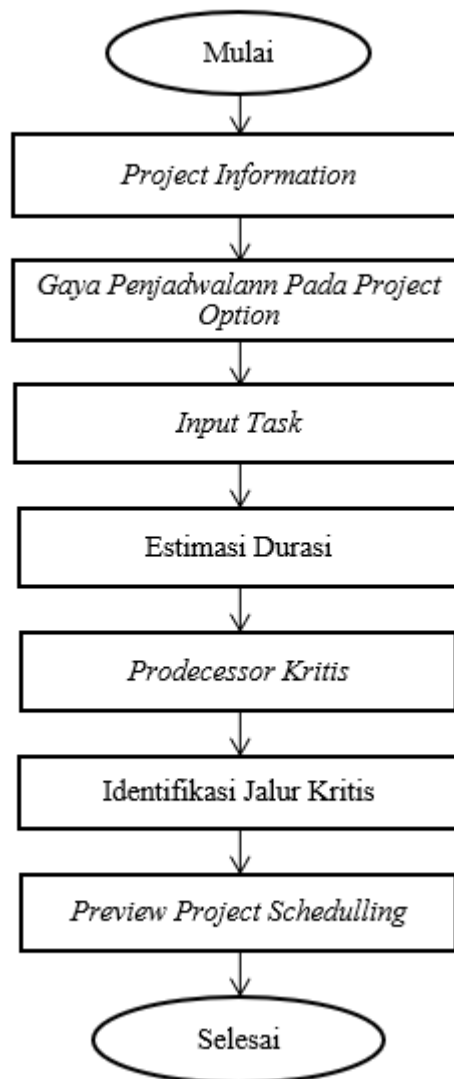
3.5.7 Penjadwalan Proyek

Penelitian ini memanfaatkan perangkat lunak Microsoft Project untuk menyusun penjadwalan proyek. Langkah ini sangat krusial guna memastikan seluruh tahapan pekerjaan berjalan dengan target yang ditetapkan. Selain itu, adanya jadwal yang terstruktur juga berfungsi sebagai instrumen kontrol untuk memonitor progres atau sejauh mana proyek tersebut telah terealisasi.



Gambar 3.12 Penjadwalan Proyek

Sumber: Christiandava et al., (2023)

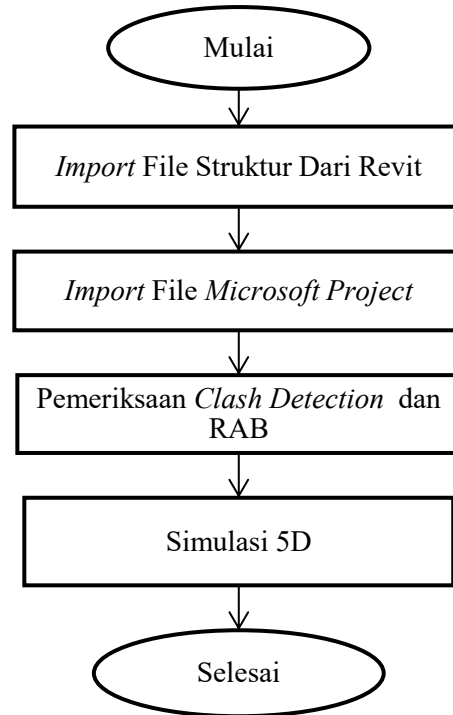


Gambar 3.13 Diagram Alir Penjadwalan Proyek.

3.5.8 Integrasi BIM 5D

Penelitian ini menerapkan Building Information Modelling (BIM) 5D dalam proses perencanaan ulang Gedung Fakultas Hukum Universitas 17 Agustus 1945 (UNTAG) Semarang. Implementasi BIM 5D dilakukan melalui integrasi model tiga dimensi bangunan dengan data penjadwalan pekerjaan dan estimasi biaya proyek menggunakan perangkat lunak Navisworks. Integrasi tersebut menghasilkan simulasi pelaksanaan konstruksi yang mampu menggambarkan urutan pekerjaan, durasi pelaksanaan, serta keterkaitannya dengan biaya proyek secara terstruktur. Dengan demikian, penerapan BIM 5D diharapkan dapat meningkatkan efektivitas

proses perencanaan, koordinasi, dan pengendalian proyek konstruksi. Diagram alir penerapan BIM 5D dalam penelitian ini disajikan pada gambar berikut.



BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Konsep Perencanaan

Konsep desain dalam penelitian akhir ini dilakukan dengan merancang ulang Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726:2019. Dalam desain struktur, sistem rangka penahan momen khusus (SRPMK) diterapkan untuk meningkatkan kinerja struktural dalam menahan gaya gempa yang bekerja pada bangunan.

Pada tahap perencanaan, proses dimulai dengan pengumpulan data primer bangunan yang ada, tinjauan pustaka, serta penentuan parameter beban berdasarkan peraturan yang berlaku. Tahap selanjutnya, dilakukan pemodelan penampang elemen struktur dan analisis tingkat keamanan struktur menggunakan SAP2000 untuk memperoleh gaya dalam, deformasi, dan dimensi elemen struktur serta kebutuhan tulangan baja.

Selain itu, bagian eksisting bangunan yang belum memenuhi standar juga dirancang ulang, termasuk dengan penambahan tangga darurat serta penyesuaian tata letak balok agar sesuai dengan sistem struktur bangunan. Setelah analisis struktur selesai, kami menggunakan *Autodesk Revit* untuk melakukan *Building Information Modeling* (BIM) dan membuat model 3D dari struktur bangunan.

Hasil pemodelan 3D pada Revit digunakan untuk menentukan volume pekerjaan sebagai dasar penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) menggunakan Microsoft Excel serta penyusunan penjadwalan proyek menggunakan Microsoft Project. Dengan konsep perencanaan tersebut diharapkan diperoleh bangunan yang memenuhi aspek kekuatan, keamanan, efisiensi, dan kemudahan dalam proses perencanaan proyek konstruksi.

4.2 Preliminary Design

Preliminary design dimensi penampang struktur yang meliputi balok, kolom, plat, dan tangga diperoleh hasil sebagai berikut:

4.2.1 Balok

Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan *preliminary design* dari balok.

$$L = 6000 \text{ mm}$$

$$H_{\min} = \frac{6000}{12}$$

$$= 500 \text{ mm}$$

Dipakai tinggi balok ialah 800 mm

$$b = \frac{1}{2} h$$

$$= \frac{1}{2} 800$$

$$= 400 \text{ mm}$$

Berikut merupakan rekap hasil *preliminary design* dari balok yang sudah diperhitungkan:

Tabel 4.1 Rekapitulasi *Preliminary* Balok

No	Tipe Balok	Dimensi Balok (mm)
1	S1	400 x 800
2	B1	400 x 800
3	B2	350 x 700
4	B3	250 x 500
5	B5	200 x 400

4.2.2 Plat Lantai

Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan *preliminary design* plat lantai $t=15 \text{ cm}$ sesuai SNI 2847:2019.

a. Menentukan jenis plat

$$\text{Panjang (Ly)} = 6000 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang (Lx)} = 6000 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{Ly}{Lx}$$

$$= \frac{6000}{6000}$$

$$= 1 < 2 \text{ (plat dua arah)}$$

b. Bentang Bersih Plat

$$\begin{aligned}
 L_{ny} &= L_y - \left(\frac{1}{2} \times B_1\right) - \left(\frac{1}{2} \times B_1\right) \\
 &= 600 \text{ cm} - \left(\frac{1}{2} \times 40\right) - \left(\frac{1}{2} \times 40\right) \\
 &= 560 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_{nx} &= L_x - \left(\frac{1}{2} \times B_1\right) - \left(\frac{1}{2} \times B_1\right) \\
 &= 600 \text{ cm} - \left(\frac{1}{2} \times 40\right) - \left(\frac{1}{2} \times 40\right) \\
 &= 560 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

c. Lebar efektif balok

$$b_e = b_w + 2h_b = 40 + 2(80-12) = 176 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 8h_f = 40 + 8(12) = 136 \text{ cm}$$

$$\text{Dipakai } b_e = 136 \text{ cm}$$

d. Menentukan rasio kuat lentur balok terhadap plat

Untuk menentukan rasio kuat lentur balok terhadap kuat lentur pelat menggunakan rumus berikut:

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \frac{t}{h} \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \frac{12}{80} \left[4 - 6 \left(\frac{12}{80}\right) + 4 \left(\frac{12}{80}\right)^2 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{80}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{80}\right)}$$

$$k = 1,58$$

$$I_{balok} = k \times \frac{b_w h^3}{12} = 1,58 \times \frac{40 \times 80^3}{12} = 2696533,3 \text{ cm}^4$$

$$I_{pelat} = \frac{L t^3}{12} = \frac{600 \times 12^3}{12} = 86400 \text{ cm}^4$$

$$F_c' = 35 \text{ MPa}$$

$$E_{cvb} = E_{cs} = 4700 \sqrt{f_c'} = 27805,58$$

Rasio kekakuan terhadap plat

$$\alpha_{fm} = \frac{E_{cb} \times I_b}{E_{cs} \times I_s} = \frac{27805,58 \times 2696533,3}{27805,58 \times 86400} = 31,2 > 2$$

Berikut merupakan perhitungan tebal plat:

$$h = h_{min} = \frac{L_{ny} \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} = 13,68 \text{ cm}$$

Maka h pakai = 15 cm > h min 13,68 **MEMENUHI**

4.2.3 Kolom

Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan *preliminary design* kolom sesuai SNI 2847:2019.

Panjang kolom = 4000 mm

Bentang balok = 6000 mm

H balok = 500 mm

B balok = 250 mm

Dikarenakan dimensi penampang persegi, sehingga nilai inersia menggunakan rumus berikut:

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

Perhitungan rencana penampang persegi

$$\begin{aligned} \frac{I_{kolom}}{L_{kolom}} &\geq \frac{I_{balok}}{L_{balok}} \\ \frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{L_{kolom}} &\geq \frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{L_{balok}} \\ \frac{\frac{1}{12} \times h^4}{4000} &\geq \frac{\frac{1}{12} \times h^4}{6000} \\ \frac{\frac{1}{12} \times h^4}{4000} &\geq \frac{5208333,3}{6000} \\ \frac{0,0833 \times h^4}{4000} &\geq 8680,556 \\ h^4 &\geq 41666666,7 \\ h &\geq 451,8 \text{ mm (minimum)} \\ h &= 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai nilai tinggi kolom K3 ialah 500 x 500 mm

Tabel 4.4 Rekapitulasi *Preliminary* Kolom

No	Tipe Balok	Dimensi Balok (mm)
1	K1	700 x 700
2	K2	600 x 600
3	K3	500 x 500

4.2.3 Tangga

Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan *preliminary design* tangga sesuai SNI 2847:2019.

Tinggi tangga = 4000 mm

Panjang panjang = 6000 mm

Tinggi trap = 300 mm

Lebar trap = 160 mm

Syarat standar desain tangga menggunakan rumus berikut:

$$\text{Syarat} = 570 < 2 T_{\text{trap}} + L_{\text{trap}} < 650$$

$$= 570 < 2(300) + 160 < 650$$

$$= 570 < 620 < 650 \text{ (memenuhi)}$$

Perhitungan jumlah keseluruhan trap dibutuhkan, sebagai berikut:

$$n_{\text{trap}} = \frac{h}{L_{\text{trap}}}$$

$$= \frac{4000}{0,16}$$

$$= 25 \text{ buah}$$

$$L_{\text{bordes}} = 6,00 - 12,00 \times 0,30$$

$$= 2,40 \text{ meter}$$

4.3 Perhitungan Pembebanan

Dalam perencanaan ini, menghitung rencana beban yang bekerja pada struktur Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang dilakukan dengan memanfaatkan *Microsoft Excel* guna meningkatkan efisiensi perhitungan, ketelitian hasil dan kemudahan dalam menyesuaikan data pembebanan.

4.3.1 Beban Mati

Merujuk pada SNI 1727:2020 beban mati tambahan yang dihitung untuk analisa SAP2000, diantaranya sebagai berikut:

Beban mati tambahan (SDL) untuk pembebanan pada balok dengan dinding.

$$\begin{aligned} \text{a) Pasangan } \frac{1}{2} \text{ bata} &= 250 \text{ kg/m}^2 \times 4.00 \text{ m} = 10 \text{ kN/m}^2 \\ \text{b) Penggantung} &= 1.25 \text{ kN/m}^2 \\ \text{SDL}_{\text{balok}} &= \mathbf{11.25 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

Beban mati tambahan (SDL) untuk pembebanan pada balok tanpa dinding.

$$\begin{aligned} \text{a) Penggantung} &= 1.25 \text{ kN/m}^2 \\ \text{SDL}_{\text{balok}} &= \mathbf{1.25 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

Beban mati tambahan (SDL) untuk pembebanan pada plat lantai.

$$\begin{aligned} \text{a) Pasir (t = 1 cm)} &= 16 \text{ kg/m}^2 \times 0.01 \text{ m} = 0.16 \text{ kN/m}^2 \\ \text{b) Spesi (t = 3 cm)} &= 22 \text{ kg/m}^2 \times 0.03 \text{ m} = 0.66 \text{ kN/m}^2 \\ \text{c) Penutup lantai (t = 1 cm)} &= 22 \text{ kg/m}^2 \times 0.01 \text{ m} = 0.22 \text{ kN/m}^2 \\ \text{d) Plafond dan penggantung} &= 0.18 \text{ kN/m}^2 \\ \text{e) Instalasi ME} &= 0.25 \text{ kN/m}^2 \\ \text{SDL}_{\text{plat lantai}} &= \mathbf{1.47 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

Beban mati tambahan (SDL) untuk pembebanan pada plat dak.

$$\begin{aligned} \text{a) Pasir (t = 1 cm)} &= 16 \text{ kg/m}^2 \times 0.01 \text{ m} = 0.16 \text{ kN/m}^2 \\ \text{b) Spesi (t = 3 cm)} &= 22 \text{ kg/m}^2 \times 0.03 \text{ m} = 0.66 \text{ kN/m}^2 \\ \text{c) Waterproofing (t = 2 cm)} &= 14 \text{ kg/m}^2 \times 0.02 \text{ m} = 0.28 \text{ kN/m}^2 \\ \text{d) Plafond dan penggantung} &= 0.18 \text{ kN/m}^2 \\ \text{e) Instalasi ME} &= 0.25 \text{ kN/m}^2 \\ \text{SDL}_{\text{plat dak}} &= \mathbf{1.53 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

Beban mati tambahan (SDL) untuk pembebanan pada tangga.

$$\begin{aligned} \text{a) Pasir (t = 1 cm)} &= 16 \text{ kg/m}^2 \times 0.01 \text{ m} = 0.16 \text{ kN/m}^2 \\ \text{b) Spesi (t = 3 cm)} &= 22 \text{ kg/m}^2 \times 0.03 \text{ m} = 0.66 \text{ kN/m}^2 \\ \text{c) Penutup lantai (t = 1 cm)} &= 24 \text{ kg/m}^2 \times 0.01 \text{ m} = 0.24 \text{ kN/m}^2 \\ \text{SDL}_{\text{tangga}} &= \mathbf{1.04 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

Beban mati tambahan (SDL) untuk pembebanan pada atap baja.

$$\text{a) Plafond dan penggantung} = 0.18 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{b) Instalasi ME} = 0.25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{SDL}_{\text{atap baja}} = 0.43 \text{ kN/m}^2$$

4.3.2 Beban Hidup

Penentuan beban hidup disesuaikan dengan fungsi ruangan, sehingga dalam satu lantai bisa berbeda beban hidupnya. Perhitungan beban hidup untuk perencanaan Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang, diantaranya sebagai berikut:

$$\text{a) Beban lantai untuk ruang kuliah} = 1.92 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{b) Beban lantai untuk area parkir} = 1.92 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{c) Beban lantai untuk atap} = 0.96 \text{ kN/m}^2$$

4.3.3 Beban Air Hujan

Perhitungan beban hujan pada atap diperlukan untuk memperhitungkan beban tambahan akibat genangan air hujan yang dapat terjadi apabila sistem drainase tidak bekerja secara optimal (SNI 1727:2020). Direncanakan beban untuk air hujan, sebagai berikut:

d_s : menempatkan posisi lubang (*scupper*) dengan tinggi 5 mm untuk memastikan air tidak menggenang tinggi apabila terjadi penyumbatan pada saluran.

d_h : direncanakan ketinggian aliran air 15 mm untuk *head hidrolis* agar air dapat mengalir saat kondisi intensitas hujan tinggi.

Sehingga beban air hujan (R) yang direncanakan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R &= 0.0098 (d_s + d_h) \\ &= 0.0098 (5 + 15) \\ &= 0.196 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

4.3.4 Beban Gempa

Semua bangunan atau struktur lainnya harus dievaluasi berdasarkan kategori risiko yang berlaku. Untuk struktur, harus mempertimbangkan faktor-faktor penting terkait risiko struktural bangunan dan non-bangunan sebagaimana diatur dalam SNI 1726:2019, serta pengaruh gempa desain terhadap koefisien tingkat keparahan I_e .

Berdasarkan kategori risiko bangunan dan non-bangunan sesuai Tabel 3 SNI 1727:2019, Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang yang berfungsi sebagai gedung perkuliahan diklasifikasikan ke dalam kategori risiko IV. Gedung ini termasuk dalam kategori risiko IV karena nilai koefisien penting gempa (I_e) sebesar 1,50.

Untuk menentukan klasifikasi tanah dalam proyek ini, diperlukan data tanah yang didasarkan pada hasil uji bor mekanis yang mencantumkan nilai SPT dari masing-masing lapisan tanah.

Tabel 4.5 Hasil N-SPT Tanah Proyek

No	N-SPT	T	Kedalaman	Ti/Ni
1	5	2	2	0.400
2	4	2	4	0.500
3	4	2	6	0.500
4	5	2	8	0.400
5	5	2	10	0.400
6	6	2	12	0.333
7	7	2	14	0.286
8	8	2	16	0.250
9	9	2	18	0.222
10	14	2	20	0.143
11	15	2	22	0.133
12	23	2	24	0.087
13	24	2	26	0.083
14	25	2	28	0.080
15	28	2	30	0.071
Total		30		3.889

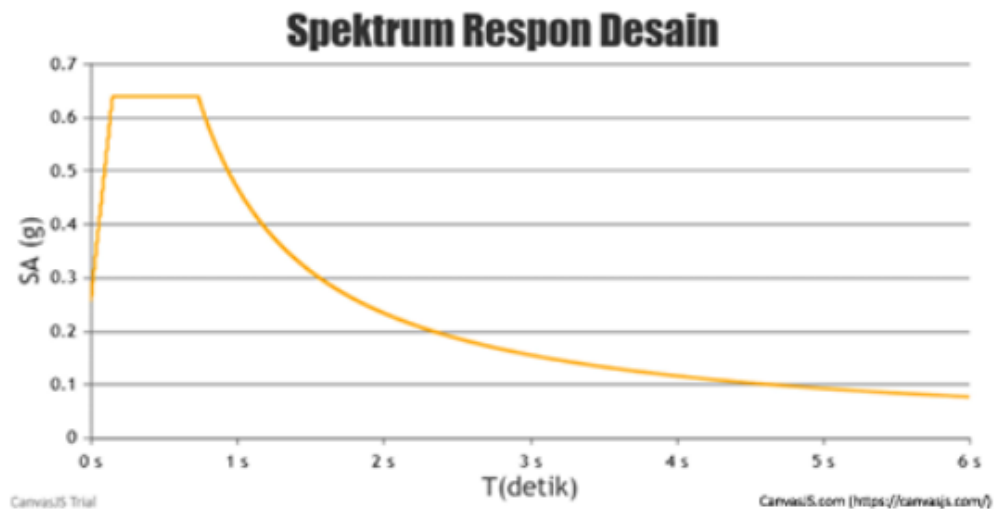
Sumber: Laboratorium Mekanika Tanah UNTAG, (2024)

Perhitungan N-SPT rata-rata menggunakan persamaan, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \dot{N} &= \frac{\sum T}{\sum T_i / N_i} \dots\dots\dots (06) \\
 &= \frac{30}{3.889} \\
 &= 7.714
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan diatas, nilai berada dalam rentang $7.714 < 15$ yang masuk kedalam kategori tanah lunak. Berdasarkan hasil penyelidikan tanah untuk pondasi direncanakan kedalaman 28 meter, dimana tanah tersebut memiliki jenis tanah pasir berwarna hitam dengan butiran sangat halus, kondisi tanah sedang (*medium dense*), tidak plastis dan terdapat pecahan kulit kerang.

Respon spektrum gempa pada lokasi Pembangunan Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang diambil dari *website* Cipta Karya 2021 yang mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2017. Hasil dari *website* desain spektra Indonesia berupa grafik dan nilai-nilai sebagai berikut:



Gambar 4.1 Grafik Spektrum Respon Desain

Sumber: *website* Cipta Karya PUPR, (2021)

Nilai yang diperoleh dari hasil grafik diatas, diantaranya sebagai berikut:

PGA MCEG	= 0.37 g
S_s MCEr	= 0.83 g
S_1 MCEr	= 0.36 g
T_L	= 6.00 s
T_0	= 0.18 s
T_s	= 0.90 s
S_{DS}	= 0.68 g
S_{D1}	= 0.61 g

Tabel 4.6 Koefisien Situs, Fa (SNI 1726:2019)

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek (S_s)					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
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	$SS^{(a)}$					

Tabel 4.7 Koefisien Situs, Fv (SNI 1726:2019)

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik (S_1)					
	$S_s \leq 0.10$	$S_s = 0.20$	$S_s = 0.30$	$S_s = 0.40$	$S_s = 0.50$	$S_s \geq 0.60$
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	$SS^{(a)}$					

Desain spektrum gempa yang diperoleh dari website Spektrum Gempa Cipta Karya juga dapat dihitung secara manual melalui metode interpolasi linier. Nilai faktor Fa dihitung menggunakan Persamaan (07), sedangkan faktor Fv dihitung berdasarkan Persamaan (08). Selanjutnya, nilai parameter spektrum percepatan SMS ditentukan dengan mengalikan Fa dan Ss sesuai Persamaan (09), dan nilai SM1 diperoleh dari hasil perkalian Fv dengan S1 sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (10).

$$F_a = 1.1 + \frac{1.0 - 0.83}{1.0 - 0.75} \times (1.3 - 1.1) = 1.2399$$

$$F_v = 2.4 + \frac{0.4 - 0.36}{0.4 - 0.3} \times (2.8 - 2.4) = 2.5528$$

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1.2399 \times 0.8251 = 1.0231 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 2.5528 \times 0.3618 = 0.9236 \text{ g}$$

Perhitungan parameter percepatan spektral desain dilakukan berdasarkan hasil sebelumnya. Nilai SDS dihitung menggunakan Persamaan (11), sedangkan nilai SD1 dihitung berdasarkan Persamaan (12). Selanjutnya, periode transisi T_0 ditentukan menggunakan Persamaan (13), dan periode transisi T_s dihitung dengan Persamaan (14). Perhitungan parameter percepatan spektral desain, sebagai berikut:

$$S_{DS} = 2/3 \times S_{MS} = 2/3 \times 0.9649 = 0.6820 \text{ g}$$

$$S_{D1} = 2/3 \times S_{M1} = 2/3 \times 0.7009 = 0.6157 \text{ g}$$

$$T_0 = 0.2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.2 \times \frac{0.6157}{0.6820} = 0.1806 \text{ s}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.6157}{0.6820} = 0.9028 \text{ s}$$

Berkenaan dengan struktur bangunan Fakultas Hukum, perlu ditentukan kategori desain tahan gempa yang ditetapkan berdasarkan SDS serta SD1. Hasil kategori desain tahan gempa, yang didasarkan pada parameter respons percepatan dengan periode 1 detik dan periode pendek, menghasilkan kategori risiko IV dan kelas desain tahan gempa D. Selain itu, karena sistem rangka penopang struktur ini termasuk dalam kelas D, maka struktur ini diklasifikasikan sebagai berisiko tinggi, dan sistem rangka penopang yang direncanakan yaitu sistem rangka penopang momen khusus (SRPMK).

Menentukan nilai koefisien vertikal (C_v) pada gedung ini berdasarkan parameter percepatan spektral pada periode pendek (S_s) sebesar 0.82g dan kelas situs D, maka diperoleh nilai koefisien vertikal C_v sebesar 1.3. Koefisien untuk batas atas periode yang hitung dengan mengambil nilai S_{DS} ialah 0.6820 g, sehingga nilai koefisien C_u sebesar 1,4. Tipe struktur yang dipilih adalah sistem rangka beton pemikul momen khusus, dengan nilai C_t sebesar 0.0466 dan nilai x sebesar 0.9. Perhitungan T_{min} menggunakan persamaan (19) sedangkan untuk T_{max} menggunakan persamaan (20). Maka persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_{min} &= C_t \times h_n^x \\ &= 0.0466 \times (23.35)^{0.9} \\ &= 0.794 \text{ detik} \end{aligned}$$

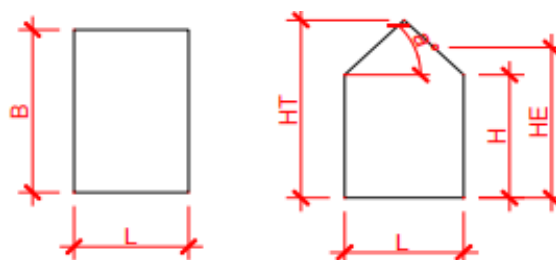
$$\begin{aligned}
 T_{\max} &= C_u \times T_{\min} \\
 &= 1.4 \times 0.794 \\
 &= 1.112 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Faktor sistem pemikul gaya sistem yang digunakan untuk perencanaan bangunan ini berdasarkan jenis struktur bangunan yang dimana menggunakan struktur rangka beton bertulang pemikul momen khusus, sehingga diperoleh koefisien R sebesar 8.0, Cd sebesar 5.5 dan Ω sebesar 3.0.

4.3.5 Beban Angin

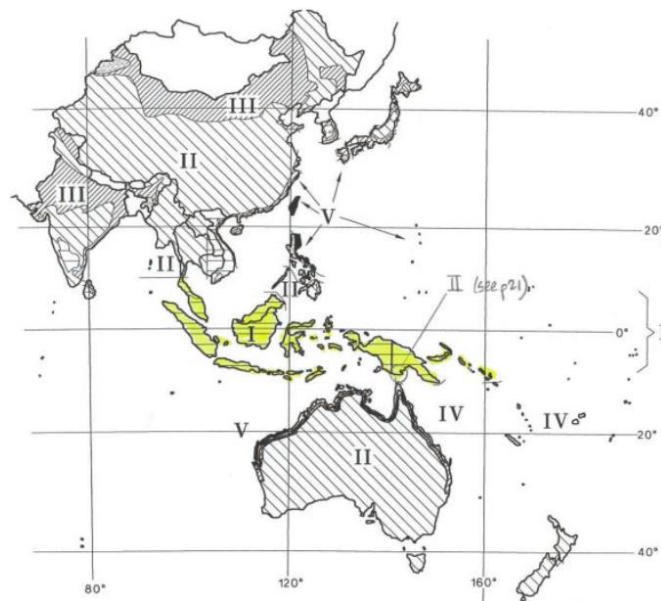
Berdasarkan SNI 1727:2020 pada pasal 27.2 menjelaskan terkait tahapan dalam menghitung beban angin SPGAU untuk bangunan gedung tertutup, tertutup sebagian dan terbuka.

- a) Lokasi bangunan : Semarang
- b) Jumlah lantai : 5 lantai
- c) Tinggi total atap, HT : 2.00 meter
- d) Tinggi rata-rata atap, H : 0.45 meter
- e) Tinggi tepi atap, HE : 1.25 meter
- f) Panjang bangunan, B : 30.0 meter
- g) Lebar bangunan, L : 23.0 meter
- h) Kemiringan atap, α : 10°
- i) Struktur bangunan : SRPMK
- j) Kategori risiko : IV



Gambar 4.2 Ilustrasi Denah dan Potongan Bangunan

Dalam menentukan nilai kecepatan angin dasar (V) mengacu pada standart Australia HB 212-2002 terkait *Desaign Wind Speeds for the Asia Pacific Region*, dimana Indonesia masuk kedalam level I seperti pada Peta.



Gambar 4.3 Peta Kecepatan Angin Asia Pasifik

Sumber: HB 212-2002

Tabel 4.8 Kecepatan Angin Rencana (HB 212-2002)

Handbook Level	Description	Equation for V_R	V_{50}	V_{500}
I	Strong Thunderstorms and monsoon winds	$70 - 56 R^{-0,1}$	32	40

Berdasarkan SNI 1727:2020 memperoleh nilai kecepatan angin dasar ditentukan dari Buku Peta Angin Indonesia, akan tetapi diarahkan kedalam standar Australia HB 212-2002, dengan nilai kecepatan angin 32 m/s untuk periode 50 tahun dan 40 m/s untuk periode 500 tahun. Kecepatan angin dasar yang direncanakan adalah:

$$V = 32 \text{ m/s} \rightarrow \mathbf{71,58 \text{ mph}}$$

Fa Koefisien arah angin (K_d) harus ditentukan sesuai dengan Tabel 26.6-1 dalam standar SNI 1727:2020. Karena jenis struktur yang digunakan untuk bangunan ini adalah sistem penahan angin utama (SPGAU), nilai K_d adalah 0,85. Sesuai dengan pasal 26.7.2 mengenai kategori kekasaran permukaan, gedung fakultas UNTAG Semarang diklasifikasikan dalam kategori kekasaran permukaan B, karena terletak di pusat kawasan perkotaan dan dikelilingi oleh kepadatan bangunan yang tinggi. Oleh karena itu, sesuai dengan pasal 26.7.3 dari standar SNI 1727:2020, kategori paparan B berlaku.

Berdasarkan SNI 1727:2020 terkait efek peningkatan kecepatan angin harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin desain dengan menggunakan persamaan (01) yaitu sebagai berikut berikut:

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2$$

Jika kondisi lokasi bangunan gedung dan struktur lain tidak memenuhi semua kondisi yang disyaratkan dalam Pasal 26.8.1, maka **K_{zt}** sebesar **1.0**. Selain itu menentukan faktor elevasi permukaan tanah (**K_e**) disesuaikan dengan tabel 26-9-1 pada SNI 1727-2020 untuk semua elevasi dapat diambil **K_e 1**. Faktor efek hembusan angin untuk bangunan gedung dan struktur lain yang kaku diambil **G** sebesar **0.85**. Kemudian menentukan nilai koefisien tekanan internal (**G_{Cpi}**) berdasarkan tabel 26.13-1 SNI 1727:2020.

Tabel 4.9 Koefisien Tekanan Internal, *G_{Cpi}* (SNI 1727-2020)

Klasifikasi Ketertutupan	Tekanan	Koefisien Tekanan
Bangunan tertutup	Sedang	± 0.18
Bangunan tertutup sebagian	Tinggi	± 0.55
Bangunan terbuka sebagian	Sedang	± 0.18
Bangunan terbuka	Diabaikan	0.00

Kemudian menentukan tekanan kecepatan yang diatur pada SNI 1727:2020 tabel 26.10-1 untuk koefisien eksposur tekanan kecepatan yang diperoleh nilai **K_h** dan **K_z** yang dipengaruhi ketinggian bangunan di atas permukaan tanah. Pembangunan Gedung Fakultas UNTAG Semarang direncanakan struktur dengan ketinggian 19.9 meter dan kategori eksposur B, sehingga ditentukan dengan menggunakan pada persamaan (03) sebagai berikut:

$$K_z = 2.01 (15/Z_g)^{2/\alpha}$$

Nilai konstanta **Z_g** dan **α** diperoleh dari tabel 26.11-1 SNI 1727:2020. Maka perhitungan untuk menentukan nilai **z** diperlukan persamaan, sebagai berikut:

$$\alpha = 7.0$$

$$Z_g = 365.76 \text{ m}$$

$$Z = 19.9 \text{ m}$$

$$K_z = 2.01 (Z/Z_g)^{2/\alpha}$$

$$= 2.01 (19.9/365.76)^{2/7.0}$$

$$= 2.01 (0.0545)^{0.286}$$

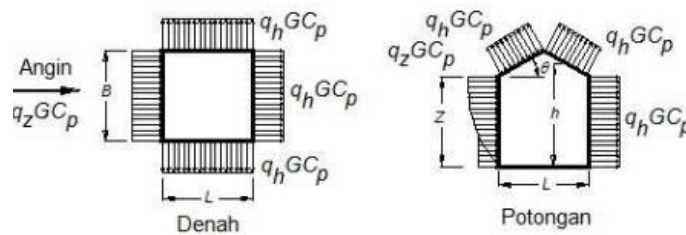
$$= \mathbf{0.875}$$

$$\mathbf{Kh = 0.85}$$

Menentukan tekanan velositas (q_z) yang di evaluasi terhadap ketinggian (z) diatas tanah harus dihitung dengan menggunakan persamaan (04) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_z = q_h &= 0.613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times K_e \times V^2 \\ &= 0.613 \times 0.875 \times 1 \times 0.85 \times 1 \times 32^2 \\ &= 466,86 \text{ N/m}^2 \rightarrow \mathbf{0.467 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 1727:2020 untuk menentukan koefisien tekanan atap (C_p), diatur pada pasal 27.3-1 terkait sistem penahan gaya angin utama untuk seluruh ketinggian bagi bangunan tertutup dan bangunan tertutup sebagian, serta atap.



Gambar 4.4 Diagram Beban Angin Atap Pelana (SNI 1727-2020)

Nilai koefisien tekanan dinding pada Gedung Fakultas Hukum UNTAG dipengaruhi oleh panjang dan lebar bangunan. Bangunan ini memiliki panjang sebesar 30 meter dan lebar 23 meter, sehingga nilai koefisien (C_p) untuk sisi angin datang sebesar 0.8, sisi angin pergi ditentukan dari nilai L/B ialah $0.767 < 1$ maka tekanan diambil sebesar -0.5, dan sisi tepi sebesar -0.7. Atap yang direncanakan memiliki sudut sebesar 10° dengan nilai h/L ialah $0.087 < 0.25$. Sehingga koefisien tekana atap (C_{pi}) untuk sisi angin datang sebesar -0.7 dan -0.18, serta untuk sisi angin pergi sebesar -0.3. Perhitungan tekanan angin untuk sistem penahan gaya angin utama menggunakan persamaan (05), yaitu sebagai berikut:

$$p = q \times G \times C_p - q_i(GC_{pi})$$

Sesuai dengan standar SNI 1727:2020, pasal 27.1.5, beban angin minimum yang diterapkan pada bangunan tertutup atau sebagian tertutup tidak boleh kurang dari

16 lb/ft² (0,77 kN/m²) dikalikan dengan luas dinding bangunan, dan 8 lb/ft² (0,38 kN/m²) dikalikan dengan luas atap bangunan yang diproyeksikan pada bidang vertikal yang tegak lurus terhadap arah angin yang diasumsikan.

Tabel 4.10 Perhitungan Nilai p Untuk Dinding.

Tipe	L	B	L/B	C _p	P ₁	P ₂	P _{syarat}	P _{pakai}
					(+0.18)	(+0.18)		
	m	m	m		kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
<i>Windward</i>				0.8	0.23	0.40		0.77
<i>Leeward</i>	23	30	0.767	-0.5	-0.28	-0.11	0.77	-0.77
<i>Sidewall</i>				-0.7	-0.36	-0.19		-0.77

Tabel 4.11 Perhitungan Nilai p Untuk Atap.

