



Model 5D Gedung dekanat dan perkuliahan fakultas kesehatan masyarakat Universitas Diponegoro

Muhammad Ar Rayyan Firdaus^{a*}, Rahma Uyun Asalina^b, Asri Nurdiana^c, Bambang Setiabudi^d

^{a*, b, c, d} Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Indonesia

ARTICLE INFO

Corresponding author:

Email:

muhammadarrayyanfirdaus@gmail.com
rahmauyunasalina@gmail.com

Article history:

Received : 31 July 2023

Revised : 01 November 2023

Accepted : 08 November 2023

Publish : 03 December 2023

Keywords:

BIM, Cost Estimation, Scheduling, Load Analysis, Structural Planning

ABSTRACT

Redesign is the critical point of the construction process which aims to provide technical specification requirements that will be used at the project later. In project planning, more time and accuracy are needed to obtain the required output. Therefore, it is necessary to use BIM or Building Information Modeling software to simplify, speed up and minimize errors due to human error. This Project was made a redesign the Dean's Building and Lecture project of the Faculty of Public Health, Diponegoro University using the BIM or Building Information Modeling application which aims to streamline structural, planning work, financing estimation, and scheduling processes. The method used is a literature study with the main data of design drawing and others data from the construction project of the Dean Building and Lectures of the Faculty of Public Health, Diponegoro University. The preparation of this Project goes through 3 stages. The first stage is to redesign the FKM Building project using Autodesk Revit, the second stage is analyzing the structure with SAP 2000 and Ms Excel applications then the third stage is replanning cost estimation and scheduling using Ms Excel and Ms Project. The result of this Final Project is to obtain new best drawings, material specifications, cost estimation and scheduling.

Copyright © 2023 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

Dengan berkembangnya pembangunan infrastruktur, penyedia jasa konstruksi dituntut untuk meningkatkan mutu proyek secara efektif dan efisien. Selain itu, saat ini juga sudah memasuki kondisi dimana persaingan dalam dunia konstruksi juga sangat kompetitif. Hal ini juga menuntut para penyedia jasa konstruksi untuk melaksanakan proyek dengan kualitas yang baik, biaya yang optimal dan waktu yang singkat (Indra dkk, 2022). Untuk merealisasikannya, diperlukan suatu metode yang dapat menunjang proses pelaksanaan kegiatan konstruksi. BIM (*Building Information Modelling*) merupakan suatu metode yang berbasis teknologi yang dapat membantu dalam proses perencanaan konstruksi. Karena *software* BIM dapat melakukan perhitungan analisis struktur dan mengelola informasi pendukung secara efektif dan efisien (Kusmantoro dkk, 2018).

Perencanaan menggunakan *software* BIM dinilai memiliki lebih banyak keuntungan dibandingkan dengan menggunakan metode konvensional. Dengan penggunaan BIM, waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan perencanaan akan lebih singkat. Selain itu *output* yang dikeluarkan akan jauh lebih informatif seperti gambar rencana dengan sistem 3 dimensi serta memberikan data kuantitatif atau volume terhadap material yang digunakan dengan akurat. Penggunaan BIM juga dapat meminimalisasi terjadinya kesalahan yang diakibatkan oleh *human error* (Kelvin, 2022).

Perencanaan ini dilakukan dengan pengaplikasian sistem *Building Information Modeling (BIM)* yaitu merencanakan ulang sebuah struktur yang sudah/sedang dalam proses pembangunan dengan data lapangan seperti yang digunakan pada proyek tersebut. Sedangkan metode penelitian yang