Tipe	h	L	h/L	Ø	C _p	P ₁	P ₂	P _{syarat}	P _{pakai}
						(+0.18)	(+0.18)		
	m	m	m	°		kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
<i>Windward 1</i>					-0.7	-0.36	-0.19		-0.38
<i>Windward 2</i>	2	23	0.087	10	-0.18	-0.16	0.01	0.38	0.38
<i>Leeward</i>					-0.3	-0.20	0.04		-0.38

4.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan untuk struktur ini menggunakan metode ultimit SNI 1726:2019 dengan perhitungan kombinasi sebagai berikut:

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

Berdasarkan SNI 1726:2019 pada pasal 8.3.2.3 terkait kombinasi beban dengan faktor kuat lebih, faktor dan kombinasi beban untuk beban mati nominal, beban hidup nominal, dan beban gempa sebagai berikut:

$$\text{Faktor kuat lebih: } (1.2 + 0.2 S_{DS})D + E_{MH} + L \dots\dots\dots (49)$$

$$(1.2 + 0.128)D + E_{MH} + L$$

$$(0.9 - 0.2 S_{DS})D + E_{MH} \dots\dots\dots (50)$$

$$(0.9 - 0.128)D + E_{MH}$$

Hasil kombinasi pembebanan, diantaranya sebagai berikut:

a) Grup Kombinasi 1

$$\text{Komb.1} = 1.4 \text{ DL} + 1.4 \text{ SDL}$$

b) Grup Kombinasi 2

$$\text{Komb.2} = 1.2 \text{ DL} + 1.2 \text{ SDL} + 1.6 \text{ LL} + 0.5 \text{ R}$$

c) Grup Kombinasi 3

$$\text{Komb.3} = 1.2 \text{ DL} + 1.2 \text{ SDL} + 1.6 \text{ R} + 1 \text{ LL}$$

d) Grup Kombinasi 4

$$\text{Komb.4a} = 1.2 \text{ DL} + 1.2 \text{ SDL} + 1 \text{ W}_x + 1 \text{ LL} + 0.5 \text{ R}$$

$$\text{Komb.4b} = 1.2 \text{ DL} + 1.2 \text{ SDL} + 1 \text{ W}_y + 1 \text{ LL} + 0.5 \text{ R}$$

e) Grup Kombinasi 5

$$\text{Komb.5a} = 0.9 \text{ DL} + 0.9 \text{ SDL} + 1 \text{ W}_x$$

$$\text{Komb.5b} = 0.9 \text{ DL} + 0.9 \text{ SDL} + 1 \text{ W}_y$$

f) Grup Kombinasi 6

$$\text{Komb.6a} = 1.34 \text{ DL} + 1.34 \text{ SDL} + 0.5 \text{ LL} + 1 \text{ Ed}_x + 0.3 \text{ Ed}_y$$

$$\text{Komb.6b} = 1.34 \text{ DL} + 1.34 \text{ SDL} + 0.5 \text{ LL} + 1 \text{ Ed}_x - 0.3 \text{ Ed}_y$$

$$\text{Komb.6c} = 1.34 \text{ DL} + 1.34 \text{ SDL} + 0.5 \text{ LL} - 1 \text{ Ed}_x + 0.3 \text{ Ed}_y$$

$$\text{Komb.6d} = 1.34 \text{ DL} + 1.34 \text{ SDL} + 0.5 \text{ LL} - 1 \text{ Ed}_x - 0.3 \text{ Ed}_y$$

$$\text{Komb.6e} = 1.34 \text{ DL} + 1.34 \text{ SDL} + 0.5 \text{ LL} + 1 \text{ Ed}_y + 0.3 \text{ Ed}_x$$

$$\text{Komb.6f} = 1.34 \text{ DL} + 1.34 \text{ SDL} + 0.5 \text{ LL} + 1 \text{ Ed}_y - 0.3 \text{ Ed}_x$$

$$\text{Komb.6g} = 1.34 \text{ DL} + 1.34 \text{ SDL} + 0.5 \text{ LL} - 1 \text{ Ed}_y + 0.3 \text{ Ed}_x$$

$$\text{Komb.6h} = 1.34 \text{ DL} + 1.34 \text{ SDL} + 0.5 \text{ LL} - 1 \text{ Ed}_y - 0.3 \text{ Ed}_x$$

g) Grup Kombinasi 7

$$\text{Komb.7a} = 0.76 \text{ DL} + 0.76 \text{ SDL} + 1 \text{ Ed}_x + 0.3 \text{ Ed}_y$$

$$\text{Komb.7b} = 0.76 \text{ DL} + 0.76 \text{ SDL} + 1 \text{ Ed}_x - 0.3 \text{ Ed}_y$$

$$\text{Komb.7c} = 0.76 \text{ DL} + 0.76 \text{ SDL} - 1 \text{ Ed}_x + 0.3 \text{ Ed}_y$$

$$\text{Komb.7d} = 0.76 \text{ DL} + 0.76 \text{ SDL} - 1 \text{ Ed}_x - 0.3 \text{ Ed}_y$$

$$\text{Komb.7e} = 0.76 \text{ DL} + 0.76 \text{ SDL} + 1 \text{ Edy} + 0.3 \text{ Edx}$$

$$\text{Komb.7f} = 0.76 \text{ DL} + 0.76 \text{ SDL} + 1 \text{ Edy} - 0.3 \text{ Edx}$$

$$\text{Komb.7g} = 0.76 \text{ DL} + 0.76 \text{ SDL} - 1 \text{ Edy} + 0.3 \text{ Edx}$$

$$\text{Komb.7h} = 0.76 \text{ DL} + 0.76 \text{ SDL} - 1 \text{ Edy} - 0.3 \text{ Edx}$$

Keterangan :

DL = beban mati sendiri struktur

SDL = beban mati tambahan struktur

LL = beban hidup

W_x = beban angin arah X

W_y = beban angin arah Y

R = beban air hujan

Edx = beban gempa arah X

Edy = beban gempa arah Y

4.5 Perencanaan Struktur dengan SAP2000

Setelah menentukan besaran nominal beban yang akan bekerja pada struktur bangunan Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang, dilanjut dengan menganalisa struktur dengan SAP2000. Tahap awal yang perlu dilakukan ialah pembuatan model 3D struktur bangunan yang akan di analisa dengan mengacu pada gambar rencana 2D dari AutoCAD agar dimensi penampang, jarak dan bentang elemen sesuai dengan rencana.

4.5.1 Dimensi Penampang Struktur Dari UNTAG Semarang

Berdasarkan *Detail Engineering Design* (DED) bangunan Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang direncanakan dimensi penampang elemen struktur berupa sloof, kolom, balok, dan plat disertai dengan desain penulangannya.

Tabel 4.12 Daftar Rencana Struktur Sloof

Struktur	Tipe	Tulangan Longitudinal			Sengkang
		Atas	Bawah	Pinggang	
S1 300 x 600	Tumpuan	6 D 19	3 D 19	6 D 13	2Ø10-10
	Lapangan	3 D 19	3 D 19	6 D 13	Ø10-150
S2 200 x 400	Tumpuan	6 D 13	3 D 13	4 Ø 12	2Ø10-150
	Lapangan	2 D 13	2 D 13	3 D 13	Ø10-200

Tabel 4.13 Daftar Rencana Struktur Balok

Struktur	Tipe	Tulangan Longitudinal			Sengkang
		Atas	Bawah	Pinggang	
B1 300 x 600	Tumpuan	8 D 19	4 D 19	6 D 13	Ø10 - 100
	Lapangan	4 D 19	3 D 19	2 D 13	Ø10 - 150
B2 300 x 500	Tumpuan	8 D 19	3 D 19	8 D 19	2Ø10 - 150
	Lapangan	4 D 19	3 D 19	4 D 19	Ø10 - 200
B3 250 x 450	Tumpuan	6 D 16	3 D 16	4 D 13	2Ø10 - 150
	Lapangan	2 D 16	3 D 16	4 D 13	Ø10 - 200
B4 200 x 450	Tumpuan	4 D 16	2 D 16	4 D 13	Ø10 - 150
	Lapangan	2 D 16	2 D 16	4 D 13	Ø10 - 200
B5 200 x 400	Tumpuan	6 D 13	3 D 13	4 Ø 12	Ø10 - 150
	Lapangan	2 D 13	2 D 13	4 Ø 12	Ø10 - 200
B6 150 x 450	Tumpuan	4 D 13	2 D 13	4 Ø 10	Ø10 - 150
	Lapangan	2 D 13	2 D 13	4 Ø 10	Ø10 - 200

Tabel 4.14 Daftar Rencana Struktur Kolom

Struktur	Tipe	Tulangan Pokok	Sengkang
K1 700 x 700	Tumpuan	14 D 22	3 D10-150
	Lapangan	14 D 22	3 D10-150
K2 600 x 600	Tumpuan	10 D 22	3 D10-150
	Lapangan	10 D 22	3 D10-150
K3 500 x 500	Tumpuan	8 D 22	3 D10-150
	Lapangan	8 D 22	3 D10-150
K4 200 x 400	Tumpuan	12 D 12	2 D10-150
	Lapangan	12 D 16	2 D10-150
K5 200 x 600	Tumpuan	6 D 13	2 D10-150
	Lapangan	6 D 13	2 D10-150

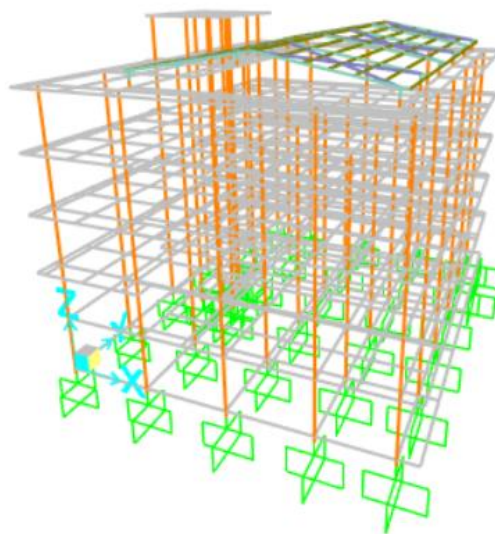
Tabel 4.15 Daftar Rencana Struktur Plat

Struktur	Tulangan
Plat Lantai t = 200 mm	2Ø10-150
Plat Lantai t = 150 mm	2Ø10-150
Plat Lantai t = 120 mm	2Ø10-150
Plat Lantai t = 100 mm	2Ø10-150

4.5.2 Hasil Analisa Struktur

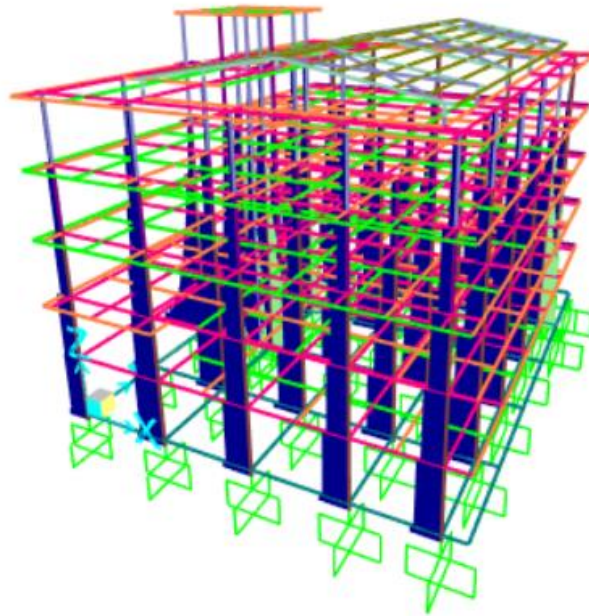
Berdasarkan hasil analisis *Detail Engineering Design* (DED) Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang menggunakan *software* SAP2000, diperoleh hasil bahwa struktur bangunan belum memenuhi persyaratan keamanan struktur. Hal tersebut ditunjukkan dari hasil analisis elemen *frame* yang sebagian besar mengalami *overstress* sehingga struktur dinilai belum mampu menahan beban gempa maupun beban kerja lainnya secara aman. Oleh karena itu, dilakukan perencanaan ulang terhadap dimensi elemen struktur untuk meningkatkan kapasitas dan kekuatan bangunan. Selain perubahan dimensi struktur, dilakukan pula penambahan elemen *shear wall* untuk menahan gaya lateral akibat gempa. Untuk struktur bawah juga dilakukan penambahan *raft* pada bagian lift dan juga tangga darurat. Setelah dilakukan perencanaan ulang, menunjukkan bahwa struktur bangunan telah aman memenuhi persyaratan sesuai ketentuan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang berlaku.

Dilakukan pengecekan mengenai semua struktur untuk menghindari adanya *frame* yang mengalami *overstressed*. Setelah dilakukan *run analysis* serta perubahan beberapa dimensi struktur menunjukkan bahwa tidak ada *frame* yang mengalami *overstressed* sehingga semua struktur aman. Berikut merupakan hasil analisa struktur dari SAP2000 dapat dilihat pada gambar 4.5, 4.6, 4.7, dan 4.8 sebagai berikut.

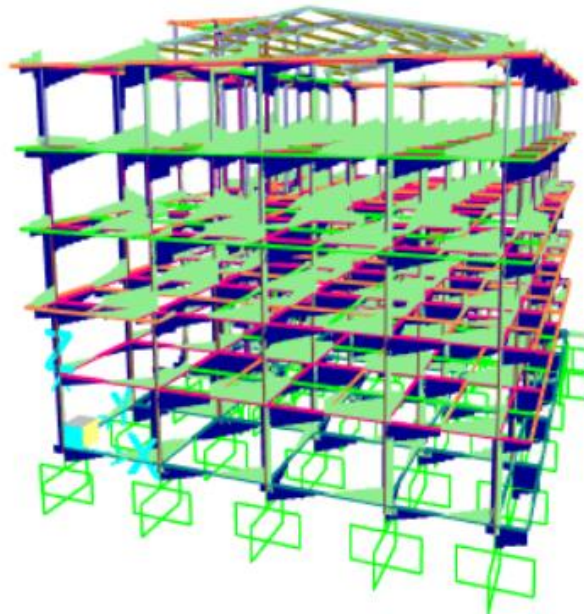


Gambar 4.5 Hasil Analisis SAP2000

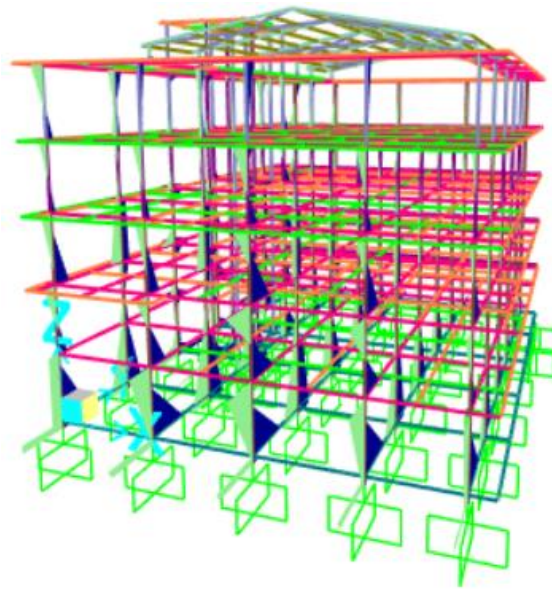
Setelah dilakukan pengecekan terhadap *frame* maka terdapat gaya – gaya yang didapatkan dari analisis struktur pada SAP2000 yang meliputi gaya aksial, gaya geser, dan momen dapat dilihat pada gambar 4.6, 4.7, dan 4.8 sebagai berikut:



Gambar 4.6 Gaya Aksial



Gambar 4.7 Gaya Geser



Gambar 4.8 Momen

Berdasarkan SNI 1726:2019, pemeriksaan jumlah ragam harus memenuhi ketentuan bahwa partisipasi massa kumulatif yang ditinjau pada masing-masing arah horizontal ortogonal minimal mencapai 90% dari massa aktual struktur. Setelah dilakukan analisis menggunakan SAP2000 adapun hasil dari *modal participatting mass ratio* dari hasil SAP2000 yaitu pada tabel 4.12 berikut ini.

Tabel 4.16 Pemeriksaan Jumlah Ragam Gempa

No	Periode (dtk)	Sum Ux	Sum Uy
1	0,486418	0,52464	0,04681
2	0,38807	0,56984	0,66117
3	0,315432	0,64015	0,6613
4	0,273782	0,64031	0,6687
5	0,224671	0,64071	0,66872
6	0,214907	0,64071	0,66875
7	0,179815	0,64163	0,66875
8	0,165337	0,64187	0,66964
9	0,141689	0,71108	0,6774
10	0,131478	0,76468	0,69247
11	0,116904	0,78825	0,81726
12	0,087688	0,79001	0,84227

13	0,08066	0,84174	0,84263
14	0,035987	0,84415	0,92231
15	0,033891	0,92829	0,92454

Berdasarkan hasil tabel tersebut diperoleh jumlah partisipasi massa pada 15 mode arah X yaitu $92\% \geq 90\%$ dan arah Y yaitu $92\% \geq 90\%$. Sehingga partisipasi massa X dan Y memenuhi. Selain itu adapun perbandingan geser statik dan perbandingan geser dinamik yang diperoleh yaitu pada tabel 4.13 dan 4.14 berikut ini.

Tabel 4.17 Base Reaction 1

No	Output Case	Global Fx (kN)	Global Fy (kN)
1	Eqsx	-6710,27	-0,0000000285
2	Eqsy	0,00000000321	-6710,27
3	Eqdx	4668,151	1794,038
4	Eqdy	1811,188	5330,162

Tabel 4.18 Hasil Penjumlahan Geser Untuk Masing – Masing Gempa

No	Geser Dasar	Dinamik (kN)	Statik (kN)	Kontrol (VD>100%VS)	VD/VS
1	X	4668,151	6710,27	TIDAK OKE	0,696
2	Y	5330,162	6710,27	TIDAK OKE	0,794

Berdasarkan hasil tersebut diperoleh bahwa *X-direction* dan *Y-direction* kurang dari 100% sehingga perlu dilakukan *scale factor* ulang sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.4.1. Setelah dilakukan *scale factor* sebesar arah X yaitu 1,437 dan arah Y 1,258 diperoleh hasil pada tabel 4.15 dan 4.16 berikut ini.

Tabel 4.19 Base Reaction 2

No	Output Case	Global Fx (kN)	Global Fy (kN)
1	Eqsx	-6710,27	-0,0000000261
2	Eqsy	0,000000001922	-6710,27
3	Eqdx	6725,436	2584,682
4	Eqdy	2284,447	6722,923

Tabel 4.20 Hasil Penjumlahan Geser Untuk Masing – Masing Gempa

No	Geser Dasar	Dinamik (kN)	Statik (kN)	Kontrol (VD>100%VS)	VD/VS
1	X	6725,436	6710,27	OKE	1
2	Y	6722,923	6710,27	OKE	1

Berdasarkan hasil tersebut diperoleh bawah *X-direction* dan *Y-direction* mencapai 100% sehingga $VD > VS$ memenuhi persyaratan.

Adapun simpangan antar lantai tidak boleh melebihi dari simpangan izin sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6. Berdasarkan SNI tersebut untuk simpangan antar tingkat izin dengan kategori resiko IV memakai $0,015h_{sx}$.

$$\Delta a \text{ (ijin)} = \frac{0,015 h_{sx}}{\rho} \dots\dots\dots(51)$$

Keterangan :

- H_{sx} : Tinggi tiap lantai
 δx : Defleksi yang terjadi
 Cd : 5,5 (Faktor pembesar defleksi)
 I : 1,5 (Faktor keutamaan gedung)
 Δx : Simpangan antar lantai
 $\Delta a \text{ (ijin)}$: Simpangan ijin

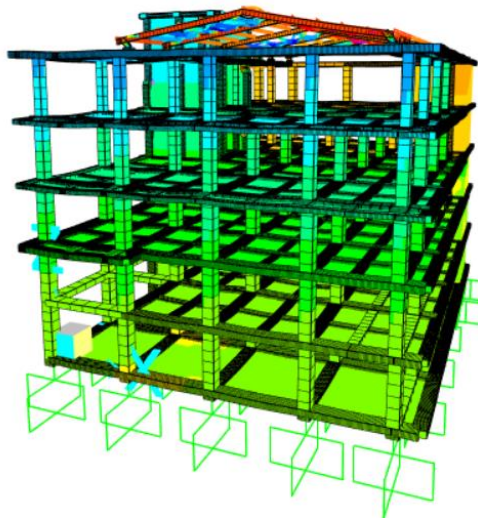
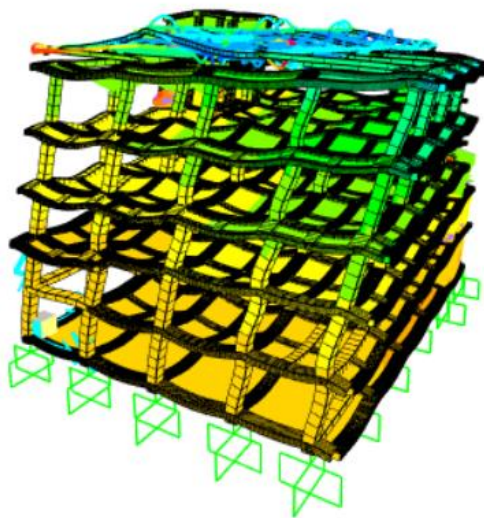
Berikut untuk hasil perhitungan analisa mengenai simpangan antar lantai arah-X dan arah-Y dapat dilihat pada tabel 4.17 dan 4.18. Adapun gambar simpangan antar lantai arah U_x dan U_y dapat dilihat pada gambar 4.9 dan 4.10.

Tabel 4.21 Simpangan Antar Lantai Arah X

Lantai	Hsx (mm)	Δx (mm)	$\delta x \text{ Cd} / I$ (mm)	Δx (mm)	$\Delta a \text{ (ijin)}$ (mm)	Keterangan
Dak atap	4000	10,92	40,02	8,6	46,15	Aman
5	4000	8,57	31,41	9,71	46,15	Aman
4	4000	5,92	21,7	8,22	46,15	Aman
3	4000	3,67	13,47	7,84	46,15	Aman
2	4000	1,54	5,63	5,52	46,15	Aman
1	4000	0,03	0,11	0,11	46,15	Aman

Tabel 4.22 Simpangan Antar Lantai Arah Y

Lantai	Hsx (mm)	Δx (mm)	δx Cd / I (mm)	Δx (mm)	Δa (ijin) (mm)	Keterangan
Dak atap	4000	10,78	39,51	-8,18	46,15	Aman
5	4000	8,67	47,69	-12,72	46,15	Aman
4	4000	6,36	34,97	25,21	46,15	Aman
3	4000	1,77	9,76	-0,42	46,15	Aman
2	4000	1,85	10,17	9,96	46,15	Aman
1	4000	0,04	0,21	0,21	46,15	Aman

**Gambar 4.9** Simpangan Arah Ux**Gambar 4.10** Simpangan Arah Uy

Setelah itu memasukkan gaya dalam dari hasil analisa SAP2000 maka diperoleh hasil untuk penulangan atap baja ringan, sloof, balok, kolom, plat, *shear wall*, tangga, dan struktur bawah.

Berikut merupakan perhitungan dari struktur atap baja ringan.

Bentang kuda – kuda	= 16 m
Jarak antar kuda – kuda	= 6 m
Jarak antar gording	= 1,5 m
Sudut kemiringan	= 10°
Alat sambung	= Baut ASTM A325
Mutu baja	= BJ 41
Kolom kuda – kuda	= IWF 300.150.6,5.9
Kaki kuda – kuda	= IWF 300.150.6,5.9
Gording	= CNP 150.150.50.20.3,2

1. Kolom kuda – kuda ke *base plate*

Data *base plate*

Lebar <i>base plate</i>	B	= 350 mm
Panjang <i>base plate</i>	N	= 450 mm
Panjang kolom IWF	d	= 300 mm
Lebar kolom IWF	bf	= 150 mm
Tebal <i>base plate</i>	t	= 10 mm
Diameter angkur	D	= 19 mm
Luas angkur	Ab	= 283,5 mm ²
Tegangan tarik putus baut	fub	= 825 MPa
Angkur sisi tekan	nt	= 4 bh
Angkur sisi tarik	nc	= 4 bh
Kolom IWF 300.150,6,5.0	tw	= 6,5 mm
	Tf	= 9 mm
Lebar penampang kolom	I	= 150 mm
Panjang penampang kolom	J	= 300 mm
Kolom pedestal		= 500 x 500 mm
Mutu beton	fc'	= 35 MPa

Berat jenis beton	W_c	$= 24 \text{ kN/m}^3$
Mutu baja		$= \text{BJ 41}$
	f_y	$= 250 \text{ MPa}$
	f_u	$= 410 \text{ MPa}$

Hasil dari SAP2000

Gaya aksial kolom	P_u	$= 65,863 \text{ kN}$	$= 65863 \text{ N}$
Momen	M_u	$= 39,4059 \text{ kNm}$	$= 39405900 \text{ Nmm}$
Gaya geser	V_u	$= 10,361 \text{ kN}$	$= 10361 \text{ Nmm}$

Aturan standar jarak tepi baut

Berdasarkan SNI 1729:2020 Tabel J3.4 atau J3.4M jarak minimum dari pusat lubang pengikat (baut/angkur) ke tepi pelat ditentukan oleh diameter baut yang digunakan $D = 19 \text{ mm}$ (baut ukuran $\frac{3}{4}$ inchi).

Batas jarak tepi minimum $e_b = 25 \text{ mm}$

Kontrol eksentrisitas dan klasifikasi beban

$$\text{Eksentrisitas, } e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{39405900}{65863} = 598,301019 \text{ mm}$$

Tegangan tumpu beton desain maksimum diizinkan

$$\phi f_c, \text{ max} = \phi \times 0,85 \times f_c'$$

$$= 0,65 \times 0,85 \times 35 = 19,3375 \text{ MPa}$$

Kapasitas tekan beton per mm lebar pelat (q_{max})

$$q_{\text{max}} = \phi f_c, \text{ max} \times B$$

$$= 19,3375 \times 350 = 6768,125 \text{ N/mm}$$

Batas eksentrisitas kritis

$$e_{\text{crit}} = \frac{N}{2} - \frac{P_u}{2 \times q_{\text{max}}}$$

$$= \frac{450}{2} - \frac{65863}{13536,25} = 220,134 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat, eksentrisitas } (e) > e_{\text{crit}}$$

$$598,301019 \text{ mm} > 220,134 \text{ mm} \text{ (MEMENUHI)}$$

Distribusi area tekan (Y) dan gaya tarik angkur (Tu)

Jarak baut angkur ke pusat as kolom (f).

$$f = \frac{N}{2} - eb = 225 - 25 = 200 \text{ mm}$$

Jarak baris angkur tarik ke ujung plat tekan terluar (g).

$$g = \frac{N}{2} + f = 225 + 200 = 425 \text{ mm}$$

Menggunakan persamaan abc untuk mencari nilai Y

$$Y^2 - 2gY + \frac{2Pu(e+f)}{q_{max}} = 0$$

$$Y^2 - 850Y + 15537,095 = 0$$

$$Y_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Menghitung nilai diskriminan (nilai dalam akar)

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{b^2 - 4ac} \\ &= \sqrt{722500 - 62148,3795} \\ &= 812,620 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_1 &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{850 + 812,62}{2} \\ &= 831,31 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_2 &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{850 - 812,62}{2} \\ &= 18,69 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga Y = 18,69 mm

Gaya tarik terfaktor pada grup angkur (Tu)

$$\begin{aligned} T_u &= (q_{max} \times Y) - P_u \\ &= 126495,514 - 65863 = 60632,514 \text{ N} = 60,632 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya tarik per satu baut angkur (T1 baut)

$$T1 \text{ baut} = \frac{T_u}{nt} = \frac{60632,514}{4} = 15158,128 \text{ N} = 15,158 \text{ kN}$$

Jarak tepi minimum lubang

Syarat jarak tepi minimum dari pusat lubang baut ke tepi plat D 19 mm

$$\begin{aligned}\text{Total sisa ruang diluar kolom} &= \text{panjang plat (N)} - \text{panjang IWF (d)} \\ &= 450 - 300 = 150 \text{ mm}\end{aligned}$$

Sisa ruang kanan kiri karena kolom berada tepat di tengah plat maka sisanya yaitu 75 mm.

$$\begin{aligned}\text{Jarak tepi (eb) aktual} &= 225 - f \\ &= 25 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kontrol geometri, eb aktual} &\geq \text{eb min} \\ 25 &\geq 25 \text{ mm (MEMENUHI)}\end{aligned}$$

Kekuatan tarik desain baut angkur

$$\text{Kuat tarik desain per unit baut } \phi T_n = \phi \times F_{nt} \times A_b$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan tarik nominal } F_{nt} &= 0,75 \times F_{ub} \\ &= 618,75\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Maka } \phi T_n &= \phi \times F_{nt} \times A_b \\ &= 131575,0545 \text{ N} = 131,575 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kontrol kekuatan tarik } T_1 \text{ baut} &\leq \phi T_n \\ 15,158 &\leq 131,575 \text{ kN (MEMENUHI)}\end{aligned}$$

Kekuatan geser desain baut angkur

$$V_1 \text{ baut} = \frac{V_u}{n_{total}} = \frac{10361}{8} = 1295,125 \text{ N}$$

Kuat geser desain per unit baut ϕV_n , kondisi ulir berada di bidang geser

$$\phi V_n = \phi \times F_{nv} \times A_b$$

tegangan geser nominal,

$$\begin{aligned}F_{nv} &= 0,45 \times F_{ub} \\ &= 371,25 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\phi V_n = \phi \times F_{nv} \times A_b$$

$$= 78945 \text{ N}$$

$$= 78,945 \text{ kN}$$

Tahanan geser nominal

$$R_n = F_{nv} \times A_b = 105260,04 \text{ N} = 105,2600 \text{ kN}$$

Tahanan geser desain / izin angkur baut

$$\phi R_n = 0,75 \times R_n = 79 \text{ kN}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{Kontrol kekuatan geser, } V_1 \text{ baut} & \leq & \phi R_n \\ 1,295 & \leq & 79 \text{ kN (MEMENUHI)} \end{array}$$

Tegangan tumpu nominal beton (f_p , nominal)

$$f_{p, \text{ nominal}} = 0,85 \times f_c' \times \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1,7f_c'$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{250000}{157500} = 1,587$$

$$\begin{array}{rcl} f_{p, \text{ nominal}} & = & 0,85 \times 35 \times \sqrt{1,587} \leq 1,7f_c' \\ & = & 37,48 \text{ MPa} \leq 1,7 \times 35 \\ & = & 37,48 \leq 59,5 \text{ MPa (MEMENUHI)} \end{array}$$

Ketebalan minimum *base plate* terhadap lentur kantilever

Jarak bentang kantilever kritis penampang plat diukur dari muka sayap kolom IWF (m).

$$m = \frac{N - 0,95 d}{2} = \frac{450 - 285}{2} = 82,5 \text{ mm}$$

Tebal minimum plat landasan baja yang diperlukan secara teoritis akibat distribusi tegangan tumpu.

$$t_{\min} = m \sqrt{\frac{2P_u}{\phi \times f_y \times B \times N}} = 82,5 \sqrt{\frac{131726}{35437500}} = 5,03 \text{ mm}$$

Kontrol kelenturan plat, t rencana 10 mm

$$\begin{array}{rcl} t_{\text{ aktual}} & \geq & t_{\min} \\ 10 & \geq & 5,03 \text{ (MEMENUHI)} \end{array}$$

Tahanan tumpu nominal satu baut angkur

$$\text{Diameter baut} \quad D = 19 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter lubang standar} \quad D_{lh} = 21 \text{ mm}$$

Jarak dari as baut ke tepi plat $e_b = 25$

Jarak bersih dari tepi lubang ke tepi plat $l_c = e_b - \frac{D l_h}{2} = 14,5 \text{ mm}$

Tebal plat landasan $t = 10 \text{ mm}$

Tegangan putus $f_u = 410 \text{ MPa}$

Tahanan tumpu nominal

$$R_n = 1,2 \times l_c \times t \times f_u \leq 2,4 D \times t \times f_u$$

$$= 71340 \leq 186960 \text{ N (MEMENUHI)}$$

Syarat tahanan tumpu

Tahanan tumpu desain $\phi R_n = 0,75 \times R_n$

$$= 53,505 \text{ kN}$$

Syarat aman, gaya tumpu aktual $\leq$ Tahanan tumpu desain

$$1,295 \leq 53,505 \text{ (MEMENUHI)}$$

Perhitungan panjang angkur

$T_u = 60632,514 \text{ N}$

Kedalaman penanaman efektif ke beton,

$$h_{ef} = 15D$$

$$= 285 \text{ mm}$$

Akumulasi panjang fisik batang lurus angkur, L total.

$$L_{\text{total}} = 333 \text{ mm}$$

Panjang tekuk pengait bawah, Kait $= 5D = 95 \text{ mm}$ dibulatkan 100 mm.

2. Kaki Kuda – Kuda ke Kolom

Data Base Plate

IWF $= 300.150.6,5.9$

Lebar sayap profil $B = 150 \text{ mm}$

Tinggi total profil $H = 300 \text{ mm}$

Diameter angkur $D = 19 \text{ mm}$

Tebal sayap/ flens (tf atau h') $= 9 \text{ mm}$

Tinggi bersih badan $h = H - (2h')$

$$= 282 \text{ mm}$$

Tebal plat badan tegak $d' = 6,5 \text{ mm}$

Jarak antar baut minimum $s = 3D = 3 \times 19 = 57 \text{ mm}$

	s pakai	= 60 mm
Jarak baut ke tepi bawah	s2	= 70 mm
Tebal plat sambung	t	= 10 mm
Tebal las	tw	= 6 mm
Tebal efektif laas	a	= $tw \times \sin 45^\circ$ = 4,24 mm
Mutu las	fy'	= 240 MPa
	fu	= 370 MPa
Jumlah baut	n	= 14 buah
Mutu baut	fy	= 585 MPa
	fu	= 825 MPa
Reduksi kekuatan las	ϕ	= 0,75

Beban Sambungan

Gaya aksial balok	Nu	= 16,392 kN
Momen ultimit	Mu	= 7,8027 kNm
Gaya geser ultimit	Vu	= 6,755 kN

Perhitungan sambungan las

Kapasitas tegangan las nominal, Fnw	= 0,6 x Fuw = 222 MPa
Maka tegangan desain izin las ϕFnw	= 0,75 x Fnw = 0,75 x 222 = 166,5 N/mm ²

Tegangan geser las akibat gaya geser (Vu) dan aksial (Nu)

Lw1 (Panjang las sayap)

Lebar sayap	B	= 150 mm
Tebal badan	d'	= 6,5 mm
Sisi luar atas		= 150 mm
Sisi dalam kiri		= 71,75 mm
Sisi dalam kanan		= 75,75 mm
Sisi ujung samping		= 9 mm
Lw 1		= 2 x (150+71,75+71,75) = 587 mm

Tahanan geser las 1 (sayap)

$$\begin{aligned}
 \phi R_{n1} &= \phi F_{nw} \times a \times L_{w1} \\
 &= 414657 \text{ N} \\
 &= 414,66 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Total panjang keseluruhan jalur las yang mengikat badan (plat tengah yang tegak)

$$\begin{aligned}
 H &= 300 \text{ mm} \\
 t_f &= 9 \text{ mm} \\
 r &= 13 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih plat badan (d)} &= H - (2 \times t_f) - (2 \times r) \\
 &= 256 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Plat badan berbentuk tegak lurus dan harus dilas di kedua sisinya (kanan dan kiri) agar tidak lepas saat menerima gaya geser vertikal.

$$\begin{aligned}
 \text{Jalur las sisi kanan badan} &= 256 \text{ mm} \\
 \text{Jalur las sisi kiri badan} &= 256 \text{ mm} \\
 L_{w2} &= 512 \text{ mm} \\
 \text{Total panjang las nyata, } L_w &= L_{w1} + L_{w2} \\
 &= 1099 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tahanan geser las 2 (badan)

$$\begin{aligned}
 \phi R_{n2} &= \phi F_{nw} \times a \times L_{w2} \\
 &= 361667 \text{ N} \\
 &= 361,676 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat } L_{w1} \quad 587 &\geq 17,73 \text{ (MEMENUHI)} \\
 \text{Syarat } L_{w2} \quad 361,676 &\geq 17,73 \text{ (MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

Momen tahanan las

Menghitung modulus penampang las (Z_w)

$$\begin{aligned}
 Z_w &= \frac{L_{w1}}{2} \times H \\
 &= 88050 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Menghitung momen tahanan nominal (M_{nw})

$$\begin{aligned}
 M_{nw} &= F_{nw} \times a \times Z_w \\
 &= 82931322 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Menghitung momen tahanan las desain (ϕM_{nw})

$$\begin{aligned}\phi M_{nw} &= 0,75 \times M_{nw} \\ &= 62198491,33 \text{ Nmm} \\ &= 62,198 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{array}{rclcl}\text{Syarat} & \phi M_{nw} & \geq & M_u & \\ & 62,198 & \geq & 7,8027 & \text{(MEMENUHI)}\end{array}$$

Perhitungan sambungan baut

$$\begin{aligned}\text{Luas penampang baut } A_b &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= 283,528 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Gaya lintang (geser) dan gaya normal aksial per baut

$$\begin{aligned}\text{Gaya lintang (geser) per baut } V_{u1} &= \frac{V_u}{n} \\ &= 0,4825 \text{ kN} \\ &= 482,5 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Gaya normal (aksial) per baut } N_{u1} &= \frac{N_u}{n} \\ &= 1,1708 \text{ kN} \\ &= 1170,857 \text{ N}\end{aligned}$$

Gaya tarik akibat momen pada baut terluar (T_{mu})

Berdasarkan SNI 1729:2020 Pasal J3.4 dan Pasal J3.5 untuk diameter 19 jarak tepi minimum yang diizinkan adalah 26 mm jika ujung plat dipotong menggunakan mesin pelubang / geser dan 22 mm apabila dipotong dengan gas/plasma tarikan plus. Sehingga batas minimumnya 22-26 mm, maka memakai 30 mm.

$$\begin{aligned}\text{Maka } d_{\max} &= H - \text{jarak pemasangan baut} \\ &= 270 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_{mu} &= \frac{M_u}{2d_{\max}} \\ &= 14,449 \text{ Kn} = 14449,44 \text{ N}\end{aligned}$$

Total gaya tarik yang dipikul baut kritis (T_u)

$$\begin{aligned}T_u &= T_{mu} + N_{u1} \\ &= 15,620 \text{ kN}\end{aligned}$$

Tegangan tarik nominal (Fnt)

$$\begin{aligned} F_{nt} &= 0,75F_u \\ &= 618,75 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tegangan geser nominal

$$\begin{aligned} F_{nv} &= 0,45F_u \\ &= 371,25 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Kuat geser desain baut (ϕR_{nv})

$$\begin{aligned} \phi R_{nv} &= \phi \times F_{nv} \times A_b \\ &= 78945,0327 \text{ N} \\ &= 78,945 \text{ kN} \end{aligned}$$

Syarat	ϕR_{nv}	$\geq$	V_u
	78,945	$\geq$	0,4825 kN (MEMENUHI)

Kuat tarik desain baut (ϕR_{nt})

$$\begin{aligned} \phi R_{nt} &= \phi \times F_{nt} \times A_b \\ &= 131575,0545 \text{ N} \\ &= 131,575 \text{ kN} \end{aligned}$$

Syarat	ϕR_{nt}	$\geq$	T_u
	131,575	$\geq$	15,620 (MEMENUHI)

Tebal plat sambung minimum (tp)

Menggunakan konsep analisis garis leleh pelat (*yield line*) akibat tarikan momen baut terluar.

$$\begin{aligned} \phi &= 0,9 \\ t_p &= \sqrt{\frac{4 \times T_u \times m}{\phi \times f_y \times B}} = 9,705 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat	tebal plat sambung	$\geq$	tebal plat sambung minimum
	10	$\geq$	9,705 (MEMENUHI)

3. Kuda – Kuda ke Kuda – Kuda**Data Base Plate**

IWF		= 300.150.6,5.9
Lebar sayap profil	B	= 150 mm
Tinggi total profil	H	= 300 mm

Diameter angkur	D	= 16 mm
Tebal sayap/ <i>flens</i>	(tf atau h')	= 9 mm
Tinggi bersih badan	h	= $H - (2h')$ = 282 mm
Tebal plat badan tegak	d'	= 6,5 mm
Sisi lebar sayap		= $B - d' = 143,5$ mm
Lebar sayap bersih	d	= 71,75 mm
Jarak antar baut	s	= 48 mm
	s pakai	= 50 mm

Berdasarkan SNI 1729:2020 Tabel J3.4 untuk diameter 16 mm maka batas minimumnya adalah 22 mm.