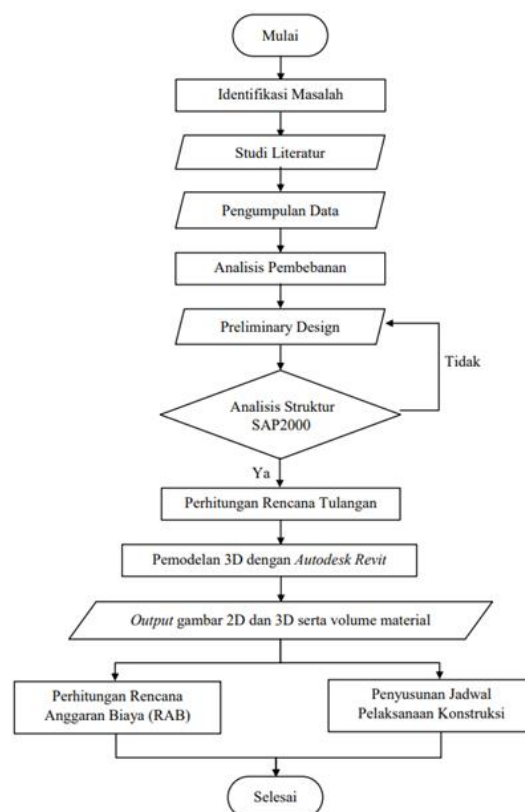
digunakan yaitu metode kuantitatif, hal ini dikarenakan penelitian ini memiliki proses menganalisa suatu data yang memiliki prosedur sistematis dengan informasi berupa angka dan grafik (Azhari dkk, 2023). Pada jurnal ini akan menjelaskan perencanaan struktur dengan metode analisa struktur menggunakan SAP2000, dilanjutkan dengan pemodelan 3D dan perhitungan volume material menggunakan *Autodes Revit*, lalu yang terakhir perencanaan anggaran biaya dan penjadwalan menggunakan *Microsoft Project*.

2. Data dan metode

Gedung Dekanat dan Perkuliahan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro merupakan bangunan yang direncanakan memiliki 6 lantai yang berlokasi di Kota Semarang, Jawa Tengah. Gedung ini dirancang menggunakan sistem SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) yang mengacu pada SNI 1726-2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Berdasarkan pedoman tersebut, gedung Dekanat dan Perkuliahan FKM Undip berada pada kategori resiko IV karena merupakan gedung perkuliahan. Gedung ini memiliki keadaan tanah yang berada pada klasifikasi SD (tanah sedang) dan kategori desain seismic pada level D.

Perencanaan gedung dengan struktur bangunan beton bertulang juga mengacu pada SNI 2847-2013 dan SNI 2847-2019 tentang syarat beton struktural untuk bangunan gedung. Pedoman ini dapat digunakan ketika proses analisa struktur serta perhitungan kebutuhan tulangan. Selain itu perencanaan gedung juga harus memperhatikan beban yang diterima. Untuk itu, dalam penentuan dan perhitungan beban gedung bertingkat dapat mengacu pada SNI 1727-2013 dan SNI 1727-2020 tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan.

Untuk tahapan perencanaan dimulai dari *preliminary design* dilanjutkan dengan analisis struktur menggunakan SAP2000. Jika analisis struktur sudah memenuhi, maka dilanjutkan perhitungan tulangan. Kemudian pemodelan 3D dengan menggunakan *Autodes Revit* dengan *output* berupa gambar 2D, 3D dan volume material. Lalu dilanjutkan dengan perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dan penyusunan jadwal pekerjaan menggunakan *Ms Project*. Untuk tahapan lebih jelasnya ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir perencanaan

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Preliminary design

3.1.1. Preliminary design balok

Berdasarkan SNI 2847-2019 pada tabel 9.3.1.1 disebutkan bahwa balok nonprategang memiliki tinggi atau ketebalan minimum.

Tabel 1. Tinggi minimum balok nonprategang (SNI 2847:2019 tabel 9.3.1.1, 2019)

| Kondisi Perletakan | h minimum |
|----------------------|-------------|
| Perletakan sederhana | $\ell/16$ |
| Menerus satu sisi | $\ell/18,5$ |
| Menerus dua sisi | $\ell/21$ |
| Kantilever | $\ell/8$ |

Serta mengacu pada SNI 2847-2019 pada 18.6.2.1 bahwa lebar penampang balok minimal $0,3h$ ($0,3$ dari tinggi balok rencana). Namun pada perhitungan rencana digunakan $0,5h$ ($0,5$ dari tinggi balok rencana). Tabel 2 menjelaskan perhitungan *preliminary design* pada balok.