Jarak baut ke tepi	s1	= 50 mm
Jarak baut ke tepi bawah	s2	= 60 mm
Tebal plat sambung	tp	= 19 mm
Tebal las	tw	= 6 mm

Panjang las 1 (Lw1)

Sisi luar sayap (atas+bawah)	= 2B = 300 mm
Sisi dalam sayap (atas+bawah)	= $2(B - d') = 287$ mm
Lw1	= 587 mm

Panjang las 2 (Lw2)

Tinggi bersih badan asli	= $H - (2tf) = 282$ mm
Tinggi bersih badan vertikal	

$$h \text{ vertikal} = \frac{\text{tinggi bersih badan asli}}{\cos(10^\circ)}$$

$$= 286,35 \text{ mm}$$

Karena plat badan dilas di kesua sisinya kanan kiri maka Lw2 yaitu

$$Lw2 = 2 \times h \text{ vertikal}$$

$$= 573 \text{ mm}$$

$$\text{Total panjang las (Lw)} = Lw1 + Lw2$$

$$= 1160 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu las} \quad f_y = 240 \text{ MPa}$$

	f_u	= 370 MPa
Diameter baut	D	= 16 mm
Jumlah baut	n	= 8 bh
Mutu baut	f_y	= 585 MPa
	f_u	= 825 MPa
Reduksi kekuatan las	ϕ	= 0,75
Tebal efektif las	a	= 4,24 mm

Beban Sambungan

Gaya aksial	N_u	= 15,168 kN
Momen ultimit	M_u	= 21,805 kNm = 21805000 Nmm
Gaya geser ultimit	V_u	= 18,165 kN

Tahanan geser nominal las bahan (F_{nw})

$$F_{nw} = 0,65f_u$$

$$= 222 \text{ N/mm}^2$$

Tahanan geser las 1 (ϕR_{n1})

$$\text{Luas efektif las 1 (Awe1)} = L_{w1} \times a$$

$$= 2490,430 \text{ mm}^2$$

Kapasitas geser desain las 1

$$\phi R_{n1} = \phi \times F_{nw} \times A_{we1}$$

$$= 414656,6089 \text{ N}$$

$$= 414,657 \text{ kN}$$

Syarat	ϕR_{n1}	$\geq$	V_u
	414,657	$\geq$	18,165 (MEMENUHI)

Tahanan geser las 2 (ϕR_{n2})

$$\text{Luas efektif las 2 (Awe2)} = L_{w2} \times a$$

$$= 2429,8 \text{ mm}^2$$

$$\phi R_{n2} = \phi \times F_{nw} \times A_{we2}$$

$$= 404556 \text{ N}$$

$$= 404,555 \text{ kN}$$

Syarat	ϕR_{n2}	$\geq$	V_u
	404,55	$\geq$	18,165 (MEMENUHI)

Total tahanan geser las

$$\phi R_n \text{ total} = 819,212 \text{ kN}$$

Momen tahanan las & kontrol gaya tarik

$$\begin{aligned} \text{Kontribusi las sayap (Zw1)} &= A_{w1} \times H \\ &= 747129 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kontribusi las badan (Zw2)} &= ((a \times (h \text{ vertikal})^2)/(3)) \times 2 \text{ sisi} \\ &= 231921,116 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Total modulus penampang las} = 979050 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= (\phi F_{nw}) \times \text{Total modulus penampang} \\ &= 163011848,5 \text{ Nmm} \\ &= 163,011 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{rclcl} \text{Syarat} & \phi M_n & \geq & M_u & \\ & 163,011 & \geq & 21,805 & \text{(MEMENUHI)} \end{array}$$

Gaya lintang & geser normal yang dipikul per baut

Gaya lintang (geser) per baut (V_{u1})

$$\begin{aligned} V_{u1} &= \frac{V_u}{n} \\ &= 2,2706 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya normal (aksial) per baut (N_{u1})

$$\begin{aligned} N_{u1} &= \frac{N_u}{n} \\ &= 1,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya tarik akibat momen (T_{mu}) dan total tarik per baut

Gaya tarik total akibat momen (T_{mu})

$$\begin{aligned} T_{mu} &= \frac{M_u}{H} \\ &= 72683,33 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya tarik yang dipikul per baut (T_{u1})

$$\begin{aligned} T_{u1} &= \left(\frac{T_{mu}}{\text{jumlah baut tarik}} \right) + N_{u1} \\ &= 38237,7 \text{ N} \\ &= 38,237 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kuat geser desain baut (ϕR_{nv})

$$\begin{aligned}\text{Tegangan geser nominal (F}_{nv}\text{)} &= 0,45 \times F_{ub} \\ &= 371,25 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Kapasitas geser 1 baut

$$\begin{aligned}\phi R_{nv} &= \phi \times F_{nv} \times A_b \\ &= 55983,18109 \text{ N} \\ &= 55,983 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{array}{llll}\text{Syarat dan kontrol geser baut} & \phi R_{nv} & \geq & V_{u1} \\ & 55,983 & \geq & 2,27 \text{ (MEMENUHI)}\end{array}$$

Kuat tarik desain baut (ϕR_{nt})

Tegangan tarik nominal

$$\begin{aligned}F_{nt} &= 0,75 \times F_{ub} \\ &= 618,75 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Kapasitas tarik 1 baut

$$\begin{aligned}\phi R_{nt} &= \phi \times F_{nt} \times A_b \\ &= 93305,30181 \text{ N} \\ &= 93,305 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{array}{llll}\text{Syarat dan kontrol tarik baut} & \phi R_{nt} & \geq & T_{u1} \\ & 93,305 & \geq & 38,24 \text{ (MEMENUHI)}\end{array}$$

Tebal plat sambungan baut (tp)

$$\begin{aligned}\text{Jarak baut dari dinding badan IWF} &= \frac{d}{2} \\ &= 35,88 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mencari nilai lengan tekuk kritis (m)} &= \frac{d}{2} \\ &= 35,88 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tebal plat (tp min)} &= \sqrt{\frac{4 \times T_{mu} \times m}{\phi \times f_y \times b_p}} \\ &= 17,579 \text{ mm}\end{aligned}$$

Sehingga untuk tebal plat sambung memakai ialah 19 mm

$$\begin{array}{llll}\text{Syarat} & \text{tp pakai} & \geq & \text{tp min} \\ & 19 & \geq & 17,579 \text{ (MEMENUHI)}\end{array}$$

Tabel 4.23 Hasil Analisa Atap Baja ringan

Atap Baja Ringan		
Kolom Kuda - Kuda		IWF 300.150.6,5.9
Kolom Pedestal		K3 50 x 50 cm
Kaki Kuda - Kuda		IWF 300.150.6,5.9
Gording		CNP 150.150.50.20.3,2
Kolom Kuda – Kuda ke <i>Base Plate</i>		
Lebar <i>Base Plate</i>	B	350 mm
Panjang <i>Base Plate</i>	N	450 mm
Panjang Kolom IWF	d	300 mm
Lebar Kolom IWF	bf	150 mm
Tebal <i>Base Plate</i>	t	10 mm
Diamater Angkur	D	19 mm
Luas Angkur	Ab	283,5 mm
Tegangan Tarik Putus Baut	Fub	825 Mp
Angkur Sisi Tekan	nt	4 bh
Kolom Kuda – Kuda ke <i>Base Plate</i>		
Angkur Sisi Tarik	nc	4 bh
Kaki Kuda – Kuda ke Kolom		
Lebar Sayap Profil	B	150 mm
Tinggi Total Profil	H	300 mm
Diameter Angkur	D	19
Tebal Plat Sambung	t	10 mm
Tebal Las	tw	6 mm
Jumlah Baut	n	14 bh
Kuda – Kuda ke Kuda - Kuda		
Lebar Sayap Profil	B	150 mm
Tinggi Total Profil	H	300 mm
Diameter Angkur	D	16
Tebal Plat Sambung	t	10 mm
Tebal Las	tw	19 mm
Jumlah Baut	n	8 bh

Berikut merupakan perhitungan dari kebutuhan penulangan pada sloof.

Data Dimensi dan Material

Panjang sloof	L	= 6000 mm
Lebar sloof	b	= 400 mm
Tinggi sloof	h	= 800 mm
Panjang tumpuan		= 2 x h = 1600 mm
Diameter tulangan longitudinal	db	= 19 mm
Diameter tulangan pinggang	dbt	= 13 mm
Diameter tulangan sengkang	ds	= 10 mm
Selimut beton	cc	= 50 mm
Tinggi efektif balok	d	= h – cc – ds – (db/2) = 800 – 50 – 10 – (19/2) = 730,5 mm
Kuat tekan beton	fc'	= 35 MPa
Kuat leleh tulangan longitudinal	fy	= 420 MPa
Kuat leleh tulangan transversal	fyv	= 280 MPa

Berdasarkan SNI 2847:2019 tabel 22.2.2.4.3. untuk $28 < f_c' < 55$ maka, β_1 yaitu

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 (F_c' - 28)}{7} = 0,8$$

Panjang kolom	c1	= 700 mm
Lebar kolom	c2	= 700 mm
Ln		= L – c1 = 6000 – 700 = 5300 mm

Gaya Dalam Dari SAP2000

$M_{u, \text{Tumpuan}}^{(-)}$	= -225,5709	kNm
$M_{u, \text{Tumpuan}}^{(+)}$	= 75,9241	kNm
$M_{u, \text{Lapangan}}^{(-)}$	= -73,5119	kNm
$M_{u, \text{Tumpuan}}^{(+)}$	= 74,7537	kNm
Pu	= 143,369	kN
$V_{u, \text{Tumpuan}}$	= 261,646	kN
$V_{u, \text{Lapangan}}$	= 97,604	kN

Perhitungan Penulangan Lentur

4. Tumpuan Negatif

$$\text{Jumlah tulangan tumpuan negatif, } n = 5 \text{ buah}$$

$$\text{Diameter tulangan longitudinal, } db = 19 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak bersih antar tulangan (S}_{\text{bersih}}) &= \frac{b-2cc-2ds-n \times db}{n-1} \\ &= \frac{400-2(50)-2(10)-(5 \times 19)}{5-1} \end{aligned}$$

$$= 46,25 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat jarak bersih minimum} = S_{\text{bersih}} \geq db \text{ dan } 25 \text{ mm}$$

$$(\text{SNI 2847:2019 pasal 25.2.1.}) = 46,25 \text{ mm} \geq 19 \text{ mm dan } 25 \text{ mm}$$

(MEMENUHI)

$$\text{Jumlah lapis} = 2$$

$$\text{As pasang} = n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$$

$$= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 19^2$$

$$= 1417,6437 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\text{min},1} = \frac{\sqrt{f'c'}}{4 \times f_y} \times b \cdot d$$

$$= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 400 \times 730,5$$

$$= 1028,975 \text{ mm}^2$$

$$\text{As}_{\text{min},2} = \frac{1}{4} \times f_y \times b \times d$$

$$= \frac{1}{4} \times 420 \times 400 \times 730,5$$

$$= 974 \text{ mm}^2$$

$$\text{Syarat cek as min} = \text{As pasang} \geq \text{As}_{\text{min},1} \text{ dan } \text{As}_{\text{min},2}$$

$$= 1417,644 \geq 1028,975 \text{ dan } 974 \text{ mm}^2$$

(MEMENUHI)

$$\rho = \frac{As}{b \times d}$$

$$= \frac{1417,6437}{400 \times 730,5}$$

$$= 0,5\%$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max,1} \quad 0,75\rho_b &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_{c'}}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{(600+420)} \\ &= 2,5\%\end{aligned}$$

$$\rho_{\max,2} = 2,5\%$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat cek as max} \quad &= \rho \leq \rho_{\max} \\ &= 0,5\% \leq 2,5\% \text{ (MEMENUHI)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kedalaman blok tegangan tekan, } a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_{c'} \times b} \\ &= \frac{1417,6437 \times 420}{0,85 \times 35 \times 400} \\ &= 50,03 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kuat momen nominal, } M_n &= A_s \times f_y \times \left(d \times \frac{a}{2}\right) \\ &= 1417,6437 \times 420 \times \left(730,5 \times \frac{50,03}{2}\right) \\ &= 420,0517 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Jarak dari serat tekan terluar beton sampai ke garis netral penampang, c.

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{50,03}{0,8} = 62,543 \text{ mm}$$

Nilai regangan pada baja tulangan tarik, ϵ_s .

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{730,5-62,543}{62,543} \times 0,003 \\ &= 0,032\end{aligned}$$

Fakto reduksi kekuatan, ϕ .

$$\begin{aligned}\phi &= 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 0,65 + \frac{0,032 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 3,15\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2 untuk $0,65 \leq \phi \leq 0,9$ maka memakai

$$\phi = 0,9.$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 420,0517 = 378,046 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$M_u, \text{Tumpuan}^{(-)} = 225,5709 \text{ kNm}$$

$$\text{Cek syarat kapasitas } \phi M_n > M_u = 378,046 > 225,5709 \text{ kNm (MEMENUHI)}$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \frac{M_u}{(f_y \times (d - \frac{a}{2}))} \\ &= \frac{225,5709}{(420 \times (730,5 - \frac{50,03}{2}))} \times 10^6 = 761,2851 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

5. Tumpuan Positif

$$\text{Jumlah tulangan tumpuan positif, n} = 4 \text{ buah}$$

$$\text{Diameter tulangan longitudinal, db} = 19 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak bersih antar tulangan (S}_{\text{bersih}}) &= \frac{b - 2cc - 2ds - n \times db}{n - 1} \\ &= \frac{400 - 2(50) - 2(10) - (5 \times 19)}{4 - 1} \\ &= 68 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat jarak bersih minimum} &= S_{\text{bersih}} \geq db \text{ dan } 25 \text{ mm} \\ \text{(SNI 2847:2019 pasal 25.2.1.)} &= 46,25 \text{ mm} \geq 19 \text{ mm dan } 25 \text{ mm} \\ &\text{(MEMENUHI)} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah lapis} = 2$$

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times db^2 \\ &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 19^2 \\ &= 1134,1149 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As,min,1} &= \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 400 \times 730,5 \\ &= 1028,975 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As,min,2} &= \frac{1}{4} \times f_y \times b \times d \\ &= \frac{1}{4} \times 420 \times 400 \times 730,5 \\ &= 974 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As,min,4} &= 0,5 \times \text{as tumpuan negatif} \\ &= 0,5 \times 1417,6437 = 708,821 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat cek as min} &= \text{As pasang} \geq (\text{As,min,1}; \text{As,min,4}) \\ &= 1134,1149 \geq (1028,975; 708,821) \text{ mm}^2 \text{ (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{As}{b \times d} \\ &= \frac{1134,115}{400 \times 730,5} \\ &= 0,388\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max,1} \quad 0,75\rho_b &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_{c'}}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{(600+420)} \\ &= 2,5\%\end{aligned}$$

$$\rho_{\max,2} = 2,5\%$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat cek as max} &= \rho \leq \rho_{\max} \\ &= 0,5\% \leq 2,5\% \text{ (MEMENUHI)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kedalaman blok tegangan tekan, a} &= \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_{c'} \times b} \\ &= \frac{1134,115 \times 420}{0,85 \times 35 \times 400} \\ &= 40,027 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kuat momen nominal, } M_n &= As \times f_y \times \left(d \times \frac{a}{2}\right) \\ &= 1134,115 \times 420 \times \left(730,5 \times \frac{40,027}{2}\right) \\ &= 338,427 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Jarak dari serat tekan terluar beton sampai ke garis netral penampang, c.

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{40,027}{0,8} = 50,034 \text{ mm}$$

Nilai regangan pada baja tulangan tarik, ϵ_s .

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{730,5-50,034}{50,034} \times 0,003 \\ &= 0,04\end{aligned}$$

Fakto reduksi kekuatan, ϕ .

$$\begin{aligned}\phi &= 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 0,65 + \frac{0,04 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 3,1816\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2 untuk $0,65 \leq \phi \leq 0,9$ maka memakai

$$\phi = 0,9.$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 338,427 = 304,582 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$M_u, \text{Tumpuan}^{(+)} = 75,9241 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}\text{Cek syarat kapasitas } \phi M_n &> M_u \\ 304,582 &> 75,9241 \text{ kNm (MEMENUHI)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \frac{M_u}{(f_y \times (d - \frac{a}{2}))} \\ &= \frac{75,9241}{(420 \times (730,5 - \frac{40,027}{2}))} \times 10^6 \\ &= 254,433 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

6. Lapangan Negatif

$$\text{Jumlah tulangan lapangan negatif, } n = 5 \text{ buah}$$

$$\text{Diameter tulangan longitudinal, } d_b = 19 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak bersih antar tulangan (S}_{\text{bersih}}) &= \frac{b - 2cc - 2ds - n \times d_b}{n - 1} \\ &= \frac{400 - 2(50) - 2(10) - (5 \times 19)}{5 - 1} \\ &= 46,25 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Syarat jarak bersih minimum} = S_{\text{bersih}} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}(\text{SNI 2847:2019 pasal 25.2.1.}) &= 46,25 \text{ mm} \geq 19 \text{ mm dan } 25 \text{ mm} \\ &\text{(MEMENUHI)}\end{aligned}$$

$$\text{Jumlah lapis} = 1$$

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\ &= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 19^2 \\ &= 1417,6437 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As}_{\text{min},1} &= \frac{\sqrt{f_{c'}}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 400 \times 730,5 \\ &= 1028,975 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\text{As}_{\text{min},2} = \frac{1}{4} \times f_y \times b \times d$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{4} \times 420 \times 400 \times 730,5 \\
&= 974 \text{ mm}^2 \\
A_{s,\min,4} &= 0,25 \times \text{as tumpuan negatif} \\
&= 0,25 \times 1417,6437 = 354,410 \text{ mm}^2 \\
\text{Syarat cek as min} &= A_s \text{ pasang} \geq (A_{s,\min,1}; A_{s,\min,4}) \\
&= 1417,6437 \geq (1028,975; 354,410) \text{ mm}^2 \text{ (MEMENUHI)} \\
\rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\
&= \frac{1417,6437}{400 \times 730,5} \\
&= 0,485\% \\
\rho_{\max,1} &0,75\rho_b = 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_{c'}}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \\
&= 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{(600+420)} \\
&= 2,5\% \\
\rho_{\max,2} &= 2,5\% \\
\text{Syarat cek as max} &= \rho \leq \rho_{\max} \\
&= 0,5\% \leq 2,5\% \text{ (MEMENUHI)} \\
\text{Kedalaman blok tegangan tekan, a} &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_{c'} \times b} \\
&= \frac{1417,6437 \times 420}{0,85 \times 35 \times 400} \\
&= 50,03 \text{ mm} \\
\text{Kuat momen nominal, } M_n &= A_s \times f_y \times (d \times \frac{a}{2}) \\
&= 1417,6437 \times 420 \times (730,5 \times \frac{50,03}{2}) \\
&= 420,0517 \text{ kNm} \\
\text{Jarak dari serat tekan terluar beton sampai ke garis netral penampang, c.} \\
c &= \frac{a}{\beta_1} = \frac{50,03}{0,8} = 62,543 \text{ mm} \\
\text{Nilai regangan pada baja tulangan tarik, } \epsilon_s. \\
\epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
&= \frac{730,5-62,543}{62,543} \times 0,003 \\
&= 0,032
\end{aligned}$$

Fakto reduksi kekuatan, ϕ .

$$\begin{aligned}\phi &= 0,65 + \frac{\varepsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 0,65 + \frac{0,032 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 3,15\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2 untuk $0,65 \leq \phi \leq 0,9$ maka memakai

$$\phi = 0,9.$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 420,0517 = 378,046 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$M_u, \text{ Lapangan}^{(-)} = 73,5119 \text{ kNm}$$

Cek syarat kapasitas $\phi M_n > M_u = 378,046 > 73,5119 \text{ kNm}$ **(MEMENUHI)**

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \frac{M_u}{(f_y \times (d - \frac{a}{2}))} \\ &= \frac{73,5119}{(420 \times (730,5 - \frac{50,03}{2}))} \times 10^6 \\ &= 248,097 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

7. Lapangan Positif

$$\text{Jumlah tulangan lapangan positif, } n = 6 \text{ buah}$$

$$\text{Diameter tulangan longitudinal, } db = 19 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak bersih antar tulangan (S}_{\text{bersih}}) &= \frac{b - 2cc - 2ds - n \times db}{n - 1} \\ &= \frac{400 - 2(50) - 2(10) - (6 \times 19)}{6 - 1} \\ &= 33,2 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Syarat jarak bersih minimum} = S_{\text{bersih}} \geq db \text{ dan } 25 \text{ mm}$$

$$(\text{SNI 2847:2019 pasal 25.2.1.}) = 33,2 \text{ mm} \geq 19 \text{ mm dan } 25 \text{ mm}$$

(MEMENUHI)

$$\text{Jumlah lapis} = 2$$

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times db^2 \\ &= 6 \times \frac{\pi}{4} \times 19^2 \\ &= 1701,172 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,min,1} &= \frac{\sqrt{f'c'}}{4 \times f_y} \times b \cdot d \\
 &= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 400 \times 730,5 \\
 &= 1028,975 \text{ mm}^2 \\
 A_{s,min,2} &= \frac{1}{4} \times f_y \times b \times d \\
 &= \frac{1}{4} \times 420 \times 400 \times 730,5 \\
 &= 974 \text{ mm}^2 \\
 A_{s,min,4} &= 0,25 \times \text{as tumpuan negatif} \\
 &= 0,25 \times 1417,6437 = 354,410 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat cek as min} &= A_s \text{ pasang} \geq (A_{s,min,1}; A_{s,min,4}) \\
 &= 1701,172 \geq (1028,975; 354,410) \text{ mm}^2 \text{ **(MEMENUHI)**}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\
 &= \frac{1701,172}{400 \times 730,5} \\
 &= 0,582\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{max,1} \quad 0,75\rho_b &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'c'}{f_y} \times \frac{600}{(600 + f_y)} \\
 &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{(600 + 420)} \\
 &= 2,5\%
 \end{aligned}$$

$$\rho_{max,2} = 2,5\%$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat cek as max} &= \rho \leq \rho_{max} \\
 &= 0,5\% \leq 2,5\% \text{ **(MEMENUHI)**}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kedalaman blok tegangan tekan, a} &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'c' \times b} \\
 &= \frac{1701,172 \times 420}{0,85 \times 35 \times 400} \\
 &= 60,041 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat momen nominal, Mn} &= A_s \times f_y \times \left(d \times \frac{a}{2}\right) \\
 &= 1701,172 \times 420 \times \left(730,5 \times \frac{60,041}{2}\right) \\
 &= 500,487 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Jarak dari serat tekan terluar beton sampai ke garis netral penampang, c .

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{60,041}{0,8} = 75,051 \text{ mm}$$

Nilai regangan pada baja tulangan tarik, ϵ_s .

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{730,5-75,051}{75,051} \times 0,003 \\ &= 0,0261\end{aligned}$$

Fakto reduksi kekuatan, ϕ .

$$\begin{aligned}\phi &= 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 0,65 + \frac{0,0261 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 2,658\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2 untuk $0,65 \leq \phi \leq 0,9$ maka memakai $\phi = 0,9$.

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 500,487 = 450,438 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$M_u, \text{Tumpuan}^{(+)} = 74,7537 \text{ kNm}$$

Cek syarat kapasitas $\phi M_n > M_u = 450,438 > 74,7537 \text{ kNm}$ (**MEMENUHI**)

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \frac{M_u}{(f_y \times (d - \frac{a}{2}))} \\ &= \frac{74,7537}{(420 \times (730,5 - \frac{60,041}{2}))} \times 10^6 = 254,090 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Perhitungan Tulangan Geser

1. Tulangan Tumpuan

Gaya Desain

$$\begin{aligned}V_{g, \text{tumpuan}} &= \frac{M_{\text{tumpuan}} + M_{\text{lapangan}}}{L_n} \\ &= \frac{225,571 + 73,5119}{5300} \times 1000 = 56,430 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$A_s^+ \text{ Tumpuan} = 1134,115 \text{ mm}^2$$

$$A_s^- \text{ Tumpuan} = 1417,644 \text{ mm}^2$$

$$a_{pr}^+ = 1,25 \times a$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,25 \times 40,027 \\
 &= 50,034 \text{ mm} \\
 a_{pr}^- &= 1,25 \times a \\
 &= 1,25 \times 50,0344 \text{ mm} \\
 &= 62,543 \text{ mm} \\
 M_{pr}^+ &= A_s^+ \times (1,25f_y) \times \left(d - \frac{a_{pr}^+}{2}\right) \\
 &= 1134,115 \times (1,25 \times 420) \times \left(730,5 - \frac{50,034}{2}\right) \\
 &= 420051735 \text{ Nmm} \\
 M_{pr}^- &= A_s^- \times (1,25f_y) \times \left(d - \frac{a_{pr}^-}{2}\right) \\
 &= 1417,644 \times (1,25 \times 420) \times \left(730,5 - \frac{62,543}{2}\right) \\
 &= 520409817 \text{ Nmm} \\
 V_{\text{sway}} \text{ atau } V_{pr} &= (M_{pr}^+ + M_{pr}^-) / L_n \\
 &= \frac{420051735 + 520409817}{5300} \\
 &= 117446 \text{ N} \\
 V_e &= V_g + V_{pr} \\
 &= (56,430 \times 1000) + 117446 \\
 &= 182553 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Tahanan Geser Beton

Gaya geser gempa,

$$\begin{aligned}
 V_{pr} &= (M_{pr}^+ + M_{pr}^-) / L_n \\
 &= \frac{420051735 + 520409817}{5300} \\
 &= 117446 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Batas setengah gaya geser desain,

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{2} \times V_e &= \frac{1}{2} \times 182553 \\
 &= 91276 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$P_u = 143369 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Batas gaya aksial tekan minimum} &= \frac{A_g \times F_{c'}}{20} \\
 &= \frac{b \times d \times f_{c'}}{20} \\
 &= \frac{400 \times 800 \times 35}{20} \\
 &= 560000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Pengecekan syarat $V_c = 0$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat 1,} \quad V_{pr} &\geq \frac{1}{2} \times V_e \\
 117446 \text{ N} &\geq 91276 \text{ N} \text{ (MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat 2,} \quad P_u &< \frac{A_g \times F_{c'}}{20} \\
 143369 \text{ N} &< 560000 \text{ N} \text{ (MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

Dikarenakan kedua syarat terpenuhi, maka $V_c = 0$.

Penulangan Geser

$$\text{Jumlah kaki} = 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang, } A_v &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times D_s^2 \\
 &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 \\
 &= 314,159 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Spasi} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi max 1} = \frac{d}{4} = \frac{730,5}{4} = 182,63 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi max 2} = 6d_b = 6 \times 19 = 114 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi max 3} = 150 \text{ mm}$$

Cek syarat spasi, $\text{Spasi} \leq (\text{Spasi max 1} : \text{Spasi max 3})$

$$100 \text{ mm} \leq (182,63 : 150) \text{ (MEMENUHI)}$$

Kapasitas tahanan geser tulangan sengkang, V_s .

$$V_s = \frac{A_v \times F_{yv} \times d}{s} = \frac{314,159 \times 280 \times 730,5}{100} = 642581 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Batas } V_s &= 0,66 \times \sqrt{f_{c'}} \times b \times d \\
 &= 0,66 \times \sqrt{35} \times 400 \times 730,5 \\
 &= 1140928 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75$$

Kuat geser nominal penampang, V_n .

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 0 + 642581 \\ &= 642581 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya geser ulmitit,

$$\begin{aligned} V_u &= 182553 \text{ N} \\ \frac{\phi V_n}{V_u} &= \frac{0,75 \times 642581}{182553} \\ &= 2,640 \end{aligned}$$

$$\text{Cek kapasitas } \frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1$$

$$2,640 \geq 1 \text{ (MEMENUHI)}$$

2. Tulangan Lapangan

Penulangan Geser

$$\begin{aligned} \text{Jumlah kaki} &= 2 \text{ buah} \\ \text{Luas penampang, } A_v &= n \times \frac{\pi}{4} \times D_s^2 \\ &= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \\ \text{Spasi} &= 150 \text{ mm} \\ \text{Spasi max} &= \frac{d}{2} \\ &= \frac{730,5}{2} \\ &= 365,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek syarat spasi, $\text{Spasi} \leq \text{Spasi max}$

$$150 \text{ mm} \leq 365,25 \text{ (MEMENUHI)}$$

Kapasitas tahanan geser tulangan sengkang, V_s .

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \times F_{yv} \times d}{s} \\ &= \frac{157,08 \times 280 \times 730,5}{150} \\ &= 214194 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Batas } V_s &= 0,66 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\
 &= 0,66 \times \sqrt{35} \times 400 \times 730,5 \\
 &= 1140928 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\
 &= 0,17 \times \sqrt{35} \times 400 \times 730,5 \\
 &= 293875 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75$$

Kuat geser nominal penampang, V_n .

$$V_n = V_c + V_s = 293875 + 214194 = 508069 \text{ N}$$

$$\text{Gaya geser ulmitit, } V_u = 97604 \text{ N}$$

$$\frac{\phi V_n}{V_u} = \frac{0,75 \times 508069}{97604} = 3,904$$

$$\text{Cek kapasitas } \frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1$$

$$3,904 \geq 1 \text{ (MEMENUHI)}$$

Perhitungan Tulangan Torsi

$$A_{cp} = b \times h = 400 \times 800 = 320000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (b+h) = 2 \times (400 + 800) = 2400 \text{ mm}$$

$$X_0 = b - 2c_c - d_s = 400 - 2(50) - 10 = 290 \text{ mm}$$

$$Y_0 = h - 2c_c - d_s = 800 - 2(50) - 10 = 690 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = X_0 \times Y_0 = 290 \times 690 = 200100 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 200100 = 170085 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2 \times (X_0 + Y_0) = 2 \times (290 + 690) = 1960 \text{ mm}$$

Gaya Dalam dari SAP2000

$$T_u = 83,4818 \text{ kNm}$$

Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi

Momen torsi retak nominal, T_{cr} .

$$\begin{aligned}
 T_{cr} &= 0,33 \times \sqrt{f'c'} \times \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \\
 &= 0,33 \times \sqrt{35} \times \frac{320000^2}{2400} = 83298403 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\frac{\phi \times T_{cr}}{4} = \frac{0,75 \times 83298403}{4} = 15618451 \text{ Nmm}$$

Cek apakah perlu tulangan torsi atau tidak.

$$T_u > \frac{\phi \times T_{cr}}{4}$$

83481800 > 15618451 Nmm (**MEMBUTUHKAN TULANGAN TORSI**)

Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang

Jenis torsi = Kompabilitas

T_u Pakai = ϕT_{cr} atau $T_u = 62473803 \text{ Nmm}$

$V_u = 182553 \text{ N}$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{35} \times 400 \times 730,5 \\ &= 293875 \text{ N} \end{aligned}$$

Tegangan ultimit kombinasi akibat gaya geser dan torsi $\sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_h}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2}$

$$\begin{aligned} \sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_h}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2} &= \sqrt{\left(\frac{182553}{400 \times 730,5}\right)^2 + \left(\frac{62473803 \times 1960}{1,7 \times 200100^2}\right)^2} \\ &= 1,904 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas tegangan beton} &= \phi \left[\frac{V_c}{b \times d} + 0,66 \times \sqrt{f'c'} \right] \\ &= 0,75 \left[\frac{293875}{400 \times 730,5} + 0,66 \times \sqrt{35} \right] \\ &= 3,683 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Cek dimensi penampang

Tegangan ultimit kombinasi akibat gaya geser dan torsi < Kapasitas tegangan beton. $1,996 < 3,683 \text{ MPa}$ (**MEMENUHI**).

$$\frac{f_y}{f_{yt}} = 1$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.6.1 θ diambil untuk balok komponen struktur non prategang = 45°

Penulangan Transversal Torsi

n kaki tumpuan = 4 buah

n kaki lapangan = 2 buah

s tumpuan = 100 mm

$$s \text{ lapangan} = 150 \text{ mm}$$

$$s \text{ max 1} = \frac{P_h}{8} = \frac{1960}{8} = 245 \text{ mm}$$

$$s \text{ max 2} = 300 \text{ mm}$$

Pengecekan spasi tumpuan, $s \text{ tumpuan} \geq (s \text{ max 1} : s \text{ max 2})$.

$$100 \geq (245:300) \text{ mm (MEMENUHI)}.$$

Pengecekan spasi lapangan, $s \text{ lapangan} \geq (s \text{ max 1} : s \text{ max 2})$.

$$150 \geq (245:300) \text{ mm (MEMENUHI)}.$$

Rasio luas tulangan sengkang kombinasi terpasang, $\frac{A_{v+t}}{s \text{ tumpuan}}$.

$$\begin{aligned} \frac{A_{v+t}}{s} &= \frac{4 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2}{s} \\ &= \frac{4 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2}{100} \\ &= 3,142 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Rasio luas tulangan sengkang kombinasi terpasang, $\frac{A_{v+t}}{s \text{ lapangan}}$.

$$\begin{aligned} \frac{A_{v+t}}{s} &= \frac{n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2}{s} \\ &= \frac{2 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2}{150} \\ &= 1,047 \text{ mm}^2/\text{mm}. \end{aligned}$$

Kebutuhan luas sengkang torsi per satuan jarak, $\frac{A_t}{s}$.

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_u}{2 \times \emptyset \times A_o \times f_{yv}} \\ &= \frac{62473803}{2 \times 0,75 \times 170085 \times 280} \\ &= 0,875 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_v}{s \text{ tumpuan perlu}} &= \frac{\left(\frac{V_u \text{ tumpuan}}{\emptyset} - V_c \right)}{f_{yv} \times d} \\ &= \frac{\left(\frac{182553}{0,75} - 0 \right)}{280 \times 730,5} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,19 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
 \frac{A_v}{s \text{ lapangan perlu}} &= \frac{\left(\frac{V_u \text{ lapangan}}{\phi} - V_c\right)}{f_{yv} \times d} \\
 &= \frac{\left(\frac{97604}{0,75} - 293875\right)}{280 \times 730,5} \\
 &= -0,80051 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{v+t}}{s \text{ tumpuan perlu}} &= 2 \left(\frac{A_t}{s}\right) + \frac{A_v}{s} \\
 &= 2 (0,875) + 1,19 \\
 &= 2,94
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{v+t}}{s \text{ lapangan perlu}} &= 2 \left(\frac{A_t}{s}\right) + \frac{A_v}{s} \\
 &= 2 (0,875) + (-0,80051) \\
 &= 0,949
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{v+t}}{s \text{ min 1}} &= 0,062 \times \sqrt{f'c'} \times \frac{b}{f_{yv}} \\
 &= 0,062 \times \sqrt{35} \times \frac{400}{280} \\
 &= 0,524
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{v+t}}{s \text{ min 2}} &= 0,35 \times \frac{b}{f_{yv}} \\
 &= 0,35 \times \frac{400}{280} \\
 &= 0,5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek geser + torsi tumpuan} &= \frac{A_{v+t}}{s \text{ tumpuan}} \geq \frac{A_{v+t}}{s \text{ tumpuan perlu}}, \frac{A_{v+t}}{s \text{ min 1}}, \frac{A_{v+t}}{s \text{ min 2}} \\
 &= 5,309 \geq 3,397 ; 0,524 ; 0,5 \text{ (MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek geser + torsi lapangan} &= \frac{A_{v+t}}{s \text{ lapangan}} \geq \frac{A_{v+t}}{s \text{ lapangan perlu}}, \frac{A_{v+t}}{s \text{ min 1}}, \frac{A_{v+t}}{s \text{ min 2}} \\
 &= 1,047 \geq 0,949 ; 0,524 ; 0,5 \text{ (MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

Penulangan Longitudinal Torsi

$$\text{dbt} = 13 \text{ mm}$$

$$\text{db, min} = 0,042 \times s = 0,042 \times 150 = 6,3 \text{ mm}$$

$$\text{Cek syarat db} = \text{db} \geq \text{db,min} \text{ (} 13 \geq 6,3 \text{ mm) MEMENUHI}$$

$$\text{As perlu tumpuan atas} = 761,285 \text{ mm}^2$$

$$\text{As perlu tumpuan bawah} = 254,434 \text{ mm}^2$$

$$\text{As perlu lapangan atas} = 248,097 \text{ mm}^2$$

$$\text{As perlu lapangan bawah} = 254,090 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} \times P_h \\ &= 0,875 \times 1960 \\ &= 1714 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_l \text{ min} &= 0,42 \times \sqrt{f'c'} \times \frac{A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s}\right) \times P_h \\ &= 0,42 \times \sqrt{35} \times \frac{320000}{420} - (0,875) \times 1960 \\ &= 179,035 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s + A_l \text{ Perlu Tumpuan} = 2729,829 \text{ mm}^2$$

$$A_s + A_l \text{ Perlu Lapangan} = 2216,298 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tumpuan atas} = 5 \text{ buah}$$

$$n \text{ tumpuan tengah} = 4 \text{ buah}$$

$$n \text{ tumpuan bawah} = 4 \text{ buah}$$

$$n \text{ tumpuan vertikal} = 2 + n \text{ Tengah} / 2 = 4 \text{ buah}$$

$$n \text{ lapangan atas} = 5 \text{ buah}$$

$$n \text{ lapangan tengah} = 4 \text{ buah}$$

$$n \text{ lapangan bawah} = 6 \text{ buha}$$

$$n \text{ lapangan vertikal} = 2 + n \text{ Tengah} / 2 = 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi horizontal tumpuan} &= \frac{b-2cc-2ds-db}{\min(n \text{ atas}, n \text{ bawah})-1} \\ &= \frac{400-2(50)-2(10)-19}{4-1} \\ &= 87 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi vertikal tumpuan} &= \frac{h-2cc-2ds-db}{n \text{ vertikal}-1} \\ &= \frac{800-2(50)-2(10)-19}{3} \\ &= 220 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Spasi horizontal lapangan} = \frac{b-2cc-2ds-db}{\min(n \text{ atas}, n \text{ bawah})-1}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{400 - 2(50) - 2(10) - 19}{5 - 1} \\
&= 65 \text{ mm} \\
\text{Spasi vertikal lapangan} &= \frac{h - 2cc - 2ds - db}{n \text{ vertikal} - 1} \\
&= \frac{800 - 2(50) - 2(10) - 19}{3} \\
&= 220 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Cek Spasi Tulangan Longitudinal Tumpuan.

Spasi horizontal, vertikal ≥ 300 mm

87 dan 220 ≥ 300 mm (**MEMENUHI**)

Cek Spasi Tulangan Longitudinal Lapangan

Spasi horizontal, vertikal ≥ 300 mm

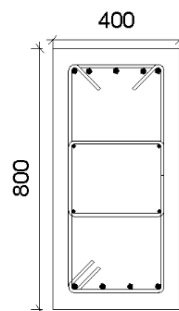
65 dan 220 ≥ 300 mm (**MEMENUHI**)

$$\begin{aligned}
A_s + A_l \text{ pasang tumpuan} &= ((n \text{ tumpuan atas} + n \text{ tumpuan bawah}) \times \frac{\pi}{4} \times db^2) + \\
&\quad (n \text{ tumpuan tengah} \times \frac{\pi}{4} \times dbt^2)) \\
&= 3082,688 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

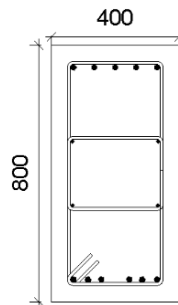
$$\begin{aligned}
A_s + A_l \text{ pasang lapangan} &= ((n \text{ lapangan atas} + n \text{ lapangan bawah}) \times \frac{\pi}{4} \times db^2) + \\
&\quad (n \text{ lapangan tengah} \times \frac{\pi}{4} \times dbt^2)) \\
&= 3649,745 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Cek lentur} + \text{torsi tumpuan} &= A_s + A_l \text{ Pasang} \geq A_s + A_l \text{ Perlu} \\
&= 3082,688 \geq 2729,829 \text{ mm}^2 \text{ **MEMENUHI**}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Cek lentur} + \text{torsi lapangan} &= A_s + A_l \text{ Pasang} \geq A_s + A_l \text{ Perlu} \\
&= 3649,745 \geq 2216,298 \text{ mm}^2 \text{ **MEMENUHI**}
\end{aligned}$$



Gambar 4.11 Detail Sloof Tumpuan



Gambar 4.12 Detail Sloof Lapangan

Tabel 4.24 Hasil Analisa Sloof

Struktur	Tipe	Tulangan Longitudinal			Sengkang
		Atas	Tengah	Bawah	
S1 400 x 800	Tumpuan	5 D 19	4 D 13	4 D 19	4Ø10-100
	Lapangan	5 D 19	4 D 13	6 D 19	2Ø10-150

Tabel 4.25 Hasil Analisa Gaya Dalam Kolom

Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	5107,822	99,5893	107,6031
P min	-8088,245	-212,2517	-299,6669
M2 max	2865,572	304,2137	114,5566
M2 min	-6101,252	-294,8756	-149,9476
M3 max	4110,653	187,5351	359,2885
M3 min	-2803,454	-148,3618	-341,7249
Geser			
	Tumpuan	Lapangan	
V2 (kN)	680,657	680,657	
V3 (kN)	617,896	617,896	
Gaya Tekan Terkecil			
Nu (kN)	0,33		

Data Dimensi dan Material

Tinggi kolom		= 4000 mm
Sisi pendek kolom	b	= 700 mm
Sisi panjang kolom	h	= 700 mm

Diameter tulangan longitudinal	db	= 22 mm
Diameter tulangan sengkang	ds	= 13 mm
Selimut beton	cc	= 50 mm
Kuat tekan beton	fc'	= 35 MPa
Kuat leleh tulangan longitudinal	fy	= 420 MPa
Kuat leleh tulangan sengkang	fyv	= 280 MPa
Tinggi balok	hb	= 800 mm
Ln	L-hb	= 3200 mm

1. Desain Longitudinal

Syarat Terhadap Gaya dan Geometri

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat gaya aksial} &= P_u > 0,1 \times A_g \times f_c' \\
 &= 8088,245 > 0,1 \times 700 \times 700 \times 35 \\
 &= 8088245 > 1715000 \text{ (MEMENUHI)} \\
 \text{Syarat sisi terpendek} &= b \geq 300 \text{ mm} \\
 &= 700 \geq 300 \text{ mm (MEMENUHI)} \\
 \text{Syarat rasio dimensi penampang} &= \frac{b}{h} \geq 0,4 \\
 &= \frac{700}{700} \geq 0,4 \\
 &= 1 \geq 0,4 \text{ (MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

Syarat Terhadap Gaya Dalam Aksial Lentur

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan } n &= 16 \text{ buah} \\
 \text{Luas tulangan longitudinal } A_s &= n \times \frac{\pi}{4} \times db^2 \\
 &= 16 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2 = 6082,123 \text{ mm}^2 \\
 \text{Rasio tulangan } \rho &= \frac{A_s}{b \times h} \\
 &= \frac{6082,123}{700 \times 700} = 0,0124 = 1,2412\%
 \end{aligned}$$

Cek batasan rasio tulangan longitudinal kolom.

$$1\% \leq \rho \leq 6\%$$

$$1\% \leq 1,2412\% \leq 6\% \text{ (MEMENUHI)}$$

Pengecekan Terhadap *Strong Column – Weak Beam*

Untuk momen nominal kolom, M_{nc} didapatkan dari hasil *Sp Column*.

$$M_{nc} = 514,562$$

$$M_n^- \text{ tumpuan balok} = 420,052 \text{ kNm}$$

$$M_n^+ \text{ tumpuan balok} = 338,425 \text{ kNm}$$

Cek *Strong Column Weak Beam* (SCWB).

$$\begin{aligned} \text{SCWB} &= 2 \times M_{nc} \geq 1,2 (M_n^- + M_n^+) \\ &= 2 \times 514,562 \geq 1,2 (420,052 + 338,425) \\ &= 1029,124 \geq 910,1724 \text{ (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

2. Desain Transversal

Panjang Zona Sendi Plastis

$$l_{o1} = h = 700 \text{ mm}$$

$$l_{o2} = \frac{L_n}{6} = \frac{3200}{6} = 533,333 \text{ mm}$$

$$l_{o3} = 450 \text{ mm}$$

$$l_o = \max (l_{o1}; l_{o2}; l_{o3})$$

$$= 700 \text{ mm}$$

Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis/ Tumpuan

$$\text{Jumlah kaki sisi pendek } n1 = 4 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah kaki sisi panjang } n2 = 4 \text{ buah}$$

$$\text{Spasi } s = 65 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi Kaki Terbesar } x_{i \max} = 300 \text{ mm}$$

Kapasitas luas sengkang kekangan terpasang, A_{sh} .

Luas penampang sengkang pengeang terpasang arah 1 sumbu X.

$$\begin{aligned} A_{sh1} &= n \times \frac{\pi}{4} \times ds^2 \\ &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 530,929 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas penampang sengkang pengeang terpasang arah 2 sumbu Y.

$$\begin{aligned} A_{sh2} &= n \times \frac{\pi}{4} \times ds^2 \\ &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 530,929 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menentukan rasio luas sengkang kekangan aktual terpasang per satuan jarak arah – 1.

$$\frac{A_{sh1}}{s} = \frac{530,929}{65} = 8,16814$$

Menentukan rasio luas sengkang kekangan aktual terpasang per satuan jarak arah – 2.

$$\frac{A_{sh2}}{s} = \frac{530,929}{65} = 8,16814$$

Kekangan Zona Sendi Plastis

Lebar penampang inti beton, b_c .

$$b_c = b - 2c_c = 700 - 2(50) = 600 \text{ mm}$$

Panjang penampang inti beton, h_c .

$$h_c = h - 2c_c = 700 - 2(50) = 600 \text{ mm}$$

Luas penampang kolom, A_g .

$$A_g = b \times h = 700 \times 700 = 490000 \text{ mm}^2$$

Luas penampang inti beton, A_{ch} .

$$A_{ch} = b_c \times h_c = 600 \times 600 = 360000 \text{ mm}^2$$

Sisi pendek atau sumbu lemah, $\frac{A_{sh1}}{s}$.

$$\begin{aligned} \left(\frac{A_{sh1}}{s}\right)_{\min, 1} &= 0,3 \times \left(\frac{b_c \times f_{ct}}{f_{yv}}\right) \times \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}}\right) - 1\right] \\ &= 0,3 \times \left(\frac{600 \times 35}{280}\right) \times \left[\left(\frac{490000}{360000}\right) - 1\right] \\ &= 8,125 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{A_{sh1}}{s}\right)_{\min, 2} &= 0,09 \times b_c \times \frac{f_{ct}}{f_{yv}} \\ &= 0,09 \times 600 \times \frac{35}{280} \\ &= 6,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Cek syarat } \left(\frac{A_{sh1}}{s}\right)_{\text{pasang}} \geq \left(\frac{A_{sh1}}{s}\right)_{\min 1,2}$$

$$8,16814 \geq (8,125; 6,75) \text{ (MEMENUHI)}$$

Sisi panjang atau sumbu kuat, $\frac{A_{sh1}}{s}$.

$$\left(\frac{A_{sh1}}{s}\right)_{\min, 1} = 0,3 \times \left(\frac{b_c \times f_{ct}}{f_{yv}}\right) \times \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}}\right) - 1\right]$$

$$= 0,3 \times \left(\frac{600 \times 35}{280} \right) \times \left[\left(\frac{490000}{360000} \right) - 1 \right]$$

$$= 8,125 \text{ mm}^2$$

$$\left(\frac{A_{sh1}}{s} \right)_{\min, 2} = 0,09 \times b_c \times \frac{f_{ct}}{f_{yv}}$$

$$= 0,09 \times 600 \times \frac{35}{280}$$

$$= 6,75 \text{ mm}^2$$

$$\text{Cek syarat } \left(\frac{A_{sh2}}{s} \right)_{\text{pasang}} \geq \left(\frac{A_{sh}}{s} \right)_{\min 1,2}$$

$$8,16814 \geq (8,125; 6,75) \text{ (MEMENUHI)}$$

Cek spasi

$$S_{\max, 1} = \frac{b}{4} = \frac{700}{4} = 175 \text{ mm}$$

$$S_{\max, 2} = 6 \times db = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

$$h_x = x_i \max = 300 \text{ mm}$$

$$S_{\max, 3} \text{ so} = 100 + \frac{350 - h_x}{3} = 100 + \frac{350 - 300}{3} = 116,6 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 116,6 \text{ mm}$$

$$\text{Cek syarat } s_{\max}, 100 \leq s_o \leq 150 \text{ mm}$$

$$100 \leq 116,6 \leq 150 \text{ mm (MEMENUHI)}$$

Kuat Geser Zona Sendi Plastis

Gaya Geser Desain

M_{pr} kolom, input dari hasil perhitungan $Sp \text{ Column} = 1372,178 \text{ kNm}$

$$V_{u1} = 2 \times \frac{M_{pr}}{L_n} = 2 \times \frac{1372,178}{3200} \times 1000000 = 857611,3014 \text{ N}$$

Gaya Geser Hasil Analisa Stuktur

$$V_{u2} \text{ sumbu lemah} = 680657 \text{ N}$$

$$V_{u2} \text{ sumbu kuat} = 617896 \text{ N}$$

Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

$$V_u = 857611,3014 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right) \times \sqrt{f'c'} \times b \times d$$

$$= 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right) \times \sqrt{f'c'} \times b \times (h - c_c - d_s - \frac{d_b}{2})$$

$$= 0,17 \times \left(1 + \frac{0,33}{14 \times 490000} \right) \times \sqrt{35} \times 700 \times (700 - 50 - 13 - \frac{22}{2})$$

$$= 440734 \text{ N}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{857611,3014}{0,75} - 440734 = 702748,087 \text{ N}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ perlu}} = \frac{V_s}{f_{yv} \times d} = \frac{702748,087}{280 \times 626} = 4,009 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ min } 1} = 0,062 \times \sqrt{f'c'} \times \frac{b}{f_{yv}}$$

$$= 0,062 \times \sqrt{35} \times \frac{700}{280} = 0,917 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ min } 2} = \frac{0,35 \times b}{f_{yv}} = \frac{0,35 \times 700}{280} = 0,875 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Cek persyaratan, $S_{pasang} \geq S_{maks}$

$$8,168140899 \geq \max\left(\frac{A_s}{s \text{ perlu}} : \frac{A_s}{s \text{ min } 2}\right) \text{ (MEMENUHI)}$$

Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

$$V_u = 857611,3014 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right) \times \sqrt{f'c'} \times b \times d$$

$$= 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right) \times \sqrt{f'c'} \times b \times (h - c_c - d_s - \frac{d_b}{2})$$

$$= 0,17 \times \left(1 + \frac{0,33 \times 1000}{14 \times 49000} \right) \times \sqrt{35} \times 700 \times (700 - 50 - 13 - \frac{22}{2})$$

$$= 440733,6 \text{ N}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{857611,3014}{0,75} - 440733,6 = 702748,087 \text{ N}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ perlu}} = \frac{V_s}{f_{yv} \times d} = \frac{702748,087}{280 \times 626} = 4,009 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ min } 1} = 0,062 \times \sqrt{f'c'} \times \frac{b}{f_{yv}}$$

$$= 0,062 \times \sqrt{35} \times \frac{700}{280} = 0,917 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ min } 2} = \frac{0,35 \times b}{f_{yv}} = \frac{0,35 \times 700}{280} = 0,875 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Cek persyaratan, $S_{pasang} \geq S_{maks}$

$$8,168140899 \geq \max\left(\frac{A_s}{s_{perlu}} : \frac{A_s}{s_{min\ 2}}\right) \text{ (MEMENUHI)}$$

Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Platis / Tumpuan

Jumlah kaki sisi pendek, $n_1 = 2$ buah

Jumlah kaki sisi panjang, $n_2 = 2$ buah

Spasi $s = 100$ mm

$$\begin{aligned} A_v, \text{ sumbu lemah} &= n \times \frac{\pi}{4} \times ds^2 \\ &= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 265,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v, \text{ sumbu kuat} &= n \times \frac{\pi}{4} \times ds^2 \\ &= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 265,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kekangan Luar Zona Sendi Plastis

Spasi max 1 $= 6 \times db = 6 \times 22 = 132$ mm

Spasi max 2 $= 150$ mm

Cek spasi, spasi max 1 $\geq$ spasi max 2
 $132 \geq 150$ mm (MEMENUHI)

Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

$$V_u = 680657 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g}\right) \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g}\right) \times \sqrt{f'c'} \times b \times (h - c_c - d_s - \frac{d_b}{2}) \\ &= 0,17 \times \left(1 + \frac{0,33 \times 1000}{14 \times 49000}\right) \times \sqrt{35} \times 700 \times (700 - 50 - 13 - \frac{22}{2}) \\ &= 440733,6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{680657}{0,75} - 440733,6 = 466809,018 \text{ N}$$

$$\frac{A_s}{s_{perlu}} = \frac{V_s}{f_{yv} \times d} = \frac{466809,018}{280 \times 626} = 2,6 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_s}{s_{min\ 1}} &= 0,062 \times \sqrt{f'c'} \times \frac{b}{f_{yv}} \\ &= 0,062 \times \sqrt{35} \times \frac{700}{280} = 0,917 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ min } 2} = \frac{0,35 \times b}{f_{yv}} = \frac{0,35 \times 700}{280} = 0,875 \text{ mm}^2/\text{mM}$$

Cek persyaratan, $S_{pasang} \geq S_{maks}$

$$\frac{A_v}{s} \geq \max\left(\frac{A_s}{s \text{ perlu}} : \frac{A_s}{s \text{ min } 2}\right)$$

$$\frac{265}{100} \geq \max(2,6 : 0,875)$$

$$2,65 \geq \max(2,6 : 0,875) \text{ (MEMENUHI)}$$

Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

$$V_u = 617896 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g}\right) \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g}\right) \times \sqrt{f'c'} \times b \times (h - c_c - d_s - \frac{d_b}{2}) \\ &= 0,17 \times \left(1 + \frac{0,33 \times 1000}{14 \times 49000}\right) \times \sqrt{35} \times 700 \times (700 - 50 - 13 - \frac{22}{2}) \\ &= 440733,6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{617896}{0,75} - 440733,6 = 177162,35 \text{ N}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ perlu}} = \frac{V_s}{f_{yv} \times d} = \frac{177162,35}{280 \times 626} = 1,01 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_s}{s \text{ min } 1} &= 0,062 \times \sqrt{f'c'} \times \frac{b}{f_{yv}} \\ &= 0,062 \times \sqrt{35} \times \frac{700}{280} = 0,917 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\frac{A_s}{s \text{ min } 2} = \frac{0,35 \times b}{f_{yv}} = \frac{0,35 \times 700}{280} = 0,875 \text{ mm}^2/\text{mM}$$

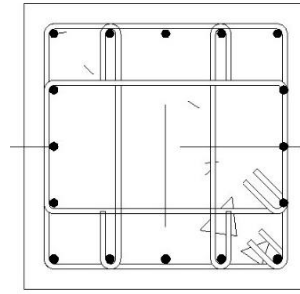
Cek persyaratan, $S_{pasang} \geq S_{maks}$

$$\frac{A_v}{s} \geq \max\left(\frac{A_s}{s \text{ perlu}} : \frac{A_s}{s \text{ min } 2}\right)$$

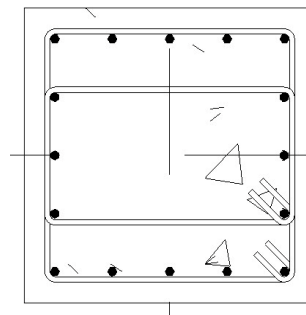
$$\frac{265}{100} \geq \max(2,6 : 0,875)$$

$$2,65 \geq \max(2,6 : 0,875) \text{ (MEMENUHI)}$$

Berikut merupakan gambar dari K1 tumpuan dan lapangan dapat dilihat pada gambar 4.13 dan 4.14 di bawah ini.



Gambar 4.13 Detail K1 Tumpuan



Gambar 4.14 Detail K1 Lapangan

Berikut merupakan hasil rekapitulasi pada struktur kolom dapat dilihat pada tabel 4.22.

Tabel 4.26 Hasil Analisa Struktur Kolom

Struktur	Tulangan Longitudinal	Tulangan Senggang	
K1 700 x 700	16 D 22	Tumpuan	4Ø13 - 65
		Lapangan	2Ø13 - 100
K2 600 x 600	12 D 22	Tumpuan	4Ø13 - 60
		Lapangan	2Ø13 - 100
K3 500 x 500	12 D 22	Tumpuan	4Ø13 - 60
		Lapangan	2Ø13 - 100

Berikut merupakan perhitungan dari kebutuhan penulangan pada balok B1.

Data Dimensi dan Material

Panjang balok	L	= 6000 mm
Lebar balok	b	= 400 mm
Tinggi balok	h	= 800 mm

Panjang tumpuan		$= 2 \times h = 1600 \text{ mm}$
Diameter tulangan longitudinal	d_b	$= 19 \text{ mm}$
Diameter tulangan pinggang	d_{bt}	$= 13 \text{ mm}$
Diameter tulangan sengkang	d_s	$= 10 \text{ mm}$
Selimut beton	cc	$= 50 \text{ mm}$
Tinggi efektif balok	d	$= h - cc - d_s - (d_b/2)$ $= 800 - 50 - 10 - (19/2)$ $= 730,5 \text{ mm}$

Kuat tekan beton	f_c'	$= 35 \text{ MPa}$
Kuat leleh tulangan longitudinal	f_y	$= 420 \text{ MPa}$
Kuat leleh tulangan transversal	f_{yv}	$= 280 \text{ MPa}$

Berdasarkan SNI 2847:2019 tabel 22.2.2.4.3. untuk $28 < f_c' < 55$ maka, β_1 yaitu

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 (F_c' - 28)}{7}$$

$$= 0,8$$

Panjang kolom	c_1	$= 700 \text{ mm}$
Lebar kolom	c_2	$= 700 \text{ mm}$
L_n		$= L - c_1$ $= 6000 - 700 = 5300 \text{ mm}$

Gaya Dalam Dari SAP2000

M_u , Tumpuan ⁽⁻⁾	$= -243,821$	kNm
M_u , Tumpuan ⁽⁺⁾	$= 150,3386$	kNm
M_u , Lapangan ⁽⁻⁾	$= 1,9526$	kNm
M_u , Tumpuan ⁽⁺⁾	$= 4,0446$	kNm
P_u	$= -215,586$	kN
V_u , Tumpuan	$= -207,068$	kN
V_u , Lapangan	$= 130,432$	kN

Perhitungan Penulangan Lentur

1. Tumpuan Negatif

Jumlah tulangan tumpuan negatif, n	$= 5$ buah
Diameter tulangan longitudinal, d_b	$= 19 \text{ mm}$

Jarak bersih antar tulangan (S_{bersih})	$= \frac{b-2cc-2ds-n \times db}{n-1}$ $= \frac{400-2(50)-2(10)-(5 \times 19)}{5-1}$ $= 46,25 \text{ mm}$
Syarat jarak bersih minimum (SNI 2847:2019 pasal 25.2.1.	$= S_{\text{bersih}} \geq db \text{ dan } 25 \text{ mm}$ $= 46,25 \text{ mm} \geq 19 \text{ mm dan } 25 \text{ mm}$ (MEMENUHI)
Jumlah lapis	$= 2$
As pasang	$= n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$ $= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 19^2$ $= 1417,6437 \text{ mm}^2$
As,min,1	$= \frac{\sqrt{f'c'}}{4 \times f_y} \times b \cdot d$ $= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 400 \times 730,5$ $= 1028,975 \text{ mm}^2$
As,min,2	$= \frac{1}{4} \times f_y \times b \times d$ $= \frac{1}{4} \times 420 \times 400 \times 730,5$ $= 974 \text{ mm}^2$
Syarat cek as min	$= As_{\text{pasang}} \geq As_{\text{min},1} \text{ dan } As_{\text{min},2}$ $= 1417,6437 \geq 1028,975 \text{ dan } 974 \text{ mm}^2$ (MEMENUHI)
ρ	$= \frac{As}{b \times d}$ $= \frac{1417,6437}{400 \times 730,5}$ $= 0,5\%$
$\rho_{\text{max},1}$	$0,75\rho_b = 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'c'}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)}$ $= 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{(600+420)}$ $= 2,5\%$
$\rho_{\text{max},2}$	$= 2,5\%$

$$\begin{aligned}
\text{Syarat cek as max} &= \rho \leq \rho_{\max} \\
&= 0,5\% \leq 2,5\% \text{ (MEMENUHI)} \\
\text{Kedalaman blok tegangan tekan, } a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_{c'} \times b} \\
&= \frac{1417,6437 \times 420}{0,85 \times 35 \times 400} \\
&= 50,03 \text{ mm} \\
\text{Kuat momen nominal, } M_n &= A_s \times f_y \times \left(d \times \frac{a}{2}\right) \\
&= 1417,6437 \times 420 \times \left(730,5 \times \frac{50,03}{2}\right) \\
&= 420,0517 \text{ kNm} \\
\text{Jarak dari serat tekan terluar beton sampai ke garis netral penampang, } c. \\
c &= \frac{a}{\beta_1} = \frac{50,03}{0,8} = 62,543 \text{ mm} \\
\text{Nilai regangan pada baja tulangan tarik, } \varepsilon_s. \\
\varepsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
&= \frac{730,5-62,543}{62,543} \times 0,003 \\
&= 0,032 \\
\text{Fakto reduksi kekuatan, } \phi. \\
\phi &= 0,65 + \frac{\varepsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\
&= 0,65 + \frac{0,032 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\
&= 3,15 \\
\text{Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2 untuk } 0,65 \leq \phi \leq 0,9 \text{ maka memakai} \\
\phi &= 0,9. \\
\phi M_n &= \phi \times M_n \\
&= 0,9 \times 420,0517 = 378,046 \text{ kNm} \\
M_u, \text{ Tumpuan}^{(-)} &= 243,821 \text{ kNm} \\
\text{Cek syarat kapasitas } \phi M_n &> M_u \\
378,046 &> 243,821 \text{ kNm (MEMENUHI)} \\
\text{As perlu} &= \frac{M_u}{(f_y \times (d - \frac{a}{2}))}
\end{aligned}$$

$$= \frac{243,821}{(420 \times (730,5 - \frac{50,03}{2}))} \times 10^6$$

$$= 822,8779 \text{ mm}^2$$

2. Tumpuan Positif

Jumlah tulangan tumpuan positif, n = 4 buah

Diameter tulangan longitudinal, db = 19 mm

Jarak bersih antar tulangan (S_{bersih}) = $\frac{b-2cc-2ds-n \times db}{n-1}$

$$= \frac{400-2(50)-2(10)-(5 \times 19)}{4-1}$$

= 68 mm

Syarat jarak bersih minimum = $S_{\text{bersih}} \geq db \text{ dan } 25 \text{ mm}$
 (SNI 2847:2019 pasal 25.2.1. = $46,25 \text{ mm} \geq 19 \text{ mm dan } 25 \text{ mm}$
(MEMENUHI)

Jumlah lapis = 2

As pasang = $n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$

$$= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 19^2$$

= 1134,1149 mm²

As,min,1 = $\frac{\sqrt{f'c'}}{4 \times f_y} \times b \cdot d$

$$= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 400 \times 730,5$$

= 1028,975 mm²

As,min,2 = $\frac{1}{4} \times f_y \times b \times d$

$$= \frac{1}{4} \times 420 \times 400 \times 730,5$$

= 974 mm²

As,min,4 = 0,5 x as tumpuan negatif

$$= 0,5 \times 1417,6437$$

= 708,821 mm²

Syarat cek as min = $As \text{ pasang} \geq (As_{\text{min},1}; As_{\text{min},4})$

$$= 1134,1149 \geq (1028,975; 708,821) \text{ mm}^2 \text{ **(MEMENUHI)**}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{As}{b \times d} \\ &= \frac{1134,115}{400 \times 730,5} \\ &= 0,388\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max,1} \quad 0,75\rho_b &= 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_{c'}}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{(600+420)} \\ &= 2,5\%\end{aligned}$$

$$\rho_{\max,2} = 2,5\%$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat cek as max} &= \rho \leq \rho_{\max} \\ &= 0,5\% \leq 2,5\% \text{ (MEMENUHI)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kedalaman blok tegangan tekan, a} &= \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_{c'} \times b} \\ &= \frac{1134,115 \times 420}{0,85 \times 35 \times 400} \\ &= 40,027 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kuat momen nominal, Mn} &= As \times f_y \times \left(d \times \frac{a}{2}\right) \\ &= 1134,115 \times 420 \times \left(730,5 \times \frac{40,027}{2}\right) \\ &= 338,427 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Jarak dari serat tekan terluar beton sampai ke garis netral penampang, c.

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{40,027}{0,8} = 50,034 \text{ mm}$$

Nilai regangan pada baja tulangan tarik, ϵ_s .

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{730,5-50,034}{50,034} \times 0,003 \\ &= 0,04\end{aligned}$$

Fakto reduksi kekuatan, ϕ .

$$\begin{aligned}\phi &= 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 0,65 + \frac{0,04 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 3,1816\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2 untuk $0,65 \leq \phi \leq 0,9$ maka memakai

$$\phi = 0,9.$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 338,427 = 304,582 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$M_{u, \text{Tumpuan}}^{(+)} = 150,3386 \text{ kNm}$$

Cek syarat kapasitas $\phi M_n > M_u$

$$304,582 > 150,3386 \text{ kNm (MEMENUHI)}$$

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \frac{150,3386}{(f_y \times (d - \frac{a}{2}))} \\ &= \frac{75,9241}{(420 \times (730,5 - \frac{40,027}{2}))} \times 10^6 \\ &= 503,80858 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

3. Lapangan Negatif

$$\text{Jumlah tulangan lapangan negatif, } n = 5 \text{ buah}$$

$$\text{Diameter tulangan longitudinal, } d_b = 19 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak bersih antar tulangan (S}_{\text{bersih}}) &= \frac{b - 2cc - 2ds - n \times d_b}{n - 1} \\ &= \frac{400 - 2(50) - 2(10) - (5 \times 19)}{5 - 1} \\ &= 46,25 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Syarat jarak bersih minimum} = S_{\text{bersih}} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm}$$

$$(\text{SNI 2847:2019 pasal 25.2.1.}) = 46,25 \text{ mm} \geq 19 \text{ mm dan } 25 \text{ mm}$$

(MEMENUHI)

$$\text{Jumlah lapis} = 1$$

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\ &= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 19^2 \\ &= 1417,6437 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As}_{\text{min},1} &= \frac{\sqrt{f'c'}}{4 \times f_y} \times b \cdot d \\ &= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 400 \times 730,5 \\ &= 1028,975 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_{s,min,2} &= \frac{1}{4} \times f_y \times b \times d \\
&= \frac{1}{4} \times 420 \times 400 \times 730,5 \\
&= 974 \text{ mm}^2 \\
A_{s,min,4} &= 0,25 \times \text{as tumpuan negatif} \\
&= 0,25 \times 1417,6437 = 354,410 \text{ mm}^2 \\
\text{Syarat cek as min} &= A_s \text{ pasang} \geq (A_{s,min,1}; A_{s,min,4}) \\
&= 1417,6437 \geq (1028,975; 354,410) \\
&\text{mm}^2 \text{ (MEMENUHI)} \\
\rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\
&= \frac{1417,6437}{400 \times 730,5} \\
&= 0,485\% \\
\rho_{max,1} &0,75\rho_b = 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_{c'}}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \\
&= 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{(600+420)} \\
&= 2,5\% \\
\rho_{max,2} &= 2,5\% \\
\text{Syarat cek as max} &= \rho \leq \rho_{max} \\
&= 0,5\% \leq 2,5\% \text{ (MEMENUHI)} \\
\text{Kedalaman blok tegangan tekan, a} &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_{c'} \times b} \\
&= \frac{1417,6437 \times 420}{0,85 \times 35 \times 400} \\
&= 50,03 \text{ mm} \\
\text{Kuat momen nominal, Mn} &= A_s \times f_y \times (d \times \frac{a}{2}) \\
&= 1417,6437 \times 420 \times (730,5 \times \frac{50,03}{2}) \\
&= 420,0517 \text{ kNm} \\
\text{Jarak dari serat tekan terluar beton sampai ke garis netral penampang, c.} \\
c &= \frac{a}{\beta_1} = \frac{50,03}{0,8} = 62,543 \text{ mm} \\
\text{Nilai regangan pada baja tulangan tarik, } \epsilon_s \\
\epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003
\end{aligned}$$

$$= \frac{730,5-62,543}{62,543} \times 0,003$$

$$= 0,032$$

Fakto reduksi kekuatan, ϕ .

$$\phi = 0,65 + \frac{\varepsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25$$

$$= 0,65 + \frac{0,032-0,002}{0,003} \times 0,25$$

$$= 0,9$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2 untuk $0,65 \leq \phi \leq 0,9$ maka memakai $\phi = 0,9$.

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 420,0517 = 378,046 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$M_u, \text{ Lapangan}^{(-)} = 1,9526 \text{ kNm}$$

Cek syarat kapasitas $\phi M_n > M_u$

$$378,046 > 1,9526 \text{ kNm (MEMENUHI)}$$

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \frac{M_u}{(f_y \times (d - \frac{a}{2}))} \\ &= \frac{1,9526}{(420 \times (730,5 - \frac{50,03}{2}))} \times 10^6 = 6,589 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

4. Lapangan Positif

$$\text{Jumlah tulangan lapangan positif, } n = 6 \text{ buah}$$

$$\text{Diameter tulangan longitudinal, } d_b = 19 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak bersih antar tulangan (S}_{\text{bersih}}) &= \frac{b - 2cc - 2ds - n \times d_b}{n - 1} \\ &= \frac{400 - 2(50) - 2(10) - (6 \times 19)}{6 - 1} \\ &= 33,2 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Syarat jarak bersih minimum} = S_{\text{bersih}} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm}$$

$$(\text{SNI 2847:2019 pasal 25.2.1.}) = 33,2 \text{ mm} \geq 19 \text{ mm dan } 25 \text{ mm}$$

(MEMENUHI)

$$\text{Jumlah lapis} = 2$$

$$\text{As pasang} = n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$$

$$\begin{aligned}
&= 6 \times \frac{\pi}{4} \times 19^2 \\
&= 1701,172 \text{ mm}^2 \\
\text{As,min,1} &= \frac{\sqrt{f'c'}}{4 \times f_y} \times b \cdot d \\
&= \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} \times 400 \times 730,5 \\
&= 1028,975 \text{ mm}^2 \\
\text{As,min,2} &= \frac{1}{4} \times f_y \times b \times d \\
&= \frac{1}{4} \times 420 \times 400 \times 730,5 \\
&= 974 \text{ mm}^2 \\
\text{As,min,4} &= 0,25 \times \text{as tumpuan negatif} \\
&= 0,25 \times 1417,6437 = 354,410 \text{ mm}^2 \\
\text{Syarat cek as min} &= \text{As pasang} \geq (\text{As,min,1}; \text{As,min,4}) \\
&= 1701,172 \geq (1028,975; 354,410) \text{ mm}^2 \text{ (MEMENUHI)} \\
\rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\
&= \frac{1701,172}{400 \times 730,5} \\
&= 0,582\% \\
\rho \text{ max,1} &0,75\rho_b = 0,75 \times 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'c'}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \\
&= 0,75 \times 0,85 \times 0,8 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{(600+420)} \\
&= 2,5\% \\
\rho \text{ max,2} &= 2,5\% \\
\text{Syarat cek as max} &= \rho \leq \rho \text{ max} \\
&= 0,5\% \leq 2,5\% \text{ (MEMENUHI)} \\
\text{Kedalaman blok tegangan tekan, a} &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'c' \times b} \\
&= \frac{1701,172 \times 420}{0,85 \times 35 \times 400} \\
&= 60,041 \text{ mm} \\
\text{Kuat momen nominal, Mn} &= A_s \times f_y \times (d \times \frac{a}{2})
\end{aligned}$$

$$= 1701,172 \times 420 \times \left(730,5 \times \frac{60,041}{2}\right)$$

$$= 500,487 \text{ kNm}$$

Jarak dari serat tekan terluar beton sampai ke garis netral penampang, c .