Tabel 2. Perhitungan *Preliminary* Balok

| JENIS | Dimensi | | |
|-------|---------|---|-----|
| | h x b | | |
| B1 | 700 | x | 350 |
| B2 | 500 | x | 250 |
| B4 | 400 | x | 200 |
| TB | 500 | x | 300 |
| BA | 600 | x | 400 |

Tabel 3. Rekapitulasi *Preliminary* Balok

| NO | L | h min | h pakai | b min | b pakai | Dimensi yang digunakan | | | JENIS |
|----|------|--------|---------|--------|---------|------------------------|---|-----|--------|
| | | | | | | h x b | | | |
| 1 | 8000 | 500,00 | 700,00 | 350,00 | 350,00 | 700 | x | 350 | B1 |
| 2 | 7000 | 437,50 | 700,00 | 350,00 | 350,00 | 700 | x | 350 | B1 |
| 3 | 5000 | 312,50 | 500,00 | 250,00 | 250,00 | 500 | x | 250 | B2 |
| 4 | 3500 | 218,75 | 500,00 | 250,00 | 250,00 | 500 | x | 250 | B2 |
| 5 | 6000 | 285,71 | 400,00 | 200,00 | 200,00 | 400 | x | 200 | B3 |
| 6 | 5000 | 238,10 | 400,00 | 200,00 | 200,00 | 400 | x | 200 | B3 |
| 7 | 8000 | 500,00 | 500,00 | 250,00 | 300,00 | 500 | x | 300 | TB |
| 8 | 7000 | 437,50 | 500,00 | 250,00 | 300,00 | 500 | x | 300 | TB |
| 9 | 8000 | 500,00 | 600,00 | 300,00 | 400,00 | 600 | x | 400 | B Atap |
| 10 | 7000 | 437,50 | 600,00 | 300,00 | 400,00 | 600 | x | 400 | B Atap |

Setelah mendapatkan hasil *preliminary design* untuk balok, lalu diperlukan adanya pengecekan terhadap syarat-syarat yang telah ditentukan oleh SNI 2847-2019 pasal 18.6.2.1 yaitu syarat (1) bentang bersih balok minimal $4d$ ($4 \times$ tinggi efektif balok); syarat (2) lebar penampang minimal $0,3h$ ($0,3 \times$ tinggi balok); syarat (3) lebar balok tidak boleh melebihi sisi terpendek kolom yang menumpu dan $0,75 \times$ sisi terpanjang kolom yang menumpu. Syarat-syarat balok ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Cek syarat balok menurut SNI 2847-2019

| JENIS | Dimensi | | | Syarat (1) | Syarat (2) | Syarat (3) |
|-------|---------|---|-----|------------|------------|------------|
| | h x b | | | | | |
| B1 | 700 | x | 350 | OK | OK | OK |
| B2 | 500 | x | 250 | OK | OK | OK |
| B4 | 400 | x | 200 | OK | OK | OK |
| TB | 500 | x | 300 | OK | OK | OK |
| BA | 600 | x | 400 | OK | OK | OK |

3.1.2. Preliminary design plat lantai dan plat atap

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 8.3.1.1, dapat ditentukan tipe plat satu arah maupun dua arah. Dapat dikatakan plat 1 arah (*one way slab*) jika rasio antara sisi panjang dan sisi pendek plat memiliki nilai lebih besar atau sama dengan 2 ($L_y/L_x \geq 2$). Sedangkan untuk plat 2 arah (*two way slab*) jika rasio antara sisi panjang dan sisi pendek plat memiliki nilai lebih kecil daripada 2 ($L_y/L_x < 2$).

Tabel 5. Perencanaan tipe plat gedung dekanat dan perkuliahan FKM, Undip

| Dimensi | | Dimensi efektif | | Ly/Lx | Tipe |
|---------|-----|-----------------|------|---------|--------|
| Ly | Lx | Ly e | Lx e | | |
| 400 | 400 | 352,5 | 340 | 1,03676 | 2 arah |
| 700 | 400 | 665 | 370 | 1,7973 | 2 arah |

Tipe plat 2 arah memiliki cara untuk menentukan nilai tebal minimum yang digunakan. Mengacu pada SNI 2847-2019 tabel 8.3.1.2.

Tabel 6. Tebal minimum plat dua arah (SNI 2847-2019 tabel 8.3.1.2, 2019)

| α_{fm} | h minimum, mm |
|------------------------------|---|
| $\alpha_{fm} \leq 0,2$ | Tanpa drop panel = 125 mm Dengan drop panel = 100 mm |
| $0,2 < \alpha_{fm} \leq 0,2$ | $\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} > 125$ |
| $\alpha_{fm} > 0,2$ | $\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} > 90$ |

Berdasarkan syarat dan aturan tabel 5 dan tabel 6 diperoleh nilai-nilai yang diperlukan untuk menentukan tebal plat yang digunakan. Tabel 7 dibawah merupakan rencana tebal plat yang digunakan.