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{60,041}{0,8} = 75,051 \text{ mm}$$

Nilai regangan pada baja tulangan tarik, ε_s .

$$\varepsilon_s = \frac{d-c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{730,5-75,051}{75,051} \times 0,003$$

$$= 0,0261$$

Fakto reduksi kekuatan, ϕ .

$$\phi = 0,65 + \frac{\varepsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25$$

$$= 0,65 + \frac{0,0261 - 0,002}{0,003} \times 0,25$$

$$= 2,658$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2 untuk $0,65 \leq \phi \leq 0,9$ maka memakai

$$\phi = 0,9.$$

$$\phi M_n = \phi \times M_n$$

$$= 0,9 \times 500,487 = 450,438 \text{ kNm}$$

$$M_{u, \text{Tumpuan}}^{(+)} = 4,0446 \text{ kNm}$$

Cek syarat kapasitas $\phi M_n > M_u$

$$450,438 > 4,0446 \text{ kNm (MEMENUHI)}$$

$$\text{As perlu} = \frac{M_u}{(f_y \times (d - \frac{a}{2}))}$$

$$= \frac{4,0446}{(420 \times (730,5 - \frac{60,041}{2}))} \times 10^6 = 13,7477 \text{ mm}^2$$

Perhitungan Tulangan Geser

1. Tulangan Tumpuan

Gaya Desain

$$V_{g, \text{tumpuan}} = \frac{M_{\text{tumpuan}} + M_{\text{lapangan}}}{L_n}$$

$$= \frac{243,821 + 4,0446}{5300} \times 1000$$

$$\begin{aligned}
&= 46,7670 \text{ kN} \\
A_s^+ \text{ Tumpuan} &= 1134,115 \text{ mm}^2 \\
A_s^- \text{ Tumpuan} &= 1417,644 \text{ mm}^2 \\
a_{pr}^+ &= 1,25 \times a \\
&= 1,25 \times 40,027 \\
&= 50,034 \text{ mm} \\
a_{pr}^- &= 1,25 \times a \\
&= 1,25 \times 50,0344 \text{ mm} \\
&= 62,543 \text{ mm} \\
M_{pr}^+ &= A_s^+ \times (1,25f_y) \times (d - \frac{a_{pr}^+}{2}) \\
&= 1134,115 \times (1,25 \times 420) \times (730,5 - \frac{50,034}{2}) \\
&= 420051735 \text{ Nmm} \\
M_{pr}^- &= A_s^- \times (1,25f_y) \times (d - \frac{a_{pr}^-}{2}) \\
&= 1417,644 \times (1,25 \times 420) \times (730,5 - \frac{62,543}{2}) \\
&= 520409817 \text{ Nmm} \\
V_{sway} \text{ atau } V_{pr} &= (M_{pr}^+ + M_{pr}^-) / L_n \\
&= \frac{420051735 + 520409817}{5300} = 117446 \text{ N} \\
V_e &= V_g + V_{pr} \\
&= (46,7670 \times 1000) + 117446 = 224213 \text{ N}
\end{aligned}$$

Tahanan Geser Beton

$$\begin{aligned}
\text{Gaya geser gempa, } V_{pr} &= (M_{pr}^+ + M_{pr}^-) / L_n \\
&= \frac{420051735 + 520409817}{5300} \\
&= 117446 \text{ N} \\
\text{Batas setengah gaya geser desain, } \frac{1}{2} \times V_e &= \frac{1}{2} \times 224213 \\
&= 112106 \text{ N} \\
P_u &= 215586 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Batas gaya aksial tekan minimum} &= \frac{A_g \times F_{c'}}{20} \\
 &= \frac{b \times d \times f_{c'}}{20} \\
 &= \frac{400 \times 800 \times 35}{20} \\
 &= 560000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Pengecekan syarat $V_c = 0$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat 1, } V_{pr} &\geq \frac{1}{2} \times V_e \\
 117446 \text{ N} &\geq 112106 \text{ N} \text{ (MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat 2, } P_u &< \frac{A_g \times F_{c'}}{20} \\
 215586 \text{ N} &< 560000 \text{ N} \text{ (MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$

Dikarenakan kedua syarat terpenuhi, maka $V_c = 0$.

Penulangan Geser

$$\text{Jumlah kaki} = 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang, } A_v &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times D_s^2 \\
 &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 \\
 &= 314,159 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Spasi} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi max 1} = \frac{d}{4} = \frac{730,5}{4} = 182,63 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi max 2} = 6d_b = 6 \times 19 = 114 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi max 3} = 150 \text{ mm}$$

Cek syarat spasi, $\text{Spasi} \leq (\text{Spasi max 1} : \text{Spasi max 3})$

$$100 \text{ mm} \leq (182,63 : 150) \text{ (MEMENUHI)}$$

Kapasitas tahanan geser tulangan sengkang, V_s .

$$V_s = \frac{A_v \times F_{yv} \times d}{s} = \frac{314,159 \times 280 \times 730,5}{100} = 642581 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Batas } V_s &= 0,66 \times \sqrt{f_{c'}} \times b \times d \\
 &= 0,66 \times \sqrt{35} \times 400 \times 730,5 = 1140928 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75$$

Kuat geser nominal penampang, V_n .

$$V_n = V_c + V_s = 0 + 642581 = 642581 \text{ N}$$

$$\text{Gaya geser ulmitit, } V_u = 224213 \text{ N}$$

$$\frac{\phi V_n}{V_u} = \frac{0,75 \times 642581}{224213} = 2,149$$

$$\text{Cek kapasitas } \frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1 = 2,149 \geq 1 \text{ (MEMENUHI)}$$

2. Tulangan Lapangan

Penulangan Geser

$$\text{Jumlah kaki} = 3 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang, } A_v &= n \times \frac{\pi}{4} \times D_s^2 \\ &= 3 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 \\ &= 235,619 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Spasi} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi max} = \frac{d}{2} = \frac{730,5}{2} = 365,25 \text{ mm}$$

$$\text{Cek syarat spasi, } \text{Spasi} \leq \text{Spasi max}$$

$$150 \text{ mm} \leq 365,25 \text{ (MEMENUHI)}$$

$$\text{Kapasitas tahanan geser tulangan sengkang, } V_s.$$

$$V_s = \frac{A_v \times F_{yv} \times d}{s} = \frac{235,619 \times 280 \times 730,5}{150} = 321291 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{Batas } V_s &= 0,66 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{35} \times 400 \times 730,5 = 1140928 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{35} \times 400 \times 730,5 \\ &= 293875 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\text{Kuat geser nominal penampang, } V_n.$$

$$V_n = V_c + V_s = 293875 + 321291 = 615166 \text{ N}$$

$$\text{Gaya geser ulmitit, } V_u = 130432 \text{ N}$$

$$\frac{\phi V_n}{V_u} = \frac{0,75 \times 615166}{130432} = 3,537$$

$$\text{Cek kapasitas } \frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1 = 3,537 \geq 1 \text{ (MEMENUHI)}$$

Perhitungan Tulangan Torsi

$$\begin{aligned}
A_{cp} &= b \times h &= 400 \times 800 \\
&&= 320000 \text{ mm}^2 \\
P_{cp} &= 2 \times (b+h) &= 2 \times (400 + 800) \\
&&= 2400 \text{ mm} \\
X_0 &= b - 2c_c - d_s &= 400 - 2(50) - 10 \\
&&= 290 \text{ mm} \\
Y_0 &= h - 2c_c - d_s &= 800 - 2(50) - 10 \\
&&= 690 \text{ mm} \\
A_{oh} &= X_0 \times Y_0 &= 290 \times 690 \\
&&= 200100 \text{ mm}^2 \\
A_o &= 0,85 \times A_{oh} &= 0,85 \times 200100 \\
&&= 170085 \text{ mm}^2 \\
P_h &= 2 \times (X_0 + Y_0) &= 2 \times (290 + 690) \\
&&= 1960 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Gaya Dalam dari SAP2000

$$T_u = 59,0959 \text{ kNm}$$

Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi

Momen torsi retak nominal, T_{cr} .

$$\begin{aligned}
T_{cr} &= 0,33 \times \sqrt{f'c'} \times \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \\
&= 0,33 \times \sqrt{35} \times \frac{320000^2}{2400} = 83298403 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\frac{\phi \times T_{cr}}{4} = \frac{0,75 \times 83298403}{4} = 15618451 \text{ Nmm}$$

Cek apakah perlu tulangan torsi atau tidak.

$$T_u > \frac{\phi \times T_{cr}}{4}$$

$$83481800 > 15618451 \text{ Nmm (MEMBUTUHKAN TULANGAN TORSI)}$$

Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang

Jenis torsi = Kompabilitas

$$T_u \text{ Pakai} = \phi T_{cr} \text{ atau } T_u = 59095900 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 224213 \text{ N}$$

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d$$

$$= 0,17 \times \sqrt{35} \times 400 \times 730,5 = 293875 \text{ N}$$

Tegangan ultimit kombinasi akibat gaya geser dan torsi $\sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_h}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2}$

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_h}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{224213}{400 \times 730,5}\right)^2 + \left(\frac{59095900 \times 1960}{1,7 \times 200100^2}\right)^2}$$

$$= 1,867 \text{ MPa}$$

Kapasitas tegangan beton $= \phi \left[\frac{V_c}{b \times d} + 0,66 \times \sqrt{f'c'} \right]$

$$= 0,75 \left[\frac{293875}{400 \times 730,5} + 0,66 \times \sqrt{35} \right] = 3,683 \text{ MPa}$$

Cek dimensi penampang

Tegangan ultimit kombinasi akibat gaya geser dan torsi < Kapasitas tegangan beton. $1,996 < 3,683 \text{ MPa}$ (**MEMENUHI**).

$$\frac{f_y}{f_{yt}} = 1$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.6.1 θ diambil untuk balok komponen struktur non prategang $= 45^\circ$

Penulangan Transversal Torsi

n kaki tumpuan $= 4$ buah

n kaki lapangan $= 3$ buah

s tumpuan $= 100 \text{ mm}$

s lapangan $= 150 \text{ mm}$

s max 1 $= \frac{P_h}{8} = \frac{1960}{8} = 245 \text{ mm}$

s max 2 $= 300 \text{ mm}$

Pengecekan spasi tumpuan, $s \text{ tumpuan} \geq (s \text{ max } 1 : s \text{ max } 2)$.

$100 \geq (245:300) \text{ mm}$ (**MEMENUHI**).

Pengecekan spasi lapangan, $s \text{ lapangan} \geq (s \text{ max } 1 : s \text{ max } 2)$.

$150 \geq (245:300) \text{ mm}$ (**MEMENUHI**).

Rasio luas tulangan sengkang kombinasi terpasang, $\frac{A_{v+t}}{s \text{ tumpuan}}$.

$$\frac{A_{v+t}}{s} = \frac{4 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2}{s} = \frac{4 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2}{100} = 3,142 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Rasio luas tulangan sengkang kombinasi terpasang, $\frac{A_{v+t}}{s \text{ lapangan}}$.

$$\frac{A_{v+t}}{s} = \frac{n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2}{s} = \frac{3 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2}{150} = 1,571 \text{ mm}^2/\text{mm}.$$

Kebutuhan luas sengkang torsi per satuan jarak, $\frac{A_t}{s}$.

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_u}{2 \times \phi \times A_o \times f_{yv}} = \frac{59095900}{2 \times 0,75 \times 170085 \times 280} = 0,827 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_v}{s \text{ tumpuan perlu}} = \frac{\left(\frac{V_u \text{ tumpuan}}{\phi} - V_c \right)}{f_{yv} \times d} = \frac{\left(\frac{224213}{0,75} - 0 \right)}{280 \times 730,5} = 1,462 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_v}{s \text{ lapangan perlu}} = \frac{\left(\frac{V_u \text{ lapangan}}{\phi} - V_c \right)}{f_{yv} \times d} = \frac{\left(\frac{130432}{0,75} - 293875 \right)}{280 \times 730,5} = -0,587 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_{v+t}}{s \text{ tumpuan perlu}} = 2 \left(\frac{A_t}{s} \right) + \frac{A_v}{s} = 2 (0,827) + 1,462 = 3,116$$

$$\frac{A_{v+t}}{s \text{ lapangan perlu}} = 2 \left(\frac{A_t}{s} \right) + \frac{A_v}{s} = 2 (0,827) + (-0,587) = 1,068$$

$$\frac{A_{v+t}}{s \text{ min } 1} = 0,062 \times \sqrt{f'c} \times \frac{b}{f_{yv}} = 0,062 \times \sqrt{35} \times \frac{400}{280} = 0,524$$

$$\frac{A_{v+t}}{s \text{ min } 2} = 0,35 \times \frac{b}{f_{yv}} = 0,35 \times \frac{400}{280} = 0,5$$

Cek geser + torsi tumpuan

$$= \frac{A_{v+t}}{s \text{ tumpuan}} \geq \frac{A_{v+t}}{s \text{ tumpuan perlu}}, \frac{A_{v+t}}{s \text{ min } 1}, \frac{A_{v+t}}{s \text{ min } 2}$$

$$= 3,142 \geq 3,116; 0,524; 0,5 \text{ (MEMENUHI)}$$

Cek geser + torsi lapangan

$$= \frac{A_{v+t}}{s \text{ lapangan}} \geq \frac{A_{v+t}}{s \text{ lapangan perlu}}, \frac{A_{v+t}}{s \text{ min } 1}, \frac{A_{v+t}}{s \text{ min } 2}$$

$$= 1,571 \geq 1,068; 0,524; 0,5 \text{ (MEMENUHI)}$$

Penulangan Longitudinal Torsi

$$\text{dbt} = 13 \text{ mm}$$

$$\text{db, min} = 0,042 \times s = 0,042 \times 150 = 6,3 \text{ mm}$$

$$\text{Cek syarat db} = \text{db} \geq \text{db, min} (13 \geq 6,3 \text{ mm}) \text{ MEMENUHI}$$

$$\text{As perlu tumpuan atas} = 822,878 \text{ mm}^2$$

$$\text{As perlu tumpuan bawah} = 503,809 \text{ mm}^2$$

As perlu lapangan atas = 6,590mm²

As perlu lapangan bawah = 13,748 mm²

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times P_h = 0,827 \times 1960 = 161,430 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_l \text{ min} &= 0,42 \times \sqrt{f'c'} \times \frac{A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s}\right) \times P_h \\ &= 0,42 \times \sqrt{35} \times \frac{320000}{420} - (0,827) \times 1960 = 271,716 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_s + A_l$ Perlu Tumpuan = 2948,116 mm²

$A_s + A_l$ Perlu Lapangan = 1641,767 mm²

n tumpuan atas = 5 buah

n tumpuan tengah = 4 buah

n tumpuan bawah = 4 buah

n tumpuan vertikal = 2 + n Tengah / 2 = 4 buah

n lapangan atas = 5 buah

n lapangan tengah = 4 buah

n lapangan bawah = 6 buha

n lapangan vertikal = 2 + n Tengah / 2 = 4 buah

$$\begin{aligned} \text{Spasi horizontal tumpuan} &= \frac{b-2cc-2ds-db}{\min(n \text{ atas}, n \text{ bawah})-1} \\ &= \frac{400-2(50)-2(10)-19}{4-1} = 87 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi vertikal tumpuan} &= \frac{h-2cc-2ds-db}{n \text{ vertikal}-1} \\ &= \frac{800-2(50)-2(10)-19}{3} = 220 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi horizontal lapangan} &= \frac{b-2cc-2ds-db}{\min(n \text{ atas}, n \text{ bawah})-1} \\ &= \frac{400-2(50)-2(10)-19}{5-1} = 65 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi vertikal lapangan} &= \frac{h-2cc-2ds-db}{n \text{ vertikal}-1} \\ &= \frac{800-2(50)-2(10)-19}{3} = 220 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek Spasi Tulangan Longitudinal Tumpuan.

Spasi horizontal, vertikal ≥ 300 mm

87 dan 220 ≥ 300 mm (**MEMENUHI**)

Cek Spasi Tulangan Longitudinal Lapangan

Spasi horizontal, vertikal ≥ 300 mm

65 dan 220 ≥ 300 mm (**MEMENUHI**)

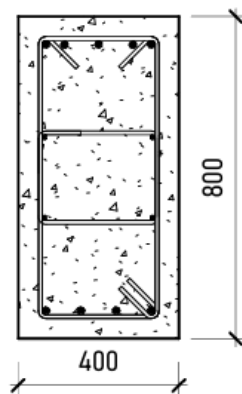
$$A_s + A_l \text{ pasang tumpuan} = ((n \text{ tumpuan atas} + n \text{ tumpuan bawah}) \times \frac{\pi}{4} \times db^2) + (n \text{ tumpuan tengah} \times \frac{\pi}{4} \times db^2) = 3082,688 \text{ mm}^2$$

$$A_s + A_l \text{ pasang lapangan} = ((n \text{ lapangan atas} + n \text{ lapangan bawah}) \times \frac{\pi}{4} \times db^2) + (n \text{ lapangan tengah} \times \frac{\pi}{4} \times db^2) = 3649,745 \text{ mm}^2$$

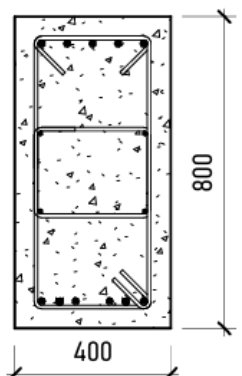
$$\begin{aligned} \text{Cek lentur} + \text{torsi tumpuan} &= A_s + A_l \text{ Pasang} \geq A_s + A_l \text{ Perlu} \\ &= 3082,688 \geq 2948,116 \text{ mm}^2 \text{ **MEMENUHI**} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek lentur} + \text{torsi lapangan} &= A_s + A_l \text{ Pasang} \geq A_s + A_l \text{ Perlu} \\ &= 3649,745 \geq 1641,767 \text{ mm}^2 \text{ **MEMENUHI**} \end{aligned}$$

Berikut merupakan detail dari penulangan dari struktur balok B1 dapat dilihat pada gambar 4.13 dan 4.14.



Gambar 4.15 Detail B1 Tumpuan



Gambar 4.16 Detail B1 Lapangan

Berikut merupakan hasil rekapitulasi struktur balok dapat dilihat pada tabel 4.23.

Tabel 4.27 Hasil Analisa Struktur Balok

Struktur	Tipe	Tulangan Longitudinal			Sengkang
		Atas	Tengah	Bawah	
B1 400 x 800	Tumpuan	5 D 19	4 D 13	4 D 19	4Ø10-100
	Lapangan	5 D 19	4 D 13	6 D 19	3Ø10-150
B2 350 x 700	Tumpuan	4 D 19	4 D 13	3 D 19	4Ø10-100
	Lapangan	4 D 19	4 D 13	5 D 19	2Ø10-150
B3 250 x 500	Tumpuan	4 D 13	4 D 13	3 D 13	2Ø10-50
	Lapangan	3 D 13	4 D 13	4 D 13	2Ø10-150
B5 200 x 400	Tumpuan	2 D 13	2 D 13	2 D 13	2Ø10-50
	Lapangan	2 D 13	2 D 13	2 D 13	2Ø10-75

Berikut merupakan hasil perhitungan dari plat lantai $t = 12$ cm.

Data Dimensi dan Material

Panjang plat arah sumbu 1	L1	= 6000 mm
Panjang plat arah sumbu 2	L2	= 6000 mm
Tebal plat	t	= 120 mm
Diamater tulangan	db	= 14 mm
Selimut bersih	cc	= 20 mm
Tebal efektif penampang	d	= $h - c_c - d_s - d_b/2$ = 79 mm
Kuat tekan beton	fc'	= 35 MPa
Kuat leleh tulangan	fy	= 420 MPa
Modulus elastisitas beton	Ec	= 27805,575

Berdasarkan SNI 2847:2019 tabel 22.2.2.4.3. untuk $28 < f_c' < 55$ maka, β_1 yaitu

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 (F_c' - 28)}{7}$$

$$= 0,8$$

Gaya Dalam

M max akibat M11 max	= 8,9467 kNm
M min akibat M11 min	= -24,0238 kNm
M max akibat M22 max	= 9,3542 kNm

$$M_{\text{min akibat M22 min}} = -20,4015 \text{ kNm}$$

$$V_u = 65,02 \text{ kN}$$

Penulangan Lentur Per Meter Lari

Momen Positif M11 Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu X

$$\text{Spasi tulangan } s = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi maksimum } s_{\text{max}} = 2 \times t = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek spasi maksimum} &= s \leq s_{\text{max}} \\ &= 200 \leq 240 \text{ mm (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan negatif tumpuan, } n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{200} = 5$$

$$\text{Diameter tulangan longitudinal } d_b = 14 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak bersih antar tulangan} = s - d_b = 200 - 14 = 186 \text{ mm}$$

Cek jarak bersih

$$\text{Jarak bersih} \geq d_b \text{ dan } 25 \text{ mm}$$

$$186 \geq 14 \text{ dan } 25 \text{ mm (MEMENUHI)}$$

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\ &= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 14^2 = 769,6902 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As}_{\text{min}} (f_y < 420 \text{ MPa}) &= 0,2\% \times b \times t \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 120 = 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As}_{\text{min}} (f_y \geq 420 \text{ MPa}) &= \left(0,18\% \times \frac{420}{f_y}\right) \times b \times t \\ &= \left(0,18\% \times \frac{420}{420}\right) \times 1000 \times 120 = 216 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As}_{\text{min}} (f_y \geq 420 \text{ MPa}) &= 0,14\% \times b \times t \\ &= 0,14\% \times 1000 \times 120 = 168 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Maka untuk As}_{\text{min}} (f_y \geq 420 \text{ MPa}) = 216 \text{ mm}$$

Cek as min

$$\text{As pasang} \geq \text{As}_{\text{min}}$$

$$769,6902 \geq (240; 216; 168) \text{ (MEMENUHI)}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi blok beton } a &= \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{769,6902 \times 420}{0,85 \times 420 \times 1000} = 10,8662 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kapasitas lentur	M_n	$= A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2})$ $= 769,6902 \times 420 \times (79 - \frac{10,8662}{2})$ $= 23,781 \text{ kNm}$
Lokasi garis netral	c	$= \frac{a}{\beta_1}$ $= \frac{10,8662}{0,8} = 13,583 \text{ mm}$
Regangan tulangan tarik	ϵ_s	$= \left(\frac{d-c}{c} \right) \times 0,003$ $= \left(\frac{79-13,583}{13,583} \right) \times 0,003$ $= 0,0144$

Fakto reduksi kekuatan, ϕ .

$$\begin{aligned} \phi &= 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 0,65 + \frac{0,0144 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 3,1816 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2 untuk $0,65 \leq \phi \leq 0,9$ maka memakai $\phi = 0,9$.

Kapasitas lentur tereduksi	ϕM_n	$= \phi \times M_n$ $= 0,9 \times 23,781 = 21,403 \text{ kNm}$
Momen ultimit	M_u	$= 8,9467 \text{ kNm}$
Cek kapasitas	$\phi M_n > M_u$	$21,403 > 8,9467 \text{ kNm (MEMENUHI)}$

Momen Positif M11 Tulangan Tumpuan Atas Arah Sumbu X

Spasi tulangan	s	$= 150 \text{ mm}$
Spasi maksimum	$s_{\max}$	$= 2 \times t = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$
Cek spasi maksimum		$= s \leq s_{\max}$ $= 150 \leq 240 \text{ mm (MEMENUHI)}$
Jumlah tulangan negatif tumpuan,	n	$= \frac{b}{s} = \frac{1000}{150} = 6,6667$
Diameter tulangan longitudinal	db	$= 14 \text{ mm}$
Jarak bersih antar tulangan		$= s - db = 150 - 14 = 136 \text{ mm}$
Cek jarak bersih		

Jarak bersih $\geq db$ dan 25 mm

$136 \geq 14$ dan 25 mm **(MEMENUHI)**

Jumlah lapis = 2

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= x \frac{\pi}{4} \times db^2 \\ &= 6,667 \times \frac{\pi}{4} \times 14^2 = 1026,2536 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As}_{\min} (f_y < 420 \text{ MPa}) &= 0,2\% \times b \times t \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 120 = 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As}_{\min} (f_y \geq 420 \text{ MPa}) &= \left(0,18\% \times \frac{420}{f_y}\right) \times b \times t \\ &= \left(0,18\% \times \frac{420}{420}\right) \times 1000 \times 120 = 216 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As}_{\min} (f_y \geq 420 \text{ MPa}) &= 0,14\% \times b \times t \\ &= 0,14\% \times 1000 \times 120 = 168 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka untuk $\text{As}_{\min} (f_y \geq 420 \text{ MPa}) = 216 \text{ mm}$

Cek as min

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &\geq \text{As}_{\min} \\ 1026,2536 &\geq (240; 216; 168) \text{ **(MEMENUHI)**} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi blok beton} \quad a &= \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1026,2536 \times 420}{0,85 \times 420 \times 1000} = 14,488 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas lentur} \quad M_n &= As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 1026,2536 \times 420 \times \left(79 - \frac{14,488}{2}\right) \\ &= 30,9286 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lokasi garis netral} \quad c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{14,488}{0,8} = 18,110 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan tulangan tarik} \quad \epsilon_s &= \left(\frac{d-c}{c}\right) \times 0,003 \\ &= \left(\frac{79-18,110}{18,110}\right) \times 0,003 \\ &= 0,010086 \end{aligned}$$

Fakto reduksi kekuatan, ϕ .

$$\begin{aligned}\phi &= 0,65 + \frac{\varepsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 0,65 + \frac{0,04 - 0,002}{0,003} \times 0,25 \\ &= 3,1816\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2 untuk $0,65 \leq \phi \leq 0,9$ maka memakai $\phi = 0,9$.

Kapasitas lentur tereduksi	$\phi M_n = \phi \times M_n$
	$= 0,9 \times 30,9286 = 27,835 \text{ kNm}$
Momen ultimit	$M_u = 24,0238 \text{ kNm}$
Cek kapasitas	$\phi M_n > M_u$
	$27,835 > 24,0238 \text{ kNm (MEMENUHI)}$

Momen Positif M22 Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu Y

Spasi tulangan	$s = 200 \text{ mm}$
Spasi maksimum	$s_{\max} = 2 \times t = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$
Cek spasi maksimum	$s \leq s_{\max}$
	$200 \leq 240 \text{ mm (MEMENUHI)}$
Jumlah tulangan negatif tumpuan,	$n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{200} = 5$
Diameter tulangan longitudinal	$d_b = 14 \text{ mm}$
Jarak bersih antar tulangan	$= s - d_b = 200 - 14 = 186 \text{ mm}$
Cek jarak bersih	
Jarak bersih $\geq d_b$ dan 25 mm	
$186 \geq 14$ dan 25 mm	(MEMENUHI)
Jumlah lapis	$= 2$
As pasang	$= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$
	$= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 14^2 = 769,6902 \text{ mm}^2$
As _{min} ($f_y < 420 \text{ MPa}$)	$= 0,2\% \times b \times t$
	$= 0,2\% \times 1000 \times 120 = 240 \text{ mm}$
As _{min} ($f_y \geq 420 \text{ MPa}$)	$= (0,18\% \times \frac{420}{f_y}) \times b \times t$

$$= (0,18\% \times \frac{420}{420}) \times 1000 \times 120 = 216 \text{ mm}$$

$A_{s \text{ min}}$ ($f_y \geq 420 \text{ MPa}$)

$$= 0,14\% \times b \times t$$

$$= 0,14\% \times 1000 \times 120 = 168 \text{ mm}$$

Maka untuk $A_{s \text{ min}}$ ($f_y \geq 420 \text{ MPa}$) = 216 mm

Cek $a_{s \text{ min}}$

$A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ min}}$

769,6902 $\geq$ (240;216;168) (**MEMENUHI**)

Tinggi blok beton

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$= \frac{769,6902 \times 420}{0,85 \times 420 \times 1000} = 10,8662 \text{ mm}$$

Kapasitas lentur

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - d_b - \frac{a}{2})$$

$$= 769,6902 \times 420 \times (79 - 14 - \frac{10,8662}{2})$$

$$= 19,256 \text{ kNm}$$

Lokasi garis netral

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{10,8662}{0,8} = 13,583 \text{ mm}$$

Regangan tulangan tarik

$$\epsilon_s = \left(\frac{d-c}{c} \right) \times 0,003$$

$$= \left(\frac{79-13,583}{13,583} \right) \times 0,003$$

$$= 0,0144$$

Fakto reduksi kekuatan, ϕ .

$$\phi = 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25$$

$$= 0,65 + \frac{0,04 - 0,002}{0,003} \times 0,25$$

$$= 3,1816$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2 untuk $0,65 \leq \phi \leq 0,9$ maka memakai

$\phi = 0,9$.

Kapasitas lentur tereduksi

$$\phi M_n = \phi \times M_n$$

$$= 0,9 \times 19,256 = 17,330 \text{ kNm}$$

Momen ultimit

$$M_u = 9,3542 \text{ kNm}$$

Cek kapasitas

$$\phi M_n > M_u$$

$$17,330 > 9,3542 \text{ kNm (MEMENUHI)}$$

Momen Positif M22 Tulangan Tumpuan Atas Arah Sumbu Y

$$\text{Spasi tulangan} \quad s = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi maksimum} \quad s_{\max} = 2 \times t = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek spasi maksimum} \quad &= s \leq s_{\max} \\ &= 150 \leq 240 \text{ mm (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan negatif tumpuan,} \quad n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{150} = 6,6667$$

$$\text{Diameter tulangan longitudinal} \quad db = 14 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak bersih antar tulangan} \quad = s - db = 150 - 14 = 136 \text{ mm}$$

Cek jarak bersih

$$\text{Jarak bersih} \geq db \text{ dan } 25 \text{ mm}$$

$$136 \geq 14 \text{ dan } 25 \text{ mm (MEMENUHI)}$$

$$\text{Jumlah lapis} = 2$$

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times db^2 \\ &= 6,667 \times \frac{\pi}{4} \times 14^2 = 1026,2536 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As}_{\min} (f_y < 420 \text{ MPa}) &= 0,2\% \times b \times t \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 120 = 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As}_{\min} (f_y \geq 420 \text{ MPa}) &= \left(0,18\% \times \frac{420}{f_y}\right) \times b \times t \\ &= \left(0,18\% \times \frac{420}{420}\right) \times 1000 \times 120 = 216 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As}_{\min} (f_y \geq 420 \text{ MPa}) &= 0,14\% \times b \times t \\ &= 0,14\% \times 1000 \times 120 = 168 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Maka untuk As}_{\min} (f_y \geq 420 \text{ MPa}) = 216 \text{ mm}$$

Cek as min

$$\text{As pasang} \geq \text{As}_{\min}$$

$$1026,2536 \geq (240; 216; 168) \text{ (MEMENUHI)}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi blok beton} \quad a &= \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1026,2536 \times 420}{0,85 \times 420 \times 1000} = 14,488 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Kapasitas lentur} \quad Mn = As \times f_y \times \left(d - db - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 1026,2536 \times 420 \times (79 - 14 - \frac{10,8662}{2})$$

$$= 24,894 \text{ kNm}$$

Lokasi garis netral c $= \frac{a}{\beta_1}$

$$= \frac{14,488}{0,8} = 18,110 \text{ mm}$$

Regangan tulangan tarik ϵ_s $= \left(\frac{d-c}{c} \right) \times 0,003$

$$= \left(\frac{79-18,110}{18,110} \right) \times 0,003$$

$$= 0,010086$$

Fakto reduksi kekuatan, ϕ .

$$\phi = 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25$$

$$= 0,65 + \frac{0,04 - 0,002}{0,003} \times 0,25$$

$$= 3,1816$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2 untuk $0,65 \leq \phi \leq 0,9$ maka memakai $\phi = 0,9$.

Kapasitas lentur tereduksi $\phi M_n = \phi \times M_n$

$$= 0,9 \times 24,894 = 22,4048 \text{ kNm}$$

Momen ultimit $M_u = 20,4015 \text{ kNm}$

Cek kapasitas $\phi M_n > M_u$

$$22,4048 > 20,4015 \text{ kNm (MEMENUHI)}$$

Tulangan Minimum (Tumpuan Bawah dan Lapangan Atas, Arah X dan Y)

Spasi tulangan $s = 200 \text{ mm}$

Spasi maksimum $s_{\max} = 2 \times t = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$

Cek spasi maksimum $= s \leq s_{\max}$

$$= 200 \leq 240 \text{ mm (MEMENUHI)}$$

Jumlah tulangan negatif tumpuan, $n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{200} = 5$

Diameter tulangan longitudinal $db = 14 \text{ mm}$

Jarak bersih antar tulangan $= s - db = 200 - 14 = 186 \text{ mm}$

Cek jarak bersih

Jarak bersih $\geq db$ dan 25 mm

$186 \geq 14$ dan 25 mm (**MEMENUHI**)

Jumlah lapis $= 2$

As pasang $= n \times \frac{\pi}{4} \times db^2$
 $= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 14^2 = 769,6902 \text{ mm}^2$

As_{min} ($f_y < 420 \text{ MPa}$) $= 0,2\% \times b \times t$
 $= 0,2\% \times 1000 \times 120 = 240 \text{ mm}$

As_{min} ($f_y \geq 420 \text{ MPa}$) $= (0,18\% \times \frac{420}{f_y}) \times b \times t$
 $= (0,18\% \times \frac{420}{420}) \times 1000 \times 120 = 216 \text{ mm}$

As_{min} ($f_y \geq 420 \text{ MPa}$) $= 0,14\% \times b \times t$
 $= 0,14\% \times 1000 \times 120 = 168 \text{ mm}$

Maka untuk As_{min} ($f_y \geq 420 \text{ MPa}$) $= 216 \text{ mm}$

Cek as min

As pasang $\geq$ As min

769,6902 $\geq$ (240;216;168) (**MEMENUHI**)

Pengecekan Kapasitas Geser

Kapasitas geser beton $V_c = 0,17 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d$
 $= 0,17 \times \sqrt{35} \times 1000 \times 79 = 79,453 \text{ kN}$

Faktor reduksi $\phi = 0,75$

Ambang batas geser plat $= 0,5 \phi V_c = 29,795 \text{ kN}$

Pengecekan kebutuhan tulangan geser pelat

$V_u > 0,5 \phi V_c$

65,01 $> 29,795 \text{ kN}$ **MEMERLUKAN TULANGAN GESER PELAT**

Lendutan Plat

Momen inersia plat $I_g = 0,5 \times b \times t^3$
 $= 864000000 \text{ mm}^4$

Tegangan retak $f_r = 0,62 \times \sqrt{f'c'}$
 $= 0,62 \times \sqrt{35} = 3,667 \text{ MPa}$

Garis netral $y = \frac{t}{2} = 60 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas retak lentur} \quad M_{cr} &= f_r \times \frac{I_g}{y} \\
 &= 3,667 \times \frac{864000000}{60} \\
 &= 52,518 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Momen inersia retak} \quad I_{cr} = 0,25 \times I_g$$

Lendutan arah sumbu 1

$$M_{11} \text{ max akibat DL} = 3,8685 \text{ kNm}$$

$$M_{11} \text{ min akibat DL} = -7,7981 \text{ kNm}$$

$$M_{11} \text{ max akibat SDL} = 2,7608 \text{ kNm}$$

$$M_{11} \text{ min akibat SDL} = -8,2756 \text{ kNm}$$

$$M_{11} \text{ max akibat LL} = 1,134 \text{ kNm}$$

$$M_{11} \text{ min akibat LL} = -2,2467 \text{ kNm}$$

$$M_a \text{ lapangan (+)} \quad \sum M_{11} \text{ max} = 7,7633 \text{ kNm}$$

$$M_a \text{ tumpuan (-)} \quad \sum M_{11} \text{ min} = -2,2467 \text{ kNm}$$

$$M_{cr} / M_a \text{ lapangan} = 6,893$$

$$M_{cr} / M_a \text{ tumpuan} = 2,88$$

$$\begin{aligned}
 I_{e \text{ lapangan}} &= \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} < I_g \\
 &= 864000000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{e \text{ tumpuan}} &= \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} < I_g \\
 &= 864000000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{e \text{ rata-rata}} &= 0,5 I_{e \text{ tumpuan}} + 0,5 I_{e \text{ lapangan}} \\
 &= 864000000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

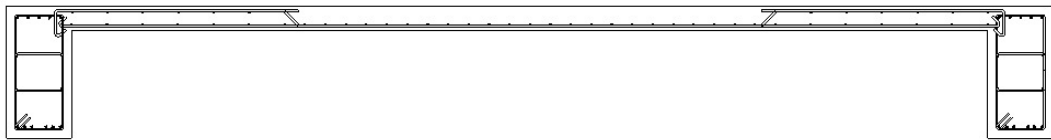
$$\begin{aligned}
 \text{Lendutan seketika akibat DL, } \delta_{i, DL} &= \frac{5}{48} \times \frac{L^2}{E_c \times I_g} \times [M_{lap} + 0,2 M_{tum}] \\
 &= \frac{5}{48} \times \frac{6000^2}{27805,575 \times 864000000} \times [3,8685 + \\
 &\quad 0,2(7,7981)] \\
 &= 0,847 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Lendutan seketika akibat SDL, } \delta_{i, DL} = \frac{5}{48} \times \frac{L^2}{E_c \times I_g} \times [M_{lap} + 0,2 M_{tum}]$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{5}{48} \times \frac{6000^2}{27805,575 \times 864000000} \times [2,7608 + 0,2(8,2756)] \\
&= 0,689 \text{ mm} \\
\text{Lendutan seketika akibat LL, } \delta_{i, DL} &= \frac{5}{48} \times \frac{L^2}{E_c \times I_g} \times [M_{lap} + 0,2M_{tum}] \\
&= \frac{5}{48} \times \frac{6000^2}{27805,575 \times 864000000} \times [1,134 + 0,2(2,2467)] \\
&= 0,247 \text{ mm} \\
\text{Syarat lendutan seketika LL} &= \frac{L}{360} = \frac{6000}{360} = 16,667 \text{ mm} \\
\text{Cek lendutan seketika} & \\
\text{Lendutan seketika akibat LL, } \delta_{i, DL} &< \text{Syarat lendutan seketika LL} \\
0,247 \text{ mm} &< 16,667 \text{ mm} \text{ (MEMENUHI)} \\
\text{Faktor jangka panjang } \lambda &= \frac{2}{(1 + (50 \times \rho'))} \\
&= \frac{2}{1 + (50 \times (\frac{769,6902}{1000 \times 79}))} = 1,344 \\
\text{Lendutan Jangka Panjang, } \Delta_{LT} &= (\delta_{i, DL} + \text{SIDL}) \times \lambda + \delta_{i, LL} \\
&= (0,847 + 0,689) \times 1,344 + 0,247 \\
&= 2,31 \\
\text{Syarat lendutan jangka panjang} &= \frac{L}{240} = 25 \text{ mm} \\
\text{Cek lendutan jangka panjang} & \\
\text{Lendutan Jangka Panjang, } \Delta_{LT} &\leq \text{Syarat lendutan jangka panjang} \\
2,31 &\leq 25 \text{ mm (MEMENUHI)} \\
\textbf{Lendutan arah sumbu 2} & \\
\text{M22 max akibat DL} &= 3,193 \text{ kNm} \\
\text{M22 min akibat DL} &= -7,783 \text{ kNm} \\
\text{M22 max akibat SDL} &= 3,487 \text{ kNm} \\
\text{M22 min akibat SDL} &= -6,277 \text{ kNm} \\
\text{M22 max akibat LL} &= 0,864 \text{ kNm} \\
\text{M22 min akibat LL} &= -2,574 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_a \text{ lapangan (+)} \quad \Sigma M_{22} \text{ max} &= 7,544 \text{ kNm} \\
M_a \text{ tumpuan (-)} \quad \Sigma M_{22} \text{ min} &= -16,63 \text{ kNm} \\
M_{cr} / M_a \text{ lapangan} &= 7,001 \\
M_{cr} / M_a \text{ tumpuan} &= 3,175 \\
I_e \text{ lapangan} &= \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} < I_g \\
&= 864000000 \text{ mm}^4 \\
I_e \text{ tumpuan} &= \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} < I_g \\
&= 864000000 \text{ mm}^4 \\
I_e \text{ rata-rata} &= 0,5 I_e \text{ tumpuan} + 0,5 I_e \text{ lapangan} \\
&= 864000000 \text{ mm}^4 \\
\text{Lendutan seketika akibat DL, } \delta_{i, DL} &= \frac{5}{48} \times \frac{L^2}{E_c \times I_g} \times [M_{lap} + 0,2M_{tum}] \\
&= \frac{5}{48} \times \frac{6000^2}{27805,575 \times 864000000} \times [3,193 + 0,2(7,7839)] \\
&= 0,741 \text{ mm} \\
\text{Lendutan seketika akibat SDL, } \delta_{i, DL} &= \frac{5}{48} \times \frac{L^2}{E_c \times I_g} \times [M_{lap} + 0,2M_{tum}] \\
&= \frac{5}{48} \times \frac{6000^2}{27805,575 \times 864000000} \times [3,487 + 0,2(6,277)] \\
&= 0,740 \text{ mm} \\
\text{Lendutan seketika akibat LL, } \delta_{i, DL} &= \frac{5}{48} \times \frac{L^2}{E_c \times I_g} \times [M_{lap} + 0,2M_{tum}] \\
&= \frac{5}{48} \times \frac{6000^2}{27805,575 \times 864000000} \times [0,864 + 0,2(2,574)] \\
&= 0,215 \text{ mm} \\
\text{Syarat lendutan seketika LL} &= \frac{L}{360} = \frac{6000}{360} = 16,667 \text{ mm} \\
\text{Cek lendutan seketika} & \\
\text{Lendutan seketika akibat LL, } \delta_{i, DL} &< \text{Syarat lendutan seketika LL} \\
0,215 \text{ mm} &< 16,667 \text{ mm (MEMENUHI)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor jangka panjang } \lambda &= \frac{2}{(1 + (50 \times \rho'))} \\
 &= \frac{2}{1 + (50 \times (\frac{769,6902}{1000 \times 79}))} = 1,344 \\
 \text{Lendutan Jangka Panjang, } \Delta_{LT} &= (\delta_{i, DL} + \text{SIDL}) \times \lambda + \delta_{i, LL} \\
 &= (0,741 + 0,740) \times 1,344 + 0,215 = 2,207 \\
 \text{Syarat lendutan jangka panjang} &= \frac{L}{240} = 25 \text{ mm} \\
 \text{Cek lendutan jangka panjang} \\
 \text{Lendutan Jangka Panjang, } \Delta_{LT} &\leq \text{Syarat lendutan jangka panjang} \\
 2,207 &\leq 25 \text{ mm (MEMENUHI)}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.17 Struktur Plat

Tabel 4.28 Hasil Analisa Struktur Plat

Jenis Plat	Posisi	Penulangan
Plat t = 150 mm	Tulangan lapangan bawah arah x	D14-250
	Tulangan tumpuan atas arah x	D14-250
	Tulangan lapangan bawah arah y	D14-250
	Tulangan tumpuan atas arah y	D14-250
Plat t = 120 mm	Tulangan lapangan bawah arah x	D14-150
	Tulangan tumpuan atas arah x	D14-150
	Tulangan lapangan bawah arah y	D14-150
	Tulangan tumpuan atas arah y	D14-150
Plat atap	Tulangan lapangan bawah arah x	D14-100
	Tulangan tumpuan atas arah x	D14-100
	Tulangan lapangan bawah arah y	D14-100
	Tulangan tumpuan atas arah y	D14-80

Berikut merupakan perhitungan dari tangga utama.

1. Data Bahan Tangga

Mutu beton $f_c' = 35 \text{ MPa}$

Kuat leleh baja tulangan polos	f_y	= 420 MPa
Kuat leleh baja tulangan <i>deform</i>	f_y	= 420 MPa
Berat beton bertulang	W_c	= 24 kN/m ³
Berat pasir		= 16 kN/m ³
Berat semen		= 21 kN/m ³
Berat keramik		= 24 kN/m ³
Berat <i>railing</i> tangga		= 0,5 kN/m ³

2. Data Perencanaan Desain

Fungsi bangunan		= Gedung sekolah
Tinggi tangga keseluruhan		= 4 m
Panjang ruang tangga		= 6 m
Lebar anak tangga		= 3,6 m
Lebar bordes		= 2,4 m
Ketinggian bordes		= 2 m
Langkah datar 30 cm	L_d	= 0,3 m
Langkah naik 16 cm	L_n	= 0,16 m
Beban hidup		= 2,5 kN/m ²
Lebar tangga 1 trap		= 1,2 m
Cek syarat	$57 < 2 L_n + L_d = 0,62 \text{ m} = 62 \text{ cm} < 65$ (MEMENUHI)	
Jumlah langkah naik	$= \frac{h}{L_n} = \frac{4}{0,16} = 25 \text{ bh}$	
Lebar bordes	b_o	= Panjang ruang tangga – 12 x langkah datar
		= $6 - 12 \times 0,3 = 2,4 \text{ m}$
Kemiringan tangga	$= \tan \alpha \times \frac{\text{langkah naik}}{\text{langkah datar}}$	
	α	= 28,1
Tebal plat bordes	= 12 cm	= 0,12 m

Pembebanan struktur tangga

Tinggi beban merata tangga

$$t' = \frac{0,5 \times L_n \times L_d}{\sqrt{L_n^2 + A^2}} = 7,06 \text{ cm}$$

$$h = \frac{\text{Jumlah naik}}{2} + t' = 12,5 + 7,06 = 19,56 \text{ cm}$$

$$h' = \frac{tb}{\cos \alpha} + \frac{Ln}{2} = 21,6 \text{ cm} = 0,126 \text{ m}$$

1. Beban mati (DL)

Beban mati pada plat bordes

Berat lapisan pasir	3 cm	$= 0,03 \times 16 = 0,48 \text{ kN/m}^2$
Berat lapisan spasi	3 cm	$= 0,03 \times 21 = 0,63 \text{ kN/m}^2$
Berat sendiri plat	12 cm	$= 0,12 \times 24 = 2,88 \text{ kN/m}^2$
Berat penutup lantai	1 cm	$= 0,01 \times 24 = 0,24 \text{ kN/m}^2$
Berat <i>railing</i> tangga	360 cm	$= 3,6 \times 0,5 = 1,80 \text{ kN/m}^2$

Jumlah beban mati pada plat bordes $= 6,03 \text{ kN/m}^2$

Beban mati pada plat tangga

Berat lapisan pasir	3 cm	$= 0,03 \times 16 = 0,48 \text{ kN/m}^2$
Berat trap tangga	21,6 cm	$= 0,216 \times 24 = 5,18 \text{ kN/m}^2$
Berat sendiri plat	16 cm	$= 0,16 \times 24 = 3,84 \text{ kN/m}^2$
Berat penutup lantai	1 cm	$= 0,01 \times 24 = 0,24 \text{ kN/m}^2$
Berat <i>railing</i> tangga	360 cm	$= 3,6 \times 0,5 = 1,8 \text{ kN/m}^2$

Jumlah beban mati pada plat tangga $= 11,54 \text{ kN/m}^2$

2. Beban hidup (LL)

Beban hidup $= 2,5 \text{ kN/m}^2$

3. Reaksi tumpuan

$$\begin{aligned} Q_u \text{ tangga} &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 17,853 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_u \text{ bordes} &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 11,236 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Penulangan Struktur Tangga

Momen	M_u	$= 12,7 \text{ kNm} = 12668400 \text{ Nmm}$
Tebal plat tangga	h	$= 120 \text{ mm}$
Tebal plat bordes	h	$= 120 \text{ mm}$
Selimut beton	p	$= 20 \text{ mm}$
Tulangan utama	d	$= 13 \text{ mm}$
Lebar tangga	b	$= 1000 \text{ mm}$
d efektif		$= h - p - 0,5 d$

$$= 93,5 \text{ mm}$$

Batasan tulangan

$$\rho_{min} = \frac{0,008 f_y}{f_y} = 0,0018$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta_1 \times 0,85 \times f_{c'}}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 35}{420} \times \frac{600}{600 + 420} = 0,0354 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,75 \rho_b \\ &= 0,027 \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{12,67}{0,8} = 15,84 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n \times 10^6}{b \times d^2} = \frac{15,84 \times 10^6}{1000 \times 8464} = 1,811 \text{ Nmm}^2$$

Persamaan

$$R_n = \rho \times f_y \times \left(1 - 0,59 \rho \times \frac{f_y}{f_{c'}}\right)$$

$$1,871 = \rho \times 420 \times \left(1 - 0,59 \rho \times \frac{420}{35}\right)$$

$$1,871 = 420\rho - 2974\rho^2$$

$$0 = 2974\rho^2 - 420\rho + 1,871$$

$$\rho_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$\rho_1 = \frac{420 + 393}{5947} = 0,137$$

$$\rho_2 = \frac{420 - 393}{5947} = 0,0046 < 0,0027 = \rho_{max}$$

$$> 0,002 = \rho_{min}$$

Rasio tulangan minimum $\rho_{min} = 0,0018$

Rasio tulangan yang digunakan $\rho = 0,0045$

Luas tulangan yang digunakan $A_s = 416,4 \text{ mm}^2$

Diameter tulangan yang digunakan $D = 13$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan yang diperlukan } s &= \frac{1}{4} \pi D^2 \times \frac{b}{A_s} \\ &= \frac{1}{4} \pi 13^2 \times \frac{1000}{416,4} = 318,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai 200 mm lebih efisien

Jarak tulangan maksimum $s_{max} = 319 \text{ mm}$

Jarak tulangan yang digunakan $s_{pakai} = 200 \text{ mm}$

Digunakan tulangan D13-200 mm

Luas tulangan yang terpakai $A_s' = 663,7 \text{ mm}^2$

Cek kontrol $A_s' > A_s$

664 > 424 (**MEMENUHI**)

Tulangan bagi harus 20% - 50% dari tulangan pokok

Rasio tulangan minimum $\rho_{min} = 0,0018$

Rasio tulangan yang digunakan $\rho = 0,0045$

Persentase tulangan bagi = 50%

Luas tulangan yang diperlukan $A_s = 331,8 \text{ mm}^2$

Diameter tulangan yang digunakan $D = 10$

Jarak tulangan yang diperlukan $s = 236,7 \text{ mm}$

Dipakai 200 mm lebih efisien

Jarak tulangan maksimum $s_{max} = 237 \text{ mm}$

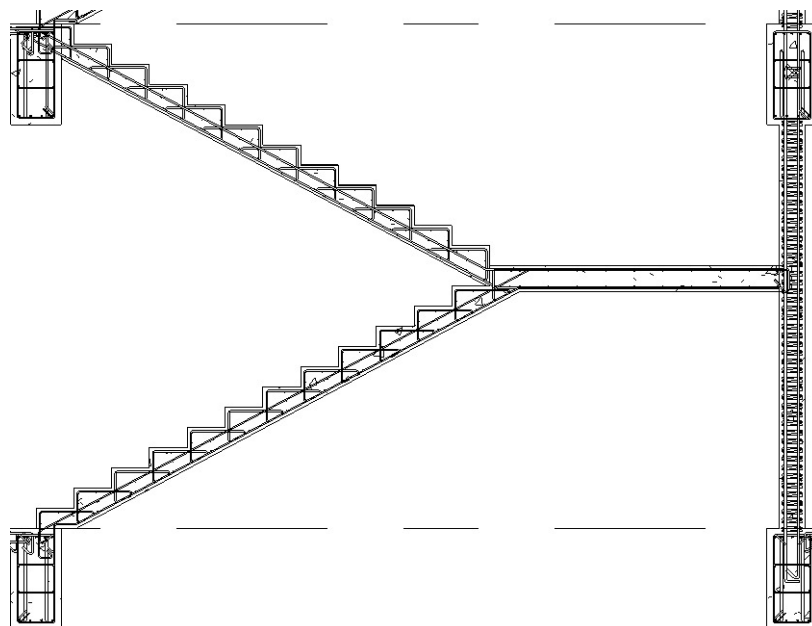
Jarak tulangan yang digunakan $s = 200 \text{ mm}$

Digunakan tulangan D10-200 mm

Luas tulangan yang terpakai $A_s' = 392,7 \text{ mm}^2$

Cek kontrol $A_s' > A_s$

393 > 332 (**MEMENUHI**)



Gambar 4.18 Struktur Tangga**Tabel 4.29** Hasil Analisa Struktur Tangga Utama

Tangga Utama	
Tinggi Tangga Keseluruhan	4 m
Tebal Plat Tangga	150 mm
Tebal Plat Bordes	150 mm
Lebar Bordes	2,4 m
Ketinggian Bordes Dari Lantai	2 m
Langkah Datar	30 cm
Langkah Naik	16 cm
Selimut Beton	20 mm
Tulangan Pokok	D 12 - 200
Tulangan Bagi	D 10 - 200

Tabel 4.30 Hasil Analisa Struktur Tangga Darurat

Tangga Darurat	
Tinggi Tangga Keseluruhan	4 m
Tebal Plat Tangga	150 mm
Tebal Plat Bordes	150 mm
Lebar Bordes	2,4 m
Ketinggian Bordes Dari Lantai	2 m
Langkah Datar	30 cm
Tangga Darurat	
Langkah Naik	16 cm
Selimut Beton	20 mm
Tulangan Pokok	D 13 - 200
Tulangan Bagi	D 10 - 200

Berdasarkan data soil test tersebut diketahui bahwa pada kedalaman 30 meter belum mencapai tanah keras, sehingga direncanakan pondasi dengan mengandalkan friction tiang. Kedalaman tanah keras dapat dilihat pada tabel 4.27.

Tabel 4.31 Kedalaman Tanah Keras

No	Kedalaman	N-SPT	T	Ti / Ni
1	2	5	2	0,400
2	4	4	2	0,500

No	Kedalaman	N-SPT	T	Ti / Ni
3	6	4	2	0,500
4	8	5	2	0,400
5	10	5	2	0,400
6	12	6	2	0,333
7	14	7	2	0,286
8	16	8	2	0,250
9	18	9	2	0,222
10	20	14	2	0,143
11	22	15	2	0,133
12	24	23	2	0,087
13	26	24	2	0,083
14	28	25	2	0,080
15	30	28	2	0,071
Jumlah			30	3,889

Pengaruh Ujung Tiang

8d = 4,8 m (elevasi 23,2 m)

4d = 2,4 m (elevasi 30,4 m)

N1 = N-SPT rata- rata pada kedalaman 8D diatas tiang

$$= \frac{22,6+23,5+24+25+25}{5}$$

$$= 23,92$$

N2 = N-SPT rata- rata pada kedalaman 4D di bawah tiang

$$= \frac{25+26,5+27}{3}$$

$$= 26,3$$

Nilai SPT rata – rata

$$N = \frac{\sum ti}{\sum \frac{ti}{Ni}} = \frac{30}{3,89} = 7,714 < 15 \text{ (Tanah Lunak)}$$

Properties *Bore Pile*

Dimensi tiang *bore pile* D = 0,6 m

Panjang tiang *bore pile* L = 28 m

Kuat tekan beton f_c' = 35 MPa

$$\begin{aligned}
 \text{Berat beton bertulang} \quad W_c &= 24 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Luas ujung tiang } \textit{bore pile} \quad A_b &= \frac{1}{4} \pi D^2 = 0,283 \text{ m}^2 \\
 \text{Luas selimut } \textit{bore pile} \quad A_s &= \pi D L = 52,78 \text{ m}^2 \\
 \text{Berat tiang } \textit{bore pile} \quad W_p &= 190 \text{ kN} = 19,37 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang

Daya dukung tiang tunggal berdasarkan *Standart Penetration Test* (SPT) menurut *Mayerhoff* 1956 diperoleh rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= Q_b + Q_s \\
 Q_{ult} &= 40 \times N_b \times A_b + 0,2 \times N \times A_s
 \end{aligned}$$

Tahanan ujung ultimit, Q_b .

Digunakan hasil N-SPT disekitar ujung tiang *borepile* (N_p)

$$\begin{aligned}
 8d \text{ atas tiang} \quad N_1 &= 23,9 \\
 4d \text{ bawah tiang} \quad N_2 &= 26,3 \\
 \text{Rata – rata} \quad N_b &= 25,11 \\
 Q_b &= 40 \times A_b \times N_b \\
 &= 40 \times 0,283 \times 25,1 \\
 &= 284 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Tahanan geser Ultimit, Q_s .

Tiang pancang beton bertulang pejal = Tiang perpindahan besar

N-SPT rata – rata sepanjang tiang = N rata – rata

$$Q_s = q_s \times A_s$$

Untuk tanah lempung $Q_s = 0,2 \times N_r$

$$\begin{aligned}
 N_r &= \frac{154}{14} \\
 &= 11 \\
 Q_s &= 0,2 \times N_r \times A_s \\
 &= 0,2 \times 11 \times 52,8 \\
 &= 116 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Cek kekuatan bahan

Tegangan izin beton yaitu $0,25 - 0,33 F_c$, maka diambil $0,25$.

$$\begin{aligned}
 P_{\text{tiang}} &= \sigma_{\text{bahan}} \times A_{\text{tiang}} \\
 &= 89,22375 \times 2827 \\
 &= 252274 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$= 252 \text{ ton}$$

Daya dukung ultimit dan Q ijin

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= Q_b + Q_s \\ &= 284 + 116,11 \\ &= 400 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{ijin} &= Q_{all} - W_p \\ &= 160 - 19,4 = 141 \end{aligned}$$

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} = \frac{400}{2,5} = 160 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat } Q_{ijin} &< P_{tiang} \\ 141 &< 252 \text{ (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Daya Dukung Pondasi Raft

Kedalaman pondasi dari permukaan tanah	D_f	$= 1 \text{ m}$
Sudut geser tanah		$= 14,9 < 20$
Kohesi	c	$= 29,5 \text{ kPa}$
Berat isi tanah	γ	$= 16,8 \text{ kN/m}^3$
Lebar <i>raft</i>		$= 7 \text{ m}$

Rumus *terzaghi* yang digunakan yaitu lokal.

$$\begin{aligned} \text{Diperoleh nilai } N'_c &= 9,67 \\ N'_q &= 2,73 \\ N'_y &= 0,57 \end{aligned}$$

Kapasitas daya dukung bujung sangkar (lokal).

$$\begin{aligned} q_u &= 1,3 \times c \times N'_c + \gamma \times D_f \times N'_q + 0,4 \gamma \times B \times N'_y \\ &= 1,3 \times 29,5 \times 10 + 17 \times 1 \times 2,73 + 0,4 \times 17 \times 7 \times 1 \\ &= 320 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$SF = 3$$

$$Q_{ijin} = 107 \text{ kN/m}^2 = 11 \text{ ton}$$

Analisis penurunan (*settlement*)

Menghitung nilai N koreksi

1. Koreksi terhadap muka air tanah

Berdasarkan Bazara (1967)

$$N_1 = 0,6N = 0,6 \times 15 = 9$$

Berdasarkan Terizaghi

$$\begin{aligned}
 N1 &= 15 + 0,5 (N - 15) \\
 &= 15 + 0,5 (15 - 15) \\
 &= 15
 \end{aligned}$$

Diambil nilai terkecil maka $N1b = 9$

Mencari nilai p_o atau tekanan tanah vertikal efektif pada lapisan yang ditinjau.

MAT berdasarkan *soil test* di kedalaman 1,5 m.

Berat isi tanah (γ_b)

$$TB-1 = 1,68 \text{ t/m}^3$$

$$TB-2 = 1,79 \text{ t/m}^3$$

$$TB-3 = 1,8 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 1,76 \text{ t/m}^3$$

Lapisan di atas MAT (0-1,5 m)

Digunakan berat isi basah γ_b yaitu

$$\sigma_1 = 1,5 \times 1,7 = 2,52 \text{ t/m}^2$$

Lapisan di bawah MAT (1,5 – 28m)

Digunakan berat isi efektif $\gamma_w = 1 \text{ t/m}^3$

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w = 1,757 - 1 = 0,757 \text{ t/m}^3$$

$$\sigma_2 = 26,5 \times 0,8 = 20,07 \text{ t/m}^2$$

2. Koreksi terhadap *overburden pressure* dari tanah

$$N2 = \frac{4N1}{1+0,4p_o} \quad \text{bila } p_o < 7,5 \text{ t/m}^2$$

$$N2 = \frac{4N1}{3,24+0,1p_o} \quad \text{bila } p_o > 7,5 \text{ t/m}^2$$

$$P_o = 22,6 > 7,5 \text{ t/m}^2$$

Maka digunakan rumus nilai $N2$ yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 N2 &= \frac{4N1}{3,24+0,1p_o} \\
 &= \frac{4 \times 9}{3,24+0,1 \times 22,59} = 6,55
 \end{aligned}$$

Dihitung untuk mengetahui penurunan tanah yang terjadi akibat adanya konsolidasi oleh timbunan dan beban di atasnya.

Diperoleh data dari *soil test*:

$$Cc = 0,24$$

$$e_o = 1,21$$

$$\Delta P = 5 \text{ (asumsi)}$$

$$\begin{aligned} S_c &= \frac{C_c \times H}{1+e_o} \log \frac{P_o \times \Delta P}{P_o} \\ &= \frac{0,24 \times 28}{1+1} \log \frac{23 \times 5}{23} = 0,26 \text{ m} = 26,4 \text{ cm} \end{aligned}$$

Efisiensi Kelompok Tiang

Spasi tiang *bore pile*, As ke As tiang

$$\begin{aligned} \text{Syarat} \quad 2,5 D &\leq s \leq 3 D \\ 1,5 &\leq s \leq 1,8 \end{aligned}$$

Digunakan nilai $s = 1,6 \text{ m}$ (**MEMENUHI**)

Spasi As ke tepi *pile cap*

$$\begin{aligned} \text{Syarat} \quad 1,5 D &\leq s \leq 2 D \\ 0,9 &\leq s \leq 1,2 \end{aligned}$$

Digunakan nilai $s = 1 \text{ m}$ (**MEMENUHI**)

Diambil salah satu nilai beban pada P1 adalah 150,24 ton, maka :

$$N_p = \frac{P_1}{Q_{tiang}} = \frac{150,24}{160} = 1,07 \text{ bh. diambil 2 buah pile}$$

$$\text{Jumlah baris tiang} = 1$$

$$\text{Jumlah tiang dalam 1 baris} = 2$$

Efisiensi kelompok tiang

$$\begin{aligned} E_g &= 1 - \theta \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \times m \times n} \right) \\ &= 1 - 20,56 \left(\frac{(2-1)2 + (2-1)2}{90 \times 2 \times 2} \right) \\ &= 0,886 \\ &= 89\% \end{aligned}$$

Cek daya dukung kelompok tiang

$$\begin{aligned} Q &= E_g \times n \times Q_{all} \\ &= 0,886 \times 2 \times 141 \\ &= 249,214 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} \quad P &< Q \\ 150,24 &< 249,214 \text{ (**MEMENUHI**)} \end{aligned}$$

Tabel 4.32 Rekapitulasi Desain Kebutuhan Tiang Pondasi

No	Titik kolom	P ton	Kebutuhan tiang bh	Total tiang per kelompok bh	m bh	n bh	Efisiensi kelompok tiang	Daya dukung kelompok	Ket.
KOLOM UTAMA									
1	711	123,40	0,88	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
2	710	133,54	0,95	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
3	709	138,43	0,98	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
4	708	150,24	1,07	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
5	707	109,42	0,78	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
6	715	172,15	1,22	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
7	253	163,42	1,16	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
8	256	171,40	1,22	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
9	712	181,02	1,29	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
10	743	130,71	0,93	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
11	719	170,15	1,21	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
12	257	163,35	1,16	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
13	282	173,20	1,23	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
14	716	454,18	3,23	5,00	3	2	0,749	526,647	Aman
15	745	632,18	4,49	7,00	4	2	0,723	711,602	Aman
16	723	167,71	1,19	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
17	722	164,99	1,17	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
18	721	173,60	1,23	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
19	720	351,07	2,50	4,00	2	2	0,772	434,170	Aman
20	747	450,48	3,20	5,00	3	2	0,749	526,647	Aman
21	732	379,03	2,69	4,00	2	2	0,772	434,170	Aman
22	730	164,47	1,17	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
23	728	175,04	1,24	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
24	724	181,81	1,29	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
25	755	167,73	1,19	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
26	741	442,01	3,14	5,00	3	2	0,749	526,647	Aman
27	739	365,55	2,60	4,00	2	2	0,772	434,170	Aman
28	736	152,56	1,08	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
29	734	140,95	1,00	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman

No	Titik kolom	P ton	Kebutuhan tiang bh	Total tiang per kelompok bh	m bh	n bh	Efisiensi kelompok tiang	Daya dukung kelompok	Ket.
30	757	134,96	0,96	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
KOLOM LIFT DAN SHEARWALL									
31	97	264,57	1,65	3,00	2	2	0,810	341,692	Aman
32	372	401,00	2,51	4,00	2	2	0,772	434,170	Aman
33	130	261,91	1,64	3,00	2	2	0,810	341,692	Aman
35	134	218,82	1,37	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
36	374	284,34	1,78	3,00	2	2	0,810	341,692	Aman
37	484	193,07	1,21	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman
38	599	168,72	1,05	2,00	1	2	0,886	249,214	Aman

3. Desain *Pile Cap*

Dimensi dan Material *Bore Pile*

Dimensi tiang <i>bore pile</i>	D	= 0,6 m
Panjang tiang <i>bore pile</i>	L	= 28 m
Kuat tekan beton	fc'	= 35 MPa = 356,9 kg/cm ²
Berat beton bertulang	Wc	= 24 kN/m ³ = 240 kg/cm ³

Spasi tiang *Bore Pile*, As ke As tiang

Syarat	: $2,5D \leq s \leq 3D$
	$1,5 \leq s \leq 1,8$
Digunakan nilai s'	= 160 cm (MEMENUHI)
Daya dukung tanah	Qu = 400 ton = 395 kN
	Qa = 160 ton = 1570 kN

Perencanaan *Pile Cap* Untuk 2 *Pile*

Data Umum Rencana *Pile Cap*

Data bahan *pile cap*

Mutu beton	fc'	= 35 MPa
Kuat leleh baja tulangan polos	fy	= 420 MPa
Kuat leleh baja tulangan <i>deform</i>	fy	= 420 MPa
Berat beton bertulang	Wc	= 24 MPa

Data desain pondasi

Lebar <i>pile cap</i>	Bx	= 3,6 m
Panjang <i>pile cap</i>	By	= 2 m
Diameter tulangan utama		= 0,019 m
Diameter tulangan sengkang		= 0,013 m
Tebal selimut	ts	= 0,075 m
Tebal <i>pile cap</i>	h	= 0,8 m
Tebal tanah di atas <i>pile cap</i>	z	= 1 m
Jarak pusat tulangan ke sisi luar beton $ts + \emptyset + (0,5\emptyset)$	ds	= 0,10 m
Jarak sisi lain beton ke pusat tulangan	ds'	= $h - ds = 0,7$ m
Jarak <i>pile</i> tepi terhadap sisi luar beton	a	= 1 m
Diameter <i>bore pile</i>	c	= 0,4 m
Lebar kolom	bx	= 0,5 m
Tinggi kolom	by	= 0,5 m
Posisi kolom (dalam=40, tepi = 0, sudut= 20)		= 40
Berat jenis tanah diatas <i>pile cap</i>	γ_b	= 12,81 kN/m

Gaya dan beban yang diterima**Hasil dari SAP2000**

Gaya aksial akibat beban terfaktor	Puk	= 2780 kN
Momen arah x akibat beban terfaktor	Mux	= 16 kNm
Momen arah y akibat beban terfaktor	Muy	= -36 kNm
Gaya lateral arah x akibat beban terfaktor	Hux	= -18 kN
Gaya lateral arah y akibat beban terfaktor	Huy	= -9 kN
Kapasitas dukung satu tiang bor	Qa	= 1570 kN
Tahanan aksial tiang pancang	$\phi \times P_n$	= 2943,7 kN
Tahanan lateral tiang pancang	$\phi \times H_n$	= 248,32 kN

Metode Broms

$$\begin{aligned}
 c_u &= 0,625 \times \text{N-SPT} = 0,625 \times 25 = 15,625 \text{ t/m}^2 = 153,281 \text{ kN/m}^2 \\
 H_n &= 9 \times c_u \times D \times 1,5D \\
 &= 9 \times 153,3 \times 0,4 \times 0,6 = 331,09
 \end{aligned}$$

Susunan *pile* arah X dan Y

Tabel 4.33 Susunan *pile* arah X dan Y

Susunan <i>pile</i> arah X				Susunan <i>pile</i> arah Y			
No	n	x	nx^2	No	n	y	ny^2
1	1	0,8	0,64	1	2	0	0
2	1	0,8	0,64	2			
Σ	2		1,28	Σ	2		0

Panjang *pile cap* arah X $L_x = 3,6$ m

Panjang *pile cap* arah Y $L_y = 2$ m

Perhitungan Kontrol Tegangan Tanah

Luas dasar *pile cap* $A = 7,2$ m²

Tahanan momen arah x $W_x = 4,32$ m³

Tahanan momen arah y $W_y = 2,4$ m³

Tinggi tanah di atas *pile cap* $z = 1$ m

Tekanan akibat berat *pile cap* $q = 32,01$ kN/m²

Eksentrisitas pada pondasi

$$e_x = \frac{M_{ux}}{P_u} = \frac{16}{2780} = 0,01 \text{ m} < \frac{B_x}{6} = \frac{3,6}{6} = 0,6 \text{ m (MEMENUHI)}$$

$$e_y = \frac{M_{uy}}{P_u} = \frac{-36}{2780} = -0,01 \text{ m} < \frac{B_y}{6} = \frac{2}{6} = 0,3 \text{ m (MEMENUHI)}$$

Tegangan tanah maksimum yang terjadi pada dasar teori:

$$\begin{aligned} Q_{\max} &= \frac{P_u}{A} + \frac{M_{ux}}{W_x} + \frac{M_{uy}}{W_y} + q \\ &= \frac{2780}{7,2} + \frac{16}{4,32} + \frac{-36}{2,4} + 32,01 \\ &= 406,8 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat } Q_{\max} &< Q_a \\ 406,82 &< 1570 \text{ kN/m}^2 \text{ (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Tegangan tanah minimum yang terjadi pada dasar teori:

$$\begin{aligned} Q_{\min} &= \frac{P_u}{A} - \frac{M_{ux}}{W_x} - \frac{M_{uy}}{W_y} + q \\ &= \frac{2780}{7,2} - \frac{16}{4,32} - \frac{-36}{2,4} + 32,01 \\ &= 429,42 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat } Q_{\max} > 0$$

$$429,42 < 0 \text{ kN/m}^2 \text{ (MEMENUHI)}$$

Perhitungan gaya yang bekerja

Gaya aksial pada *pile*

$$\text{Berat tanah di atas } \textit{pile cap} \quad W_s = 92,23 \text{ kN}$$

$$\text{Berat } \textit{pile cap} \quad W_c = 138,24 \text{ kN}$$

$$\text{Total gaya aksial terfaktor} \quad P_u = 3057 \text{ kN}$$

Lengan maksimum *pile* arah x terhadap pusat.

$$X_{\max} = 0,8 \text{ m}$$

Lengan maksimum *pile* arah x terhadap pusat.

$$X_{\min} = 0,8 \text{ m}$$

Gaya aksial maksimum dan minimum pada *pile*

$$P_{u \max} = \frac{P_u}{n} + \frac{M_{ux} + X_{\max}}{\sum x^2} = 1538,3 \text{ kN}$$

$$P_{u \min} = \frac{P_u}{n} + \frac{M_{ux} + X_{\min}}{\sum x^2} = 1538,3 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat } P_{u \max} &\leq \phi \times P_n \\ 1538,3 &\leq 2943,7 \text{ (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Gaya lateral pada *pile*

$$\text{Gaya lateral arah x pada } \textit{pile} \quad h_{ux} = -9 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya lateral arah y pada } \textit{pile} \quad h_{uy} = -4,5 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya lateral kombinasi dua arah } h_{u \max} = 10,06 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat } h_{u \max} &\leq \phi \times H_n \\ 10,062 &\leq 248,32 \text{ (MEMENUHI)} \end{aligned}$$

Tinjaun geser arah x

$$\text{Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton} \quad d' = 0,075 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal efektif } \textit{pile cap} \quad d &= h - d' \\ &= 0,8 - 0,075 \\ &= 0,725 \text{ m} \end{aligned}$$

Jarak bidang kritis terhadap sisi luar, c_x .

$$\begin{aligned} c_x &= \frac{\text{panjang } \textit{pile cap} \text{ arah } x - \text{lebar kolom} - d}{2} \\ &= 1,19 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Berat beton} \quad W_1 = c_x \times \text{panjang } \textit{pile cap} \text{ arah } y \times h \times W_c$$

$$= 1,19 \times 2 \times 0,8 \times 24$$

$$= 45,6 \text{ kN}$$

Berat tanah $W_2 = cx \times \text{panjang pile cap arah } y \times z \times \gamma b$

$$= 1,19 \times 2 \times 1 \times 12,81$$

$$= 30,42 \text{ kN}$$

Gaya geser arah x $V_{ux} = 2Mu_{\max} - W_1 - W_2$

$$= 2(1538) - 45,6 - 30,42$$

$$= 3001 \text{ kN}$$

Lebar bidang geser untuk tinjauan arah X, $b = 2000 \text{ mm}$

Tebal efektif *pile cap* $d = 725 \text{ mm}$

Rasio sisi Panjang terhadap sisi pendek kolom, $\beta_c = 1$

Kuat geser *pile cap* arah X

$$V_c = \frac{1}{6} \times \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \times \sqrt{f'c' \times b \times d}$$

$$= 0,167 \times \left(1 + \frac{2}{1} \right) \times \sqrt{35 \times 2000 \times 725}$$

$$= 4289 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c' \times b \times d}$$

$$= \frac{1}{3} \times \sqrt{35 \times 200 \times 725}$$

$$= 2859 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{12} \times \left(\frac{a_s \times d}{b} + 2 \right) \times \sqrt{f'c' \times b \times d}$$

$$= \frac{1}{12} \times \left(\frac{40 \times 75}{2000} + 2 \right) \times \sqrt{35 \times 2000 \times 725}$$

$$= 11795 \text{ kN}$$

Sehingga nilai V_c yang diambil yaitu nilai terkecil, $V_c = 2859 \text{ kN}$

Faktor reduksi kekuatan geser, $\phi = 0,75$

Gaya geser nominal $= \phi \times V_n$

$$= 0,75 \times 2859$$

$$= 2145 \text{ kN}$$

Cek kontrol $\phi \times V_n > V_u$

$$2145 > 2977 \text{ kN (MEMENUHI)}$$

Tinjauan Geser Dua Arah (Pons)

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton	d'	= 0,075 m
Tebal efektif <i>pile cap</i>	d	= 0,725 m
Lebar bidang geser pons arah X	B_x	= 1,225 m
Lebar bidang geser pons arah Y	B_y	= 1,225 m
Gaya geser pons akibat beban terfaktor pada kolom	P_{uk}	= 2780 kN
Luas bidang geser pons	A_p	= 3,553 m
Lebar bidang geser pons	b_p	= 4,9 m
Rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom	β_c	= 1

Tegangan geser pons

$$f_p = \frac{1}{6} \times \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \times \sqrt{f'c'}$$

$$= \frac{1}{6} \times \left(1 + \frac{2}{1} \right) \times \sqrt{35} = 2,958 \text{ MPa}$$

$$f_p = \frac{1}{12} \times \left(\frac{a_s \times d}{b} + 2 \right) \times \sqrt{f'c'}$$

$$= \frac{1}{12} \times \left(\frac{40 \times 0,73}{4,9} + 2 \right) \times \sqrt{35} = 3,904 \text{ MPa}$$

$$f_p = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c'}$$

$$= \frac{1}{3} \times \sqrt{35} = 1,972 \text{ MPa}$$

Sehingga nilai f_p yang diambil adalah nilai terkecil $f_p = 1,972 \text{ MPa}$

Faktor reduksi kekuatan geser $\phi = 0,75$

Gaya geser nominal

$$V_n = \phi \times f_p \times A_p$$

$$= 0,75 \times 1,972 \times 3,553 \times 1000 = 5254 \text{ kN}$$

Cek kontrol $\phi V_n > P_{uk}$

$$5254 > 2780 \text{ kN (MEMENUHI)}$$

Perhitungan Pembesian *Pile Cap*

Tulangan lentur arah X

Jarak tepi kolom terhadap sisi luar <i>pile cap</i>	c_x	= 1,550 m
Jarak <i>pile</i> terhadap sisi kolom	e_x	= 0,55 m
Berat beton	W_1	= 59,52 kN
Berat tanah	W_2	= 39,71 kN
Momen yang terjadi pada <i>pile cap</i>	M_{ux}	= 1615 kNm

Lebar <i>pile cap</i> yang ditinjau	b	= 2000 mm
Tebal <i>pile cap</i>	h	= 800 mm
Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton	d'	= 75 mm
Tebal efektif plat	d	= 725 mm
Kuat tekan beton	f _c	= 35 MPa
Kuat leleh baja tulangan	f _y	= 420 MPa
Modulus elastisitas baja	E _s	= 20000MPa
Faktor distribusi tegangan beton	β ₁	= 0,85

Batasan tulangan

$$\rho_{min} = \frac{0,0018 \times 420}{f_y} = 0,0018$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} + \frac{600}{600+f_y} \\ &= 0,85 \times 0,85 \times \frac{35}{420} + \frac{600}{600+420} = 0,035\end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75\rho_b = 0,027$$

Faktor reduksi kekuatan lentur, $\phi = 0,8$

$$\begin{aligned}R_{max} &= 0,75\rho_b \times f_y \times \left(\frac{1-0,5 \times 0,75 \times \rho_b \times f_y}{0,85f_c'} \right) \\ &= 0,75 \times 0,0354 \times 420 \times \left(\frac{1-0,5 \times 0,75 \times 0,0354 \times 420}{0,85 \times 35} \right) \\ &= 9,0645\end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_{uy}}{\phi} = \frac{-802}{0,8} = -1002 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n \times 10^6}{b \times d^2} = \frac{-1002 \times 10^6}{2000 \times 525625} = -0,953 \text{ Nmm}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Cek kontrol} \quad R_n &< R_{max} \\ -0,953 &< 9,064 \text{ (MEMENUHI)}\end{aligned}$$

Persamaan :

$$R_n = \rho \times f_y \times \left(1 - 0,59 \times \rho \times \frac{f_y}{f_c'} \right)$$

$$-0,953 = \rho \times 420 \times \left(1 - 0,59 \times \rho \times \frac{420}{35} \right)$$

$$-0,953 = 420 \rho - 2974 \rho^2$$

$$0 = 2974 \rho^2 - 420 \rho + 0,953$$

$$\rho_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$\rho_{1,2} = \frac{420 \pm \sqrt{176400 - 4 \times 2974 \times (-0,953)}}{2 \times 2974}$$

$$\rho_1 = 0,1435$$

$$\rho_2 = -0,002 < \rho_{max} = 0,0266$$

$$< \rho_{min} = 0,002 \text{ Pakai}$$

$$\text{Rasio tulangan minimum} \quad \rho_{min} = 0,002$$

$$\text{Rasio tulangan yang digunakan} \quad \rho = 0,002$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan yang diperlukan} \quad A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,002 \times 2000 \times 725 \\ &= 2610 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Diameter tulangan yang digunakan} \quad D = 19 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan yang diperlukan} \quad s &= \frac{1}{4} \pi \times D^2 \times \frac{b}{A_s} \\ &= 217,26 \text{ mm} \\ &\text{(Diambil 200 mm)} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan yang digunakan} \quad s = 200 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan D19-200 mm

$$\text{Luas tulangan yang terpakai} \quad A_s' = 2835,3 \text{ mm}^2$$

$$\text{Cek kontrol} \quad A_s' > A_s$$

$$2835 > 2610 \text{ (MEMENUHI)}$$

Tulangan Susut

$$\text{Rasio tulangan susut minimum} \quad \rho_{min} = 0,002$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan susut arah X} \quad A_{sx}' &= \rho_{min} \times b \times d \\ &= 0,002 \times 2000 \times 725 \\ &= 2485,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Luas tulangan susut arah Y} \quad A_{sy}' = 248,5 \rho_{min}$$

$$\text{Diameter tulangan yang digunakan} = 13 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan susut arah X} \quad s_x &= \frac{1}{4} \pi \times D^2 \times \frac{b}{A_{sx}'} \\ &= \frac{1}{4} \pi \times 13^2 \times \frac{2000}{2485,7} \\ &= 106,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai 100 mm

Jarak tulangan susut maksimum arah X $s_x \max = 200 \text{ mm}$

Jarak tulangan susut arah X yang digunakan $s_x = 100 \text{ mm}$

Jarak tulangan susut arah Y $s_y = \frac{1}{4} \pi \times D^2 \times \frac{b}{A_{sx'}}$
 $= \frac{1}{4} \pi \times 13^2 \times \frac{2000}{2485,7}$
 $= 106,8 \text{ mm}$

Dipakai 100 mm

Jarak tulangan susut maksimum arah Y $s_y \max = 200 \text{ mm}$

Jarak tulangan susut arah Y yang digunakan $s_y = 100 \text{ mm}$

Digunakan tulangan susut arah X $\phi 13 - 100 \text{ mm}$

Digunakan tulangan susut arah Y $\phi 13 - 100 \text{ mm}$

Luas tulangan yang terpakai $= 2654,6 \text{ mm}^2$

Cek kontrol $A_{s'} > A_s$

$2655 > 2486$ (**MEMENUHI**)

4. *Raft Lift*

Direncanakan pondasi tiang

Dimensi tiang *bore pile* $D = 0,6 \text{ m}$

Panjang tiang *bore pile* $L = 28 \text{ m}$

Kuat tekan beton $f_c' = 35 \text{ MPa} = 356,9 \text{ kg/cm}^2$

Berat beton bertulang $W_c = 24 \text{ kN/m}^3 = 240 \text{ kg/cm}^2$

Spasi tiang *Bore Pile*, A_s ke A_s tiang

Syarat : $2,5D \leq s \leq \frac{1,57D \times m \times n}{m \times n \times 2}$
 $2,5 \times 0,6 \leq s \leq \frac{1,57 \times 0,6 \times 5 \times 2}{5 \times 4 \times 2}$
 $1,50 \leq s \leq 2,6914$

Digunakan $s = 250 \text{ cm}$ (**MEMENUHI**)

Spasi a_s ke tepi *pile cap*

Syarat : $1,5D \leq s \leq 2D$
 $1,5 \times 0,6 \leq s \leq 2 \times 0,6$
 $0,9 \leq s \leq 1,2$

Digunakan nilai $s' = 110 \text{ cm}$ (**MEMENUHI**)

Daya dukung tanah $Q_{ijin} = 11 \text{ ton} = 106,6 \text{ kN raft}$
 $Q_{ijin} = 141 \text{ ton} = 1380 \text{ kN pile}$

PERENCANAAN *RAFT*/ PONDASI RAKIT

Data Umum Rencana *Pile Cap*

Data bahan *pile cap*

Mutu beton $f_c' = 35 \text{ MPa}$
 Kuat leleh baja tulangan polos $f_y = 420 \text{ MPa}$
 Kuat leleh baja tulangan *deform* $f_y = 420 \text{ MPa}$
 Berat beton bertulang $W_c = 24 \text{ MPa}$

Gaya dan beban yang diterima

Tabel 4.34 Gaya Aksial Akibat Beban Terfaktor

Titik	Pu	Mux	Muy	Hux	Huy	Satuan
716	454,177	3,99265	14,20959	45,9003	-0,0199	ton.m
745	632,1821	17,16139	19,01504	85,9717	66,358	ton.m
97	264,5728	3,96197	13,19186	41,1281	1,9138	ton.m
372	401,0014	16,727	22,92713	51,159	60,9843	ton.m
130	261,9108	3,71211	6,75964	20,9455	2,8335	ton.m
373	244,3037	12,84397	7,48457	20,5509	48,2524	ton.m
134	218,8221	6,02834	8,46861	13,3198	4,2813	ton.m
374	284,3438	3,86662	0,53994	20,4775	38,6186	ton.m
Jumlah	2761,3137	68,29405	92,59638	299,4528	223,222	ton.m

Gaya aksial akibat beban terfaktor $P_{uk} = 27088 \text{ kN}$
 Momen arah x akibat beban terfaktor $M_{ux} = 670 \text{ kNm}$
 Momen arah y akibat beban terfaktor $M_{uy} = 908,4 \text{ kNm}$
 Gaya lateral arah x akibat beban terfaktor $H_{ux} = 2938 \text{ kN}$
 Gaya lateral arah y akibat beban terfaktor $H_{uy} = 2190 \text{ kN}$
 Kapasitas dukung satu tiang bor $Q_u \text{ pile} = 1380 \text{ kN}$
 Kapasitas dukung *raft* $Q_u \text{ raft} = 107 \text{ kN}$

Data desain pondasi

Lebar *raft* $B_x = 9,7 \text{ m}$
 Panjang *raft* $B_y = 12,2 \text{ m}$

Tebal <i>raft</i>	h	$= 0,8 \text{ m}$
Luas <i>raft</i>	A	$= 118,34 \text{ m}^2$
Diameter tulangan utama		$= 0,025 \text{ m} = 25 \text{ mm}$
Diameter tulangan sengkang		$= 0,013 \text{ m} = 13 \text{ mm}$
Tebal selimut	t_s	$= 0,075 \text{ m}$
Tebal tanah di atas <i>pile cap</i>	z	$= 1 \text{ m}$

Jarak pusat tulangan ke sisi luar beton

$$d_s = t_s + \emptyset + (0,5\emptyset) = 0,10 \text{ m}$$

Jarak sisi lain beton ke pusat tulangan

$$d_s' = h - d_s = 0,7 \text{ m}$$

Digunakan tulangan *bore pile* 16 D 25

Jarak <i>pile</i> tepi terhadap sisi luar beton	a	$= 1,1 \text{ m}$
Diameter <i>bore pile</i>	c	$= 0,6 \text{ m}$
Lebar kolom	b_x	$= 0,5 \text{ m}$
Tinggi kolom	b_y	$= 0,5 \text{ m}$
Berat jenis tanah diatas <i>pile cap</i>	γ_b	$= 12,81 \text{ kN/m}$

Data susunan *pile*

Luas ujung tiang <i>bore pile</i>	A_b	$= 0,283 \text{ m}^2$
Luas selimut <i>bore pile</i>	A_s	$= 52,78 \text{ m}^2$
Berat tiang <i>bore pile</i>	W_p	$= 190 \text{ kN} = 19,37 \text{ ton}$
Luas penampang tiang		$= 2827 \text{ cm}^2$
Luas tulangan total		$= 78,54 \text{ cm}^2$
Luas minimum <i>raft</i>	A	$= 19,629 \text{ m}^2$
Beban aksial yang bekerja	P_u	$= 27088,487 \text{ kN}$

Beban yang dilimpahkan ke tiang bor adalah

$$q_{pile} = Q_{\max} \times SF - q_{raft}$$

$$= 236,4 \times 2 - 106,6 = 266 \text{ kN} = 37345,17 \text{ kg}$$

$$P_{tiang} = q_{pile} \times A_{raft} = 366 \times 118,34 = 43340 \text{ kN}$$

$$\text{Persentase pembagian beban} = \frac{P_{tiang}}{SF \times Q_{\max} \times A_{raft}} = \frac{43340,5}{2 \times 236,4 \times 118,34} = 77\%$$

Pembagian *raft* dan *pile*

$$P_{u \text{ Raft}} = 23\% \times 2761,314 = 622,7 \text{ ton} = 6109 \text{ kN}$$

$$P_{u \text{ Pile}} = 77\% \times 2761,314 = 2139 \text{ ton} = 20980 \text{ kN}$$

Perhitungan jumlah tiang borepile yang dibutuhkan

$$n = \frac{P_u}{Q_{\text{ijin}}} = \frac{2139}{141} = 15.203 \rightarrow 20 \text{ pile (agar lebih aman)}$$

$$Q_{\text{ijin pile}} = \frac{P_u}{n} = \frac{2139}{20} = 107 \text{ ton} < P_{\text{ijin}} = 141 \text{ ton (memenuhi)}$$

$$Q_{\text{ijin raft}} = \frac{P_u}{A} = \frac{622.7}{118.3} = 5.3 \text{ ton} < P_{\text{ijin}} = 11 \text{ ton (memenuhi)}$$

Perhitungan Kontrol Tegangan Tanah

Eksentrisitas pada pondasi

$$e_x = \frac{M_{ux}}{P_u} = \frac{669.96}{27088} = 0,025 \text{ m} < \frac{B_x}{6} = \frac{9,70}{6} = 1,62 \text{ (memenuhi)}$$

$$e_y = \frac{M_{uy}}{P_u} = \frac{908.37}{27088} = 0,033 \text{ m} < \frac{B_y}{6} = \frac{12,2}{6} = 2,03 \text{ (memenuhi)}$$

Tegangan tanah maksimum dan minimum yang terjadi, yaitu:

$$\begin{aligned} Q_{\text{max}} &= \frac{P_u}{A} + \frac{M_{ux}}{I_x} + \frac{M_{uy}}{I_y} \\ &= \frac{27088}{118,3} + \frac{669,96}{240,62} + \frac{908,37}{191,32} \\ &= 236,4 \text{ kN/m}^2 < Q_a = 1380 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{min}} &= \frac{P_u}{A} - \frac{M_{ux}}{I_x} - \frac{M_{uy}}{I_y} \\ &= \frac{27088}{118,3} - \frac{669,96}{240,62} - \frac{908,37}{191,32} \\ &= 221,4 \text{ kN/m}^2 > 0 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Perhitungan Efisiensi Kelompok Tiang

$$\text{Jumlah baris tiang, } m = 5$$

$$\text{Jumlah tiang dalam satu baris, } n = 4$$

$$\text{Jarak as ke as tiang borepile, } s = 2,5 \text{ m}$$

$$\text{Diameter tiang borepile, } D = 0,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} E_g &= 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \times m \times n} \\ &= 1 - 13,496 \frac{(4-1)5 + (5-1)4}{90 \times 5 \times 4} \\ &= 0,768 \rightarrow 77\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= E_g \times n \times Q_u \\ &= 0,768 \times 20 \times 1380 \end{aligned}$$

$$= 21185 \text{ kN} > P_{\text{tiang}} = 20980 \text{ kN (memenuhi)}$$

$$Q_{\text{gab.}} = Q_{\text{raft}} + Q_{\text{pile}}$$

$$= 12016 + 21185$$

$$= 33201 \text{ kN} > P_{\text{tiang}} = 20980 \text{ kN (memenuhi)}$$

Perhitungan Gaya Yang Bekerja

a) Gaya Aksial

$$\begin{aligned} P_u \text{ max} &= \frac{P_u}{n} + \frac{M_{ux} + Y_{\text{max}}}{\Sigma y^2} + \frac{M_{uy} + X_{\text{max}}}{\Sigma x^2} \\ &= \frac{20980}{20} + \frac{669,96 + 3,75}{62,5} + \frac{908,37 + 5,00}{31,25} \\ &= 1202 \text{ kN} \leq P_{\text{tiang}} = 1380 \text{ kN (memenuhi)} \end{aligned}$$

b) Gaya Geser Arah X

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= 0,33 \times \sqrt{35} \times 12200 \times 725 \\ &= 17443 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Geser nominal} &= \phi \times V_c \\ &= 0,75 \times 17443 \\ &= 13082 \text{ kN} > V_u = 749 \text{ kN (memenuhi)} \end{aligned}$$

c) Gaya Geser Arah Y

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= 0,33 \times \sqrt{35} \times 12200 \times 725 \\ &= 17443 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Geser nominal} &= \phi \times V_c \\ &= 0,75 \times 17443 \\ &= 13082 \text{ kN} > V_u = 933 \text{ kN (memenuhi)} \end{aligned}$$

Perhitungan Pembesian Pondasi Raft

a) Tulangan Lentur Arah X

Rasio tulangan

$$\begin{aligned} \rho_{\text{min}} &= \frac{0,0018 \times 420}{F_y} = \frac{0,0018 \times 420}{420} = 0,002 \\ \rho_b &= \beta_1 \times 0,85 \times \frac{F_c}{F_y} \times \frac{600}{600 + F_y} \\ &= 0,85 \times 0,85 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{600 + 420} = 0,035 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,035 = 0,027$$

$$\begin{aligned} R_{\max} &= \phi \times \rho_b \times F_y \times \frac{1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times \frac{F_y}{F_c}}{0,85 \times F_c} \\ &= 0,75 \times 0,035 \times 420 \times \frac{1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times 0,035 \times \frac{420}{35}}{0,85 \times 35} \\ &= 9,064 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{670}{0,8} = 837,46 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n \times 10^4}{b \times d^2} = \frac{837,46 \times 10^4}{1000 \times 725^2} = 1,593 \text{ Nmm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat cek kontrol; } R_n &< R_{\max} \\ 1,593 \text{ Nmm}^2 &< 9,064 \text{ Nmm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Persamaan mencari rasio hitung

$$\begin{aligned} R_n &= \rho \times F_y \times \left(1 - 0,59 \times \rho \times \frac{F_y}{F_c}\right) \\ &= \rho \times 420 \times \left(1 - 0,59 \times \rho \times \frac{420}{35}\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1,593 &= 420\rho - 2974 \rho^2 \\ &= 2974 \rho^2 - 420 \rho + 1,593 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{1,2} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{420 \pm \sqrt{(-420)^2 - 4(2974)(1,593)}}{2 \times 2974} \end{aligned}$$

$$\rho_1 = \frac{420 + 396,8}{5947} = 0,137$$

$$\rho_2 = \frac{420 - 396,8}{5947} = 0,0039 < \rho_{\min} = 0,002$$

$$\text{Rasio tulangan yang dipakai, } \rho = 0,002 \text{ mm}$$

$$\text{Luas tulangan yang dipakai, } A_s = 1305 \text{ mm}$$

$$\text{Diamter utama tulangan, } D = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak tulangan, } s = 376 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak yang dipakai, } s_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan yang digunakan ialah } D 25 - 200 \text{ mm}$$

$$\text{Luas tulangan } A_s = 2454 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat cek kontrol; } A_s \text{ perlu} &< A_s \text{ pakai} \\ 1305 \text{ mm} &< 2454 \text{ mm (memenuhi)} \end{aligned}$$

b) Tulangan Lentur Arah Y

Rasio tulangan

$$\rho_{\min} = \frac{0,0018 \times 420}{F_y} = \frac{0,0018 \times 420}{420} = 0,002$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \beta_1 \times 0,85 \times \frac{F_c}{F_y} \times \frac{600}{600 + F_y} \\ &= 0,85 \times 0,85 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{600 + 420} = 0,035\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,035 = 0,027$$

$$\begin{aligned}R_{\max} &= \phi \times \rho_b \times F_y \times \frac{1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times f_y}{0,85 \times F_c} \\ &= 0,75 \times 0,035 \times 420 \times \frac{1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times 0,035 \times 420}{0,85 \times 35} \\ &= 9,064 \text{ Nmm}^2\end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{908}{0,8} = 1135,5 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n \times 10^4}{b \times d^2} = \frac{1135,5 \times 10^4}{1000 \times 725^2} = 2,160 \text{ Nmm}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat cek kontrol; } R_n &< R_{\max} \\ 2,160 \text{ Nmm}^2 &< 9,064 \text{ Nmm}^2 \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

c) Persamaan mencari rasio hitung

$$\begin{aligned}R_n &= \rho \times F_y \times \left(1 - 0,59 \times \rho \times \frac{F_y}{F_c}\right) \\ &= \rho \times 420 \times \left(1 - 0,59 \times \rho \times \frac{420}{35}\right)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}1,593 &= 420\rho - 2974\rho^2 \\ &= 2974\rho^2 - 420\rho + 1,593\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{1,2} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{420 \pm \sqrt{(-420)^2 - 4(2974)(1,593)}}{2 \times 2974}\end{aligned}$$

$$\rho_1 = \frac{420 + 396,8}{5947} = 0,137$$

$$\rho_2 = \frac{420 - 396,8}{5947} = 0,0039 < \rho_{\min} = 0,002$$

$$\text{Rasio tulangan yang dipakai, } \rho = 0,002 \text{ mm}$$

$$\text{Luas tulangan yang dipakai, } A_s = 3876 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter utama tulangan, } D = 25 \text{ mm}$$

Jarak tulangan, $s = 127 \text{ mm}$
 Jarak yang dipakai, $s_{pakai} = 100 \text{ mm}$
 Tulangan yang digunakan ialah $D 25 - 100 \text{ mm}$
 Luas tulangan $A_s = 4909 \text{ mm}^2$
 Syarat cek kontrol; $A_s \text{ perlu} < A_s \text{ pakai}$
 $3876 \text{ mm}^2 < 4909 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$

d) Tulangan Susut

Rasio tulangan yang dipakai, $\rho = 0,002$
 Luas tulangan susut arah x $A_{sx} = 1243 \text{ mm}^2$
 Luas tulangan susut arah y $A_{sy} = 1243 \text{ mm}^2$
 Diameter utama tulangan, $D = 13 \text{ mm}$
 Jarak tulangan arah, $s_x = 107 \text{ mm}$
 Jarak yang dipakai, $s_{pakai} = 100 \text{ mm}$
 Tulangan yang digunakan ialah $D 13 - 100 \text{ mm}$
 Luas tulangan $A_s = 1324 \text{ mm}^2$
 Syarat cek kontrol; $A_s \text{ perlu} < A_s \text{ pakai}$
 $1243 \text{ mm}^2 < 1327 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$

Tabel 4.35 Hasil Analisa Struktur Bawah

Bore Pile	
Tulangan Utama	25 D 16 – 100
Tulangan Spiral	D 13 - 100
Dimensi	600 mm
Panjang	28 m
Dimensi Pilecap	
4 Pile	3,6 x 3,6 m
2 Pile	2 x 3,6 m
Raft Lift	
Tulangan Lentur Arah X	D 25 - 200
Tulangan Lentur Arah Y	D 25 - 200
Tebal Pile Cap	800 mm
Dimensi Pile Cap	9,7 x 12,2 m
Jumlah Pile	20 buah

Raft Tangga Darurat	
Tulangan Lentur Arah X	D 25 - 200
Tulangan Lentur Arah Y	D 25 - 100
Tebal <i>Pile Cap</i>	800 mm
Dimensi <i>Pile Cap</i>	5,4 x 8,6 m
Jumlah <i>Pile</i>	10 buah

Berikut merupakan perhitungan dari *shear wall*

Properti Material dan Penampang

Tebal dinding geser,	t_w	= 2000 mm
Panjang (As ke As),	L	= 6000
Panjang kolom,	h_k	= 700 mm
Lebar kolom,	b_k	= 700 mm
Tinggi dinding geser total,	h_w	= 20000 mm
Diameter tulangan longitudinal badan,	d_l	= 19 mm
Diameter tulangan transversal badan,	d_t	= 19 mm
Diameter tulangan kolom,	d_b	= 22 mm
Kuat tekan beton,	f'_c	= 35 MPa
Kuat leleh baja tulangan,	f_y	= 420 MPa

Geometri

Panjang total,	L_w	= $L + h_k$ = 6700 mm
Panjang bersih,	L_n	= $L - h_k$ = 5300 mm
Luas penampang melintang,	A_{cv}	= $t_w \times L_w$ = 1340000 mm ²
Luas total ginding geser,	A_w	= $t_w \times L_n + 2 \times (b_k \times h_k)$ = 2040000 mm ²

Kebutuhan Tulangan Minimum

ϕ	= 0,75
Gaya geser, V_u / ϕ	= 153 N
Batas zona 1	= $0,083 \times A_{cv} \sqrt{f'_c}$

	$= 657986 \text{ N}$
Batas zona 2	$= 0,17 \times A_{cv} \sqrt{f'c'}$
	$= 1347683 \text{ N}$
Kesimpulan zona	$= \text{Zona 1}$
Rasio tul. longitudinal minimum, $\rho_{l,\min}$	$= 0,25\%$
Rasio tul. transversal minimum, $\rho_{t,\min}$	$= 0,25 \%$
Perlu 2 lapis tulangan atau tidak	$= \text{Perlu}$
Jumlah lapis tulangan pakai, n_{lapis}	$= 2$

Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial Lentur

Bagian Badan

Spasi longitudinal	s	$= 200 \text{ mm}$
Cek spasi tulangan maksimum,	s	$\leq 450 \text{ mm}$
	200	$\leq 450 \text{ mm}$ (MEMENUHI)
Rasio tulangan longitudinal,	ρ_l	$= n \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_1^2}{t_w \times s} = 1,418\%$
Cek rasio tulangan minimum	ρ_l	$\geq \rho_{l,\min}$
		$1,418\% \geq 0,25\%$ (MEMENUHI)

Bagian Kolom

Jumlah tulangan per kolom,	n	$= 16 \text{ buah}$
Rasio tulangan kolom,	ρ	$= n \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_b^2}{b_k \times h_k} = 1,241\%$
Cek rasio tulangan kolom	1%	$\leq \rho \leq 6\%$
	1%	$\leq 1,241\% \leq 6\%$ (MEMENUHI)

Pengecekan Kapasitas Geser

h_w / L_w		$= 2,9851$
α_c		$= 0$
Spasi tulangan transversal,	s	$= 200 \text{ mm}$
Cek spasi tulangan maksimum	s	$\leq 450 \text{ mm}$
	200	$\leq 450 \text{ mm}$ (MEMENUHI)
Rasio Tulangan Longitudinal, ρ_t		$= n_{\text{lapis}} \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_t^2}{t_w \times s} = 1,418\%$

Cek rasio tulangan minimum, $\rho_t \geq \rho_{t \text{ min}}$
 $1,418\% \geq 0,25\% \text{ (MEMENUHI)}$

Kuat geser dinding, $V_n = A_{cv} (\alpha_c \times \sqrt{f_c'} + \rho_t \times f_y) = 7978499 \text{ N}$

Batas kuat geser, $V_{n \text{ max}} = 0.66 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c'} = 5232181 \text{ N}$

Kuat geser yang dipakai $V_n \text{ pakai} = 5232181 \text{ N}$

Cek kapasitas geser, $V_n \text{ pakai} \geq V_u / \phi$
 $5232181 \text{ N} \geq 153 \text{ N (MEMENUHI)}$

Pengecekan Kebutuhan Elemen Batas Khusus

Displacement Based Method

Panjang zona tekan $c = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b \times \beta} = 250,172 \text{ mm}$

$\delta_u / h_w = 0,005$

$c - 0.1 L_w = -419,827 \text{ mm}$

$c/2 = 125,086 \text{ mm}$

$h_c + 300 = 1000 \text{ mm}$

Panjang elemen batas khusus, $L_{BE} = 1000 \text{ mm}$

$M_u / (4 V_u) = 451,031 \text{ mm}$

Tinggi elemen batas khusus, $h_{BE} = 6700 \text{ mm}$

Strength Based Method

Luas penampang total, $A_g = 2040000 \text{ mm}^2$

Inersia penampang, I_g

$$I_g = \frac{1}{12} \times t_w \times L_n^3 + 2 \times \left[\frac{1}{12} \times b_k \times h_k^3 + b_k \times h_k \times (L/2)^2 \right]$$

$$= 11341300000000 \text{ mm}^4$$

Jarak serat terluar, $y = \frac{L}{2} = \frac{6000}{2} = 3000 \text{ mm}$

Tegangan kondisi 1, $\sigma_1 = \frac{P_u}{A_g} + \frac{M_u \times y}{I_g}$

$$= \frac{674160}{2040000} + \frac{18,0611 \times 1000000 \times 3000}{11341300000000}$$

$$= 0,33 \text{ MPa}$$

Tegangan kondisi 2, $\sigma_2 = \frac{P_u}{A_g} - \frac{M_u \times y}{I_g}$

$$= \frac{674160}{2040000} - \frac{18,0611 \times 1000000 \times 3000}{11341300000000}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,33 \text{ MPa} \\
\text{Tegangan kondisi 3, } \sigma_3 &= \left(-\frac{Pu}{Ag}\right) + \frac{Mu \times y}{Ig} \\
&= -\frac{674160}{2040000} + \frac{18,0611 \times 1000000 \times 3000}{11341300000000} \\
&= -0,33 \text{ MPa} \\
\text{Tegangan kondisi 4, } \sigma_4 &= \left(-\frac{Pu}{Ag}\right) - \frac{Mu \times y}{Ig} \\
&= -\frac{674160}{2040000} - \frac{18,0611 \times 1000000 \times 3000}{11341300000000} \\
&= -0,33 \text{ MPa} \\
\text{Tegangan kondisi 5, } \sigma_5 &= \frac{Pu}{Ag} + \frac{Mu \times y}{Ig} \\
&= \frac{674160}{2040000} + \frac{18,0611 \times 1000000 \times 3000}{11341300000000} \\
&= 0,33 \text{ MPa} \\
\text{Tegangan kondisi 6, } \sigma_6 &= \left(-\frac{Pu}{Ag}\right) - \frac{Mu \times y}{Ig} \\
&= -\frac{674160}{2040000} - \frac{18,0611 \times 1000000 \times 3000}{11341300000000} \\
&= -0,33 \text{ MPa} \\
\text{Batas tegangan} &= 0,2f_c' = 7 \text{ MPa} \\
\text{Cek syarat} &\quad \text{tegangan} > \text{batas tegangan} \\
&\quad \text{(Tidak memerlukan elemen batas khusus)}
\end{aligned}$$

Penulangan elemen batas khusus

Daerah kolom

Selimut beton,	C_c	$= 50 \text{ mm}$
Diameter <i>confinement</i>	d_s	$= 13 \text{ mm}$
Jumlah kaki sejajar lebar kolom,	n_1	$= 4$
Jumlah kaki sejajar panjang kolom,	n_2	$= 4$
Spasi,	s	$= 65 \text{ mm}$
$A_{sh} 1$		$= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2$ $= 530,929 \text{ mm}^2$
$A_{sh} 2$		$= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2$ $= 530,929 \text{ mm}^2$
$A_{sh} / s, 1$		$= 8,168 \text{ mm}^2/\text{mm}$

$$A_{sh} / s, 2 = 8,168 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar penampang inti beton, } b_c &= b_k - 2c_c \\ &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang penampang inti beton, } h_c &= h_k - 2c_c \\ &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Penampang Kolom, } A_g &= b_k \times h_k \\ &= 490000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Penampang Inti Beton, } A_{ch} &= b_c \times h_c \\ &= 360000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sejajar lebar kolom

$$\begin{aligned} A_{sh}/s \text{ min, 1} &= 0.3 (h_c \times f'_c / f_y) \times (A_g / A_{ch} - 1) \\ &= 5,417 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh}/s \text{ min, 2} &= 0.09 \times h_c \times f'_c / f_y \\ &= 4,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek } A_{sh}/s \text{ 2, } A_{sh} / s, 1 &\geq (A_{sh}/s \text{ min, 1 ; } A_{sh}/s \text{ min, 2}) \\ 8,168 &\geq (5,417 ; 4,5 \text{ mm}) \text{ MEMENUHI} \end{aligned}$$

Sepanjang Panjang Kolom

$$\begin{aligned} A_{sh}/s \text{ min, 1} &= 0.3 (b_c \times f'_c / f_y) \times (A_g / A_{ch} - 1) \\ &= 5,417 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh}/s \text{ min, 2} &= 0.09 \times h_c \times f'_c / f_y \\ &= 4,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek } A_{sh}/s \text{ 1, } A_{sh} / s, 1 &\geq (A_{sh}/s \text{ min, 1 ; } A_{sh}/s \text{ min, 2}) \\ 8,168 &\geq (5,417 ; 4,5 \text{ mm}) \text{ MEMENUHI} \end{aligned}$$

Daerah badan

$$\text{Selimut beton, } C_c = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter } confinement, d_s = 19 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah kaki sejajar lebar kolom, } n1 = 3$$

$$\text{Jumlah kaki sejajar panjang kolom, } n2 = 2$$

$$\text{Spasi, } s = 50 \text{ mm}$$

$$A_{sh} \text{ 1} = n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 850,586 \text{ mm}^2 \\
 A_{sh} / 2 &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\
 &= 567,057 \text{ mm}^2 \\
 A_{sh} / s, 1 &= 17,012 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
 A_{sh} / s, 2 &= 11,341 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
 \text{Panjang daerah EBK badan} \quad b &= LBE - h_k \\
 &= 300 \text{ mm} \\
 \text{Lebar daerah EBK (tebal dinding)} \quad h &= tw = 200 \text{ mm} \\
 \text{Lebar penampang inti beton,} \quad b_c &= b - 2c_c \\
 &= 200 \text{ mm} \\
 \text{Panjang penampang inti beton,} \quad h_c &= h - 2c_c \\
 &= 100 \text{ mm} \\
 \text{Luas Penampang Kolom,} \quad A_g &= b \times h \\
 &= 6000 \text{ mm}^2 \\
 \text{Luas Penampang Inti Beton,} \quad A_{ch} &= b \times h \\
 &= 20000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Sejajar dinding

$$\begin{aligned}
 A_{sh}/s \text{ min, 1} &= 0.3 (h_c \times f'_c / f_y) \times (A_g / A_{ch} - 1) \\
 &= 5 \text{ mm}^2 \\
 A_{sh}/s \text{ min, 2} &= 0.09 \times h_c \times f'_c / f_y \\
 &= 0,75 \text{ mm}^2 \\
 \text{Cek } A_{sh}/s \text{ 2, } A_{sh} / s, 1 &\geq (A_{sh}/s \text{ min, 1 ; } A_{sh}/s \text{ min, 2}) \\
 17,012 &\geq (5 ; 0,75 \text{ mm}) \text{ MEMENUHI}
 \end{aligned}$$

Tegak lurus dinding

$$\begin{aligned}
 A_{sh}/s \text{ min, 1} &= 0.3 (b_c \times f'_c / f_y) \times (A_g / A_{ch} - 1) \\
 &= 10 \text{ mm}^2 \\
 A_{sh}/s \text{ min, 2} &= 0.09 \times h_c \times f'_c / f_y \\
 &= 1,5 \text{ mm}^2 \\
 \text{Cek } A_{sh}/s \text{ 1, } A_{sh} / s, 1 &\geq (A_{sh}/s \text{ min, 1 ; } A_{sh}/s \text{ min, 2}) \\
 11,341 &\geq (10 ; 1,5 \text{ mm}) \text{ MEMENUHI}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.36 Hasil Analisa Struktur *Shear Wall*

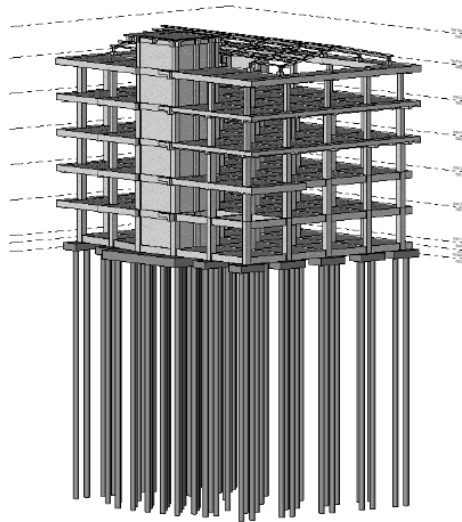
<i>Shear Wall</i>	
Tulangan <i>Longitudinal</i>	2 D 19 – 200
<i>Shear Wall</i>	
Tulangan <i>Transversal</i>	2 D 19 - 200
Tulangan Pengekang Elemen Batas Khusus (Sejajar Lebar)	3 D 19 – 50
Tulangan Pengekang Elemen Batas Khusus (Sejajar Panjang)	2 D 19 - 50

4.5.3 Hasil Perhitungan Volume Struktur dengan *AutoDesk Revit*

Perhitungan volume dengan Autodesk Revit didapatkan setelah proses permodelan elemen struktur yang terdiri dari struktur atas dan bawah. Permodelan tersebut dilakukan secara tiga dimensi (3D) dengan memasukkan detail penulangan sesuai dengan hasil analisa struktur yang sudah dilakukan dengan menggunakan *software* SAP2000 serta perhitungan pada *Microsoft Excel*. Setelah memasukkan semua elemen penulangan dan detailing dari permodelan tersebut maka Autodesk Revit dapat memunculkan fitur *material takeoff* dan *schedules/quantities* untuk mengeluarkan *output* dari volume material secara otomatis berdasarkan parameter yang sudah diinput. Hasil perhitungan tersebut dapat meminimalisir kesalahan manusia dalam melakukan perhitungan volume (*human error*) serta mendeteksi adanya tumpang tindih (*clash*) antar elemen bangunan.

Output dari Revit tersebut berupa volume kebutuhan beton, volume penulangan serta volume dari bekisting. *Output* yang digunakan hanya berfokus pada struktur saja seperti struktur bawah, struktur atas, tangga, *shear wall*, dan atap baja. Hasil tersebut digunakan untuk membantu dalam menghitung Rancangan Anggaran Biaya yang akan dilakukan.

Volume di setiap item pekerjaan ini terdapat pembengkakan dari perhitungan volume dari pihak pelaksana lapangan. Hal tersebut dikarenakan terdapat beberapa penambahan struktur seperti tangga darurat dan *shear wall* serta perubahan dimensi di setiap strukturnya. Berikut merupakan gambar visualisasi 3D dan *Quantity Take Off* (QTO) dapat dilihat pada gambar 4.19 dan 4.20



Gambar 4.19 Visualisasi 3D Revit

Item	Description	Quantity	Unit
1	Volume Beton	175239,200	m³
2	Volume Bata	633,360	m³
3	Volume Pile	9739,580	m³
4	Volume Pile Cap	206,080	m³
5	Volume Pile Cap	132,480	m³

Gambar 4.20 Quantity Take Off Revit

Berikut merupakan rekapitulasi dari kebutuhan volume di setiap item pekerjaan pada tabel 4.33, 4.34, 4.35, 4.36, 4.37, 4.38, 4.39, 4.40, dan 4.41.

Tabel 4.37 Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Pondasi

<i>Bore Pile</i>		
Pek. Penulangan <i>Bore Pile</i>	175239,200	kg
Pek. Pengecoran <i>Bore Pile</i>	633,360	m ³
<i>Pile Cap P1 360 x 200 cm</i>		
Pek. Penulangan <i>Pile Cap</i>	9739,580	kg
Pek. Pemasangan Bekisting <i>Pile Cap</i>	206,080	m ²
Pek. Pengecoran <i>Pile Cap</i>	132,480	m ³

<i>Pile Cap P2 360 x 360 cm</i>		
Pek. Penulangan <i>Pile Cap</i>	738,320	kg
Pek. Pemasangan Bekisting <i>Pile Cap</i>	11,520	m ²
Pek. Pengecoran <i>Pile Cap</i>	10,368	m ³
<i>Pekerjaan Raft 900 x 390 cm</i>		
Pek. Penulangan <i>Pile Cap</i>	3085,200	kg
Pek. Pemasangan Bekisting <i>Pile Cap</i>	24,800	m ²
Pek. Pengecoran <i>Pile Cap</i>	35,100	m ³

Tabel 4.38 Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Struktur Lantai 1

<i>Pekerjaan Sloof</i>		
Pek. Penulangan Sloof	17538,730	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Sloof	729,484	m ²
Pek. Pengecoran Sloof	82,920	m ³
<i>Pekerjaan Kolom K1 70 x 70</i>		
Pek. Penulangan Kolom	20508,980	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	416,640	m ²
Pek. Pengecoran Kolom	70,255	m ³
<i>Pekerjaan Kolom K2 60 x 60</i>		
Pek. Penulangan Kolom	824,760	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	23,040	m ²
Pek. Pengecoran Kolom	3,456	m ³
<i>Pekerjaan Kolom K3 50 x 50</i>		
Pek. Penulangan Kolom	1200,800	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	28,800	m ²
Pek. Pengecoran Kolom	3,564	m ³
<i>Pekerjaan Plat Lantai</i>		
Pek. Penulangan Plat Lantai	15688,209	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Plat Lantai	650,400	m ²
Pek. Pengecoran Plat Lantai	97,560	m ³
<i>Pekerjaan Tangga</i>		
Pek. Penulangan Tangga	856,182	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Tangga	146,602	m ²
Pek. Pengecoran Tangga	7,016	m ³
<i>Pekerjaan Shear Wall</i>		
Pek. Penulangan <i>Shear Wall</i>	11446,647	kg

Pek. Pemasangan Penulangan <i>Shear Wall</i>	145,998	m ²
Pek. Pengecoran <i>Shear Wall</i>	29,200	m ³

Tabel 4.39 Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Struktur Lantai 2

Pekerjaan Kolom K1 70 x 70		
Pek. Penulangan Kolom	15909,000	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	366,000	m ²
Pek. Pengecoran Kolom	57,499	m ³
Pekerjaan Kolom K2 60 x 60		
Pek. Penulangan Kolom	1333,620	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	28,800	m ²
Pek. Pengecoran Kolom	4,298	m ³
Pekerjaan Kolom K3 50 x 50		
Pek. Penulangan Kolom	1236,690	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	24,000	m ²
Pek. Pengecoran Kolom	2,978	m ³
Pekerjaan B1 40 x 80		
Pek. Penulangan Balok	1568,805	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	752,618	m ²
Pek. Pengecoran Balok	75,255	m ³
Pekerjaan B2 35 x 70		
Pek. Penulangan Balok	7313,613	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	414,645	m ²
Pek. Pengecoran Balok	37,641	m ³
Pekerjaan B3 25 x 50		
Pek. Penulangan Balok	1493,724	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	89,025	m ²
Pek. Pengecoran Balok	5,192	m ³
Pekerjaan B5 20 x 40		
Pek. Penulangan Balok	630,102	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	40,170	m ²
Pek. Pengecoran Balok	2,153	m ³
Pekerjaan Plat Lantai 2		
Pek. Penulangan Plat Lantai	26053,224	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Plat Lantai	639,997	m ²
Pek. Pengecoran Plat Lantai	76,800	m ³

Pekerjaan Tangga		
Pek. Penulangan Tangga	856,182	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Tangga	146,602	m ²
Pek. Pengecoran Tangga	7,016	m ³
Pekerjaan <i>Shear Wall</i>		
Pek. Penulangan <i>Shear Wall</i>	11446,647	kg
Pek. Pemasangan Penulangan <i>Shear Wall</i>	146,078	m ²
Pek. Pengecoran <i>Shear Wall</i>	29,216	m ³

Tabel 4.40 Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Struktur Lantai 3

Pekerjaan Kolom K1 70 x 70		
Pek. Penulangan Kolom	15909	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	336	m ²
Pek. Pengecoran Kolom	57,491	m ³
Pekerjaan Kolom K2 60 x 60		
Pek. Penulangan Kolom	1333,620	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	28,800	m ²
Pek. Pengecoran Kolom	4,298	m ³
Pekerjaan Kolom K3 50 x 50		
Pek. Penulangan Kolom	1236,690	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	24,000	m ²
Pek. Pengecoran Kolom	2,978	m ³
Pekerjaan B1 40 x 80		
Pek. Penulangan Balok	16451,731	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	780,026	m ²
Pek. Pengecoran Balok	78,206	m ³
Pekerjaan B2 35 x 70		
Pek. Penulangan Balok	8403,419	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	486,465	m ²
Pek. Pengecoran Balok	44,411	m ³
Pekerjaan B3 25 x 50		
Pek. Penulangan Balok	1596,446	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	95,1	m ²
Pek. Pengecoran Balok	5,256	m ³
Pekerjaan B5 20 x 40		
Pek. Penulangan Balok	630,102	kg

Pek. Pemasangan Bekisting Balok	40,170	m ²
Pek. Pengecoran Balok	2,153	m ³
Pekerjaan Plat Lantai 3		
Pek. Penulangan Plat Lantai	29497,131	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Plat Lantai	730,897	m ²
Pek. Pengecoran Plat Lantai	87,708	m ³
Pekerjaan Tangga		
Pek. Penulangan Tangga	856,182	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Tangga	146,602	m ²
Pek. Pengecoran Tangga	7,016	m ³
Pekerjaan Shear Wall		
Pek. Penulangan <i>Shear Wall</i>	11446,647	kg
Pek. Pemasangan Penulangan <i>Shear Wall</i>	146,602	m ²
Pek. Pengecoran <i>Shear Wall</i>	29,216	m ³

Tabel 4.41 Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Struktur Lantai 4

Pekerjaan Kolom K1 70 x 70		
Pek. Penulangan Kolom	2651,5	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	56	m ²
Pek. Pengecoran Kolom	9,682	m ³
Pekerjaan Kolom K2 60 x 60		
Pek. Penulangan Kolom	12447,12	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	268,8	m ²
Pek. Pengecoran Kolom	39,424	m ³
Pekerjaan Kolom K3 50 x 50		
Pek. Penulangan Kolom	1236,690	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	24,000	m ²
Pek. Pengecoran Kolom	2,978	m ³
Pekerjaan B1 40 x 80		
Pek. Penulangan Balok	12286,839	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	599,28	m ²
Pek. Pengecoran Balok	56,808	m ³
Pekerjaan B2 35 x 70		
Pek. Penulangan Balok	8742,882	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	475,631	m ²

Pek. Pengecoran Balok	43,264	m ³
Pekerjaan B3 25 x 50		
Pek. Penulangan Balok	4476,782	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	267,45	m ²
Pek. Pengecoran Balok	15,982	m ³
Pekerjaan B5 20 x 40		
Pek. Penulangan Balok	630,102	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	40,170	m ²
Pek. Pengecoran Balok	2,153	m ³
Pekerjaan Plat Lantai 4		
Pek. Penulangan Plat Lantai	30923,993	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Plat Lantai	756,593	m ²
Pek. Pengecoran Plat Lantai	90,791	m ³
Pekerjaan Tangga		
Pek. Penulangan Tangga	856,182	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Tangga	146,602	m ²
Pek. Pengecoran Tangga	7,016	m ³
Pekerjaan <i>Shear Wall</i>		
Pek. Penulangan <i>Shear Wall</i>	11446,647	kg
Pek. Pemasangan Penulangan <i>Shear Wall</i>	146,602	m ²
Pek. Pengecoran <i>Shear Wall</i>	29,216	m ³

Tabel 4.42 Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Struktur Lantai 5

Pekerjaan Kolom K1 70 x 70		
Pek. Penulangan Kolom	2651,5	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	56	m ²
Pek. Pengecoran Kolom	9,8	m ³
Pekerjaan Kolom K2 60 x 60		
Pek. Penulangan Kolom	1333,62	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	28,8	m ²
Pek. Pengecoran Kolom	4,298	m ³
Pekerjaan Kolom K3 50 x 50		
Pek. Penulangan Kolom	11542,44	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	160	m ²
Pek. Pengecoran Kolom	19.858	m ³

Pekerjaan B1 40 x 80		
Pek. Penulangan Balok	10042,235	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	426,36	m ²
Pek. Pengecoran Balok	42,147	m ³
Pekerjaan B2 35 x 70		
Pek. Penulangan Balok	9231,924	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	524,246	m ²
Pek. Pengecoran Balok	47,53	m ³
Pekerjaan B3 25 x 50		
Pek. Penulangan Balok	5386,44	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	330,375	m ²
Pek. Pengecoran Balok	19,67	m ³
Pekerjaan B5 20 x 40		
Pek. Penulangan Balok	630,102	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	40,17	m ²
Pek. Pengecoran Balok	2,189	m ³
Pekerjaan Plat Lantai 5		
Pek. Penulangan Plat Lantai	30923,993	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Plat Lantai	756,593	m ²
Pek. Pengecoran Plat Lantai	90,791	m ³
Pekerjaan Tangga		
Pek. Penulangan Tangga	433,005	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Tangga	85,943	m ²
Pek. Pengecoran Tangga	4,139	m ³
Pekerjaan <i>Shear Wall</i>		
Pek. Penulangan <i>Shear Wall</i>	11446,647	kg
Pek. Pemasangan Penulangan <i>Shear Wall</i>	146,078	m ²
Pek. Pengecoran <i>Shear Wall</i>	29,216	m ³

Tabel 4.43 Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Struktur *Top Floor*

Pekerjaan B1 40 x 80		
Pek. Penulangan Balok	8947,273	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	443,976	m ²
Pek. Pengecoran Balok	50,808	m ³
Pekerjaan B2 35 x 70		
Pek. Penulangan Balok	7851,39	kg

Pek. Pemasangan Bekisting Balok	427,98	m ²
Pek. Pengecoran Balok	45,758	m ³
Pekerjaan B3 25 x 50		
Pek. Penulangan Balok	1291,492	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	78	m ²
Pek. Pengecoran Balok	5,386	m ³
Pekerjaan B5 20 x 40		
Pek. Penulangan Balok	158,915	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Balok	10,23	m ²
Pek. Pengecoran Balok	0,562	m ³
Pekerjaan Plat Lantai <i>Top Floor</i>		
Pek. Penulangan Plat Lantai	18684,693	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Plat Lantai	342,199	m ²
Pek. Pengecoran Plat Lantai	41,064	m ³

Tabel 4.44 Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Struktur Rumah *Lift*

Pekerjaan Kolom K2 60 x 60		
Pek. Penulangan Kolom	1066,4	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	25,2	m ²
Pek. Pengecoran Kolom	3,78	m ³
Pekerjaan Kolom K3 50 x 50		
Pek. Penulangan Kolom	2278,814	kg
Pekerjaan Kolom K3 50 x 50		
Pek. Pemasangan Bekisting Kolom	49	m ²
Pek. Pengecoran Kolom	6,125	m ³
Pekerjaan Plat Lantai Rumah <i>Lift</i>		
Pek. Penulangan Plat Lantai	3200,776	kg
Pek. Pemasangan Bekisting Plat Lantai	63,141	m ²
Pek. Pengecoran Plat Lantai	7,577	m ³
Pekerjaan <i>Shear Wall</i>		
Pek. Penulangan <i>Shear Wall</i>	5731,701	kg
Pek. Pemasangan Penulangan <i>Shear Wall</i>	72,8	m ²
Pek. Pengecoran <i>Shear Wall</i>	14,560	m ³

Tabel 4.45 Hasil Kebutuhan Volume Pekerjaan Atap Baja Ringan

Pekerjaan Atap Baja Ringan		
Pek. Kolom IWF 300.150.6,5.9	267,29	kg
Pek. Rafter IWF 300.150.6,5.9	3369,38	kg
Pek. Gording C 150.50.20.3,2	920,56	kg

4.5.4 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

Perhitungan Rencana Anggaran Biaya dilakukan setelah mengetahui volume kebutuhan untuk setiap pekerjaan struktur yang diperoleh melalui permodelan *Autodesk Revit*. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut terdapat perbedaan volume baik pada struktur bawah maupun struktur atas. Perbedaan volume ini disebabkan adanya penyesuaian dimensi struktur serta penambahan elemen struktur baru seperti tangga darurat dan *shearwall*. Perubahan tersebut dilakukan untuk memastikan keamanan struktur bangunan memenuhi standar yang berlaku. Terjadinya perbedaan volume tersebut berdampak pada pembengkakan dari nilai RAB yang sudah ada. Total dari perhitungan rencana anggaran biaya dari pekerjaan struktur yaitu Rp. 20.006.245.383,92 sedangkan untuk total harga rencana anggaran biaya asli yaitu sekitar Rp. 11.558.538.083,59. Selisih harga tersebut cukup signifikan dikarenakan terdapat perubahan dalam dimensi struktur serta penambahan *shear wall*, tangga darurat, serta *raft* pondasi. Penambahan serta perubahan struktur tersebut dilakukan agar bangunan memenuhi standart yang berlaku dan aman. Untuk perhitungan Rencana Anggaran biaya dapat dilihat pada gambar 4.21.

Tabel 4.46 Perbandingan Rencana Anggaran Biaya

Perencanaan Struktur	RAB Total	RAB + PPN 11%
Struktur Awal	Rp 11.558.538.083,59	Rp 12.830.000.000,00
Struktur <i>Redesain</i>	Rp 18.367.956.503.59	Rp 20.388.400.000,00
Struktur <i>Redesain</i> + <i>Shearwall</i> + Tangga Darurat	Rp 20.006.245.383,92	Rp 22.206.900.000,00

NO	SKETSA	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	TOTAL VOLUME	HARGA SATUAN	JUMLAH HARGA
1	2	3	4	5	6	7
1		PEKERJAAN PERSIAPAN				Rp 435.503.488,37
1.1		1 M2 Membersihkan lapangan dan perataan	m2	784,39	Rp 24.750,00	Rp 19.413.652,50
1.2		1 M Pagar sementara dari seng gelombang tinggi 2 meter	m	31,5	Rp 428.216,88	Rp 13.488.831,87
1.3		1 M Pengukuran dan pemasangan bouwplank	m	138	Rp 94.572,50	Rp 13.051.065,00
		Biaya Operator dan Solar	bln	8	Rp 35.000.000,00	Rp 280.000.000,00
		Mobilisasi Demobilisasi	ls	1	Rp 100.000.000,00	Rp 100.000.000,00
		Alat Pelindung Diri				
		- Rompi Pekerja	unit	60	Rp 10.000,00	Rp 600.000,00
		- Helm Proyek	unit	60	Rp 20.000,00	Rp 1.200.000,00
		- Sepatu Pengaman	unit	60	Rp 100.000,00	Rp 6.000.000,00
		- Full Harness	unit	5	Rp 350.000,00	Rp 1.750.000,00
2		PEKERJAAN PONDASI				Rp 4.530.587.000,33
		Pekerjaan Tanah				Rp 608.143.280,03
		Pek. Galian Tanah	m3	1195,348	Rp 491.964,00	Rp 588.018.987,07
		Pek. Urugan Tanah Kembali	m3	265,600	Rp 75.769,10	Rp 20.124.272,96
		Pek. Pemadatan Tanah	m3	265,600	Rp 38.775,00	Rp 10.298.640,00
		Pekerjaan Borepile				Rp 3.661.385.132,47
		Pek. Pemulangan Borepile	kg	175239,200	Rp 16.162,23	Rp 2.832.255.671,29
		Pek. Pengecoran Borepile	m3	633,360	Rp 1.309.065,08	Rp 829.109.461,18
		Pekerjaan PileCap P1 360 x 200 cm				Rp 401.320.074,80
		Pek. Pemulangan PileCap	kg	9739,580	Rp 16.162,23	Rp 157.413.299,60
		Pek. Pemancangan Boksing PileCap	m2	206,080	Rp 342.012,00	Rp 70.481.832,96
		Pek. Pengecoran PileCap	m3	132,480	Rp 1.309.065,08	Rp 173.424.942,24
		Pekerjaan PileCap P2 360 x 360 cm				Rp 29.445.260,22

Gambar 4.21 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

Berikut merupakan perhitungan dari Rencana Anggaran Biaya pekerjaan struktur atas dan bawah dapat dilihat pada tabel 4.43 berikut ini.

Tabel 4.47 Hasil Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

Pekerjaan Struktur Bawah	
Pekerjaan Pondasi	Rp. 4.530.587.000,33
Pekerjaan Struktur Lantai 1	
Pekerjaan Sloof	Rp. 559.512.345,59
Pekerjaan Kolom	
Pekerjaan Kolom K1 70 x 70	Rp. 565.935.030,57
Pekerjaan Kolom K2 60 x 60	Rp. 25.734.043,47
Pekerjaan Kolom K3 50 x 50	Rp. 33.923.055,34
Pekerjaan Plat Lantai	
Pekerjaan Plat Lantai	Rp. 585.827.384,18
Pekerjaan Tangga	
Pekerjaan Tangga	Rp. 69.130.296,40
Pekerjaan Shear Wall	
Pekerjaan Shear Wall	Rp. 269.146.126,80
Pekerjaan Struktur Lantai 2	
Pekerjaan Kolom	
Pekerjaan Kolom K1 70 x 70	Rp. 457.571.189,27
Pekerjaan Kolom K2 60 x 60	Rp. 37.030.576,06
Pekerjaan Kolom K3 50 x 50	Rp. 32.094.347,91
Pekerjaan Balok	
Pekerjaan Balok B1 40 x 80	Rp. 614.975.318,09

Pekerjaan Balok B2 35 x 70	Rp. 312.371.094,73
Pekerjaan Balok B3 25 x 50	Rp. 62.047.200,70
Pekerjaan Balok B5 20 x 40	Rp. 27.039.152,76
Pekerjaan Plat Lantai	
Pekerjaan Plat Lantai	Rp. 722.901.046,55
Pekerjaan Tangga	
Pekerjaan Tangga	
Pekerjaan Tangga	Rp. 69.130.296,40
Pekerjaan <i>Shear Wall</i>	
Pekerjaan <i>Shear Wall</i>	Rp. 269.192.232,80
Pekerjaan Struktur Lantai 3	
Pekerjaan Kolom	
Pekerjaan Kolom K1 70 x 70	Rp. 447.300356,75
Pekerjaan Kolom K2 60 x 60	Rp. 37.030.576,06
Pekerjaan Kolom K3 50 x 50	Rp. 32.094.347,91
Pekerjaan Balok	
Pekerjaan Balok B1 40 x 80	Rp. 640.843.294,75
Pekerjaan Balok B2 35 x 70	Rp. 363.943.722,27
Pekerjaan Balok B3 25 x 50	Rp. 65.914.026,89
Pekerjaan Balok B5 20 x 40	Rp. 27.039.152,76
Pekerjaan Plat Lantai	
Pekerjaan Plat Lantai	Rp. 821.430.674,83
Pekerjaan Tangga	
Pekerjaan Tangga	Rp. 69.130.296,40
Pekerjaan <i>Shear Wall</i>	
Pekerjaan <i>Shear Wall</i>	Rp. 269.192.232,80
Pekerjaan Struktur Lantai 4	
Pekerjaan Kolom	
Pekerjaan Kolom K1 70 x 70	Rp. 74.681.184,14
Pekerjaan Kolom K2 60 x 60	Rp. 344.714.582,23
Pekerjaan Kolom K3 50 x 50	Rp. 32.094.347,91
Pekerjaan Balok	
Pekerjaan Balok B1 40 x 80	Rp 482.358.651,55
Pekerjaan Balok B2 35 x 70	Rp 364.14.902,12
Pekerjaan Balok B3 25 x 50	Rp 186.733.169,23
Pekerjaan Balok B5 20 x 40	Rp 27.047.007,15

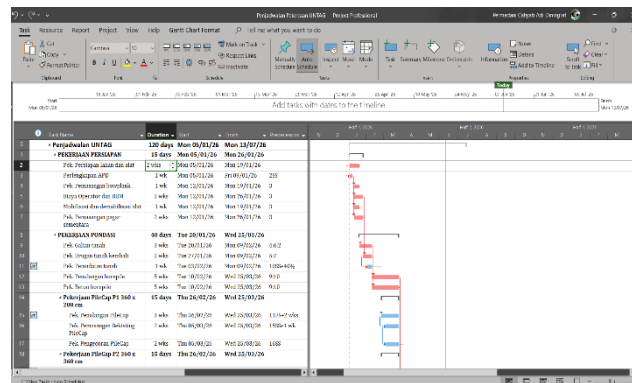
Pekerjaan Plat Lantai	
Pekerjaan Plat Lantai	Rp 856.609.489,90
Pekerjaan Tangga	
Pekerjaan Tangga	Rp. 69.130.296,40
Pekerjaan <i>Shear Wall</i>	
Pekerjaan <i>Shear Wall</i>	Rp. 269.192.232,80
Pekerjaan Struktur Lantai 5	
Pekerjaan Kolom	
Pekerjaan Kolom K1 70 x 70	Rp 74.835.653,82
Pekerjaan Kolom K2 60 x 60	Rp 37.030.576,06
Pekerjaan Kolom K3 50 x 50	Rp 267.268.865,99
Pekerjaan Balok	
Pekerjaan Balok B1 40 x 80	Rp 366.464.003,70
Pekerjaan Balok B2 35 x 70	Rp 394.619.261,17
Pekerjaan Balok B3 25 x 50	Rp 228.251.423,27
Pekerjaan Balok B5 20 x 40	Rp 27.086.279,10
Pekerjaan Plat Lantai	
Pekerjaan Plat Lantai	Rp 856.609.489,90
Pekerjaan Tangga	
Pekerjaan Tangga	Rp 39.446.650,15
Pekerjaan <i>Shear Wall</i>	
Pekerjaan <i>Shear Wall</i>	Rp. 269.192.232,80
Pekerjaan Struktur Top Floor	
Pekerjaan Balok	
Pekerjaan Balok B1 40 x 80	Rp 366.260.474,54
Pekerjaan Balok B2 35 x 70	Rp 336.348.192,17
Pekerjaan Balok B3 25 x 50	Rp 55.180.096,98
Pekerjaan Balok B5 20 x 40	Rp 6.878.855,34
Pekerjaan Plat Lantai	
Pekerjaan Plat Lantai	Rp 463.367.383,93
Pekerjaan Struktur Rumah Lift	
Pekerjaan Kolom	
Pekerjaan Kolom K2 60 x 60	Rp 30.802.366,93
Pekerjaan Kolom K3 50 x 50	Rp 61.607.320,03
Pekerjaan Plat Lantai	
Pekerjaan Plat Lantai	Rp 81.509.055,55

Pekerjaan <i>Shear Wall</i>	
Pekerjaan <i>Shear Wall</i>	Rp 134.593.511,96
Pekerjaan Atap Baja Ringan	
Pekerjaan Atap	Rp 130.178.018,30
Jumlah Pekerjaan Struktur	Rp 20.006.245.383,92
PPN 12%	Rp 2.400.749.446,07
Total Pekerjaan Struktur	Rp 22.406.994.829,99
Pembulatan	Rp 22.407.000.000,00

4.5.5 Penjadwalan Proyek dengan Microsoft Project

Penjadwalan proyek menggunakan *Microsoft Project* ini berfungsi sebagai instrumen utama dalam merencanakan, serta mengendalikan estimasi waktu agar tidak terjadi keterlambatan pekerjaan konstruksi. Proses ini diawali dengan mengintegrasikan data dari Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang telah disusun sebelumnya, di mana seluruh item pekerjaan beserta volumenya digunakan untuk menghitung waktu pelaksanaan. Setelah dihitung bobot pekerjaan maka dibuat kurva S secara manual menggunakan *Microsoft Excel*. Setelah Kurva S selesai dibentuk menggunakan *Microsoft Excel*, seluruh data tersebut kemudian diintegrasikan ke dalam *Microsoft Project*. Struktur rincian kerja (*Work Breakdown Structure* atau WBS), item pekerjaan, hubungan keterkaitan antar-aktivitas (*predecessors*), serta alokasi durasi diinput dengan target total waktu pelaksanaan proyek.

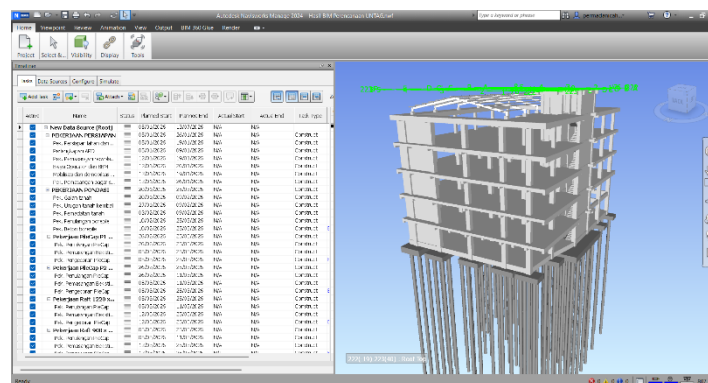
Pada pelaksanaan proyek yang sedang berjalan tidak memakai kurva s dan *Microsoft Project* dikarenakan proyek tersebut merupakan proyek swakelola. Namun, setelah dilakukan penjadwalan terbaru menggunakan *Microsoft Project* maka total waktu pekerjaan yang dibutuhkan untuk menyelesaikan seluruh pekerjaan yaitu selama 120 hari kerja dengan nilai slank 0. Berikut merupakan hasil dari penjadwalan menggunakan *Microsoft Project* dapat dilihat pada gambar 4.22.



Gambar 4.22 Penjadwalan dengan *Microsoft Project*

4.5.6 Integrasi BIM 5D dengan *Naviswork*

Setelah seluruh elemen model 3D dari *Autodesk Revit* dan data penjadwalan 120 hari dari *Microsoft Project* berhasil diintegrasikan di dalam *Autodesk Navisworks*, dilakukan simulasi *timeliner* untuk mengevaluasi integrasi BIM 5D (waktu dan biaya). Berdasarkan hasil simulasi visual penjadwalan yang dijalankan, diketahui tidak terjadi *clash detection* waktu atau tumpang tindih urutan metode kerja sepanjang proyek berlangsung. Selain aspek waktu (4D), integrasi ini menyajikan visualisasi mengenai proyek (BIM 5D). Melalui fitur *Timeliner Cost*, perkembangan biaya kumulatif dapat dipantau secara *real-time* seiring dengan progres fisik konstruksi dari hari ke-1 hingga hari ke-120. Hasil akhir integrasi ini menyajikan informasi menyeluruh mengenai jumlah pemakaian biaya di setiap tahapan pekerjaan, serta ringkasan total biaya akhir yang dikeluarkan untuk menyelesaikan seluruh proyek konstruksi ini. Berikut merupakan hasil integrasi dengan menggunakan *Naviswork* dapat dilihat pada gambar 4.19.



Gambar 4.23 Hasil Integrasi *Naviswork*

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perencanaan dan analisis yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perencanaan ulang struktur atas dan struktur bawah Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang telah direncanakan ulang dan disesuaikan dengan standar bangunan tahan gempa menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus yaitu sesuai dengan SNI 1726:2019 sehingga struktur dapat menahan beban gempa.
2. Hasil evaluasi dari perencanaan ulang pada bangunan eksisting menunjukkan bahwa struktur awal yang tidak aman terhadap gempa sehingga dilakukan penyesuaian struktur berupa penambahan *shear wall* untuk meningkatkan kekakuan, stabilitas terhadap beban gempa. Selain itu juga terdapat perubahan dimensi serta elemen struktur agar bangunan tersebut aman terhadap beban gempa. Terdapat penambahan tangga darurat sebagai upaya peningkatan aspek keselamatan dan kelengkapan sebagai jalur evakuasi.
3. Pemodelan ulang struktur Gedung Fakultas Hukum UNTAG Semarang menggunakan *Autodesk Revit* menghasilkan model struktur tiga dimensi yang terintegrasi sehingga mempermudah proses visualisasi, koordinasi elemen struktur, dan perhitungan volume pekerjaan. Sehingga meminimalisir risiko kesalahan gambar dan *clash detection* antar elemen struktur. Selain itu *Autodesk Revit* juga dapat mengekstrak volume material secara otomatis yang terdiri dari perhitungan volume beton, berat penulangan, dan luas bekisting dimana membantu dalam proses perhitungan volume pada Rencana Anggaran Biaya (RAB) menjadi lebih cepat dan akurat yang dapat meminimalisir risiko *human eror*.
4. Penggunaan *Microsoft Project* dalam perencanaan ulang ini menghasilkan durasi waktu pekerjaan konstruksi yaitu selama 120 hari kerja. Durasi tersebut

diperoleh melalui penyusunan urutan kerja seperti dari pekerjaan struktur bawah sampai dengan struktur atas sehingga tidak terjadi pekerjaan yang tumpang tindih.

5. Penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dengan data volume material (*Quantity Take Off*) dari *Autodesk Revit* dapat terhitung secara rinci berdasarkan dimensi yang dapat meminimalisir kesalahan hitung manual (*human error*). Volume tersebut terdiri dari volume beton, volume penulangan, dan volume bekisting dimana volume tersebut digunakan dalam perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dengan total anggaran biaya sebesar Rp. 20.006.245.383,92 sedangkan untuk total harga rencana anggaran biaya asli yaitu sekitar Rp. 11.558.538.083,59.. Penerapan integrasi BIM 5D dilakukan dengan menyelaraskan model struktur 3D dari *Revit*, penjadwalan dengan *Microsoft Project* (4D), dan estimasi biaya (5D). Melalui BIM 5D ini biaya dapat melihat apabila terjadi pekerjaan struktur yang tumpang tindih dan juga dapat melihat apabila terjadi perubahan desain atau keterlambatan jadwal dilapangan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil perencanaan ulang yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam perencanaan struktur bangunan maupun penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut:

1. Perencana struktur disarankan untuk selalu mengacu pada standar perencanaan terbaru yang berlaku, khususnya terkait perencanaan ketahanan gempa, agar bangunan yang direncanakan memiliki tingkat keamanan dan kinerja struktur yang baik.
2. Pada proses perencanaan bangunan, aspek keselamatan dan fungsi bangunan, seperti penyediaan tangga darurat serta sistem evakuasi, sebaiknya dipertimbangkan sejak tahap awal perencanaan agar sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
3. Untuk bangunan eksisting yang belum memenuhi persyaratan kinerja terhadap beban gempa, perlu dilakukan evaluasi struktur secara menyeluruh sehingga

dapat ditentukan metode perkuatan yang sesuai, seperti penggunaan shear wall atau alternatif sistem perkuatan lainnya.

4. Penggunaan *Autodesk Revit* dalam pemodelan struktur disarankan untuk terus dikembangkan karena dapat membantu proses visualisasi, perhitungan volume pekerjaan, serta integrasi data dalam perencanaan bangunan.
5. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan analisis struktur dengan mempertimbangkan alternatif sistem struktur, metode perkuatan lain, atau analisis yang lebih detail agar diperoleh hasil perencanaan yang lebih optimal dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardianto, O. P. S., Kristianto, T. A., Budianto, C. A., Rucitra, A. A., & Wardoyo, A. (2019). Evaluasi Media Presentasi Perancangan Interior Rumah Air Surabaya Berbasis Virtual Tour sebagai Usaha Penerapan Building Information Modelling pada Perancangan Interior. *Jurnal Desain Interior*, 4(1), 11-36.
- Berlian, C. A., Adhi, R. P., Nugroho, H., & Hidayat, A. (2016). Perbandingan Efisiensi Waktu, Biaya dan Sumber Daya Manusia Antara Metode BIM dan Konvensional (Studi kasus: Perencanaan Gedung 20 Lantai). *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 5(2), 220-229.
- Christiandava, A. R., Azzahra, A., Nurdiana, A., & Setiabudi, B. (2023). Re-Design Struktur Gedung Head Office Awann Group Berdasarkan Integrasi BIM Autodesk melalui Revit, Naviswork, dan SAP2000. *Jurnal Sipil dan Arsitektur*, 1(1), 16-32.
- Evan, E., Kristiana, W., & Dewantoro, D. (2021). TAHAPAN PERENCANAAN DAN ESTIMASI BIAYA PADA PROYEK PEMBANGUNAN BANGUNAN GEDUNG NEGARA. *INFO-TEKNIK*, 22(1), 63-78.
- Fernanda, N. A., Pratama, R. D., Nurdiana, A., & Setiabudi, B. (2023). Perencanaan Ulang Struktur Portal Utama Gedung PT. Ferron Par Pharmaceuticals Cikarang Integrasi BIM (Building Information Modelling). *Jurnal Sipil dan Arsitektur*, 1(2), 55-72.
- Gedung, P. P. I. U. (1983). PPIUG 1983 “Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung dan Non Gedung”.
- Hardianto, Y., Islam, I. M., Setiabudi, B., & Nurdiana, A. (2024). Perencanaan Ulang Rumah Susun Tenaga Pendidik Universitas Gadjah Mada dengan Konsep Building Information Modeling (BIM) 5D. *Jurnal Sipil dan Arsitektur*, 2(1), 33-47.
- Khatimi, H., & Pardosi, K. F. (2022). Implementasi Building Information Modeling 4D (Studi Kasus: Proyek Lanjutan Pembangunan Gedung Kantor

- Sekretariat Daerah Kabupaten Tapin). *Construction and Material Journal*, 4(1), 1-10.
- Koesuma, S., Fajrin, V., & Sunardi, B. (2022). Identifikasi Zona Bahaya Gempa Bumi Berdasarkan Percepatan Tanah Maksimum Di Kota Semarang. *Indonesian Journal of Environment and Disaster*, 1(2), 65-72.
- Marizan, Y. (2019). Studi Literatur Tentang Penggunaan Software Autodesk Revit Studi Kasus Perencanaan Puskesmas Sukajadi Kota Prabumulih. *Jurnal Ilmiah Bering's*, 6(01), 15-26.
- Manoppo, J. B., Sumajouw, M. D., & Handono, B. D. (2023). Perencanaan Ulang Struktur Bangunan Gedung Kelas 5 Lantai Di Politeknik Pelayaran Sulawesi Utara. *TEKNO*, 21(83), 397-407.
- Nasional, B. S. (2013). SNI 1727: 2013 *Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain*. Jakarta: BSN.
- Nasional, B. S. (2019). SNI 1726: 2019. *Tata Cara Perenc. Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, (8), Jakarta. BSN.
- Nasional, B. S. (2019). SNI 2847: 2019 *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan*. Jakarta: BSN.
- Rahaditya, V. A., & Bhaskara, I. B. A. (2020). Tutorial Pemodelan, Perhitungan Volume, dan Biaya Menggunakan Revit 2018.
- Sholeh, M. N. (2021). *Analisa Struktur SAP2000 v22*. Pustaka Pranala.
- Sholeh, M. N., & Nurdiana, A. (2021). *Belajar Cepat Microsoft Project 2019*. Pustaka.
- Salsabila, A. D., & Machmoed, S. P. (2023). *PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG GEDUNG HOTEL" DAME" 10 LANTAI TAHAN GEMPA DENGAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK) DI KOTA PADANG* (Doctoral dissertation, Wijaya Kusuma Surabaya University).
- Saputra, R., Ishak, I., & Masril, M. (2022). Perencanaan Ulang Pembangunan Masjid Wustha Payakumbuh. *Ensiklopedia Research and Community Service Review*, 1(2), 123-129.

- Sutjipto, S., & Sumeru, I. (2018). Spektrum Respons Desain RSNI 1726: 2018 Berdasarkan Peta Gempa Indonesia 2017.
- Tamba, S., & Hutaeruk, D. M. (2018). Optimasi biaya dan waktu akibat penjadwalan ulang pada proyek perumahan menggunakan microsoft project. *JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING BUILDING AND TRANSPORTATION*, 2(1), 34-41.
- Tangahu, B. R., Nur, K. S., & Gani, M. (2019). Analisis Pengaruh Faktor Modifikasi Respons SRPMK Struktur Gedung Beton Bertulang Pada Balok Kategori Desain Seismik D. *Jurnal Teknik*, 17(1), 57-65.
- Wisdianti, D., Lase, T. S., & Aulia, F. (2024). Penggunaan Software Sketchup dan BIM dalam Proses Perancangan Bangunan Bentang Lebar Studi Kasus: Masjid Agung Medan. *Jurnal Teknik Dan Teknologi Indonesia*, 2(1), 1-18.
- Wijaya, H. S., Saâ, M., & Elsa, Y. R. N. (2024). Aplikasi Building Information Modeling (BIM) Menggunakan Software Tekla Structuresx 2022 Pada Konstruksi Gedung Puskesmas Arjasa, Kabupaten Sumenep, Jawa Timur. *Briliant: Jurnal Riset dan Konseptual*, 9(2), 466-478.