Tabel 7. Rencana tebal plat

| Tipe | Ly | Lx | α_{im} | t min | t pakai | Check (t min < t) | Lokasi guna |
|------|------|------|---------------|-------|---------|-------------------|--------------------|
| S1 | 4000 | 4000 | 7,968 | 86 | 150 | OK | Plat lantai |
| S1 | 7000 | 4000 | 9,439 | 131 | 150 | OK | Plat lantai |
| S2 | 4000 | 4000 | 7,968 | 86 | 100 | OK | Plat atap |

3.1.3. Preliminary design kolom

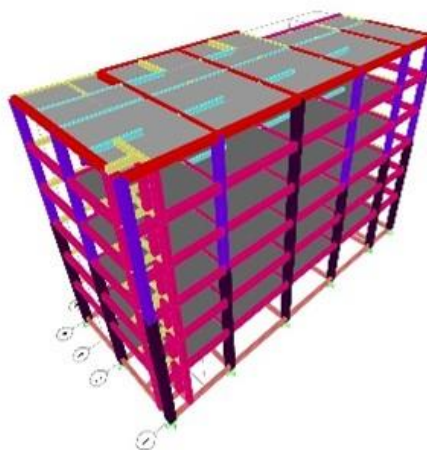
Penentuan awal dimensi kolom dapat dihitung berdasarkan beban dari atas yang diterima oleh kolom itu sendiri. Beban tersebut berasal dari beban mati dan beban hidup dikali koefisien masing-masing. Kombinasi pembebanan yang digunakan yaitu 1,2 DL + 1,6 LL sehingga diperoleh beban total (W_u). Setelah diperoleh nilai W_u maka dapat mencari nilai A (luas penampang kolom minimum) dengan rumus $A = W_u / (0,3 \times f'_c)$. Dengan nilai $f'_c = 25$ Mpa, maka dimensi kolom dapat direncanakan seperti Tabel 8.

Tabel 8. Rencana dimensi kolom

| Tipe | W_u | f'_c | A | b dan h min | b | h |
|------|--------|--------|---------|-------------|----|----|
| K1 | 362811 | 25 | 4837,48 | 69,55 | 70 | 70 |
| K2 | 268572 | 25 | 3580,96 | 59,84 | 60 | 60 |
| K3 | 174728 | 25 | 2329,71 | 48,28 | 50 | 50 |

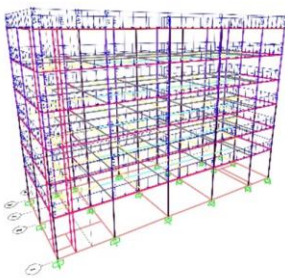
3.2. Analisis struktur

Analisa struktur menggunakan aplikasi pembantu yaitu SAP2000. Langkah pertama dalam mengerjakan analisa struktur di SAP2000 yaitu mendesain struktur sesuai dengan rencana. Lalu dilanjutkan dengan menginput dan menetapkan penampang dan material yang digunakan. Model struktur gedung Dekanat dan Perkuliahan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro ditunjukkan pada Gambar 2.

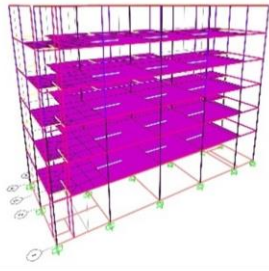


Gambar 2. Model struktur SAP200

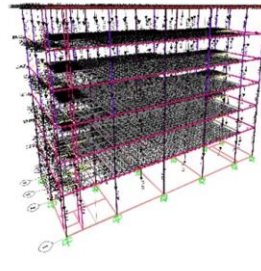
Analisa struktur dilakukan untuk memastikan apakah dimensi struktur yang direncanakan saat *preliminary design* sudah mampu menahan beban yang diterima oleh struktur bangunan atau tidak. Beban yang di *input* seperti beban mati, beban hidup, dan beban gempa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6.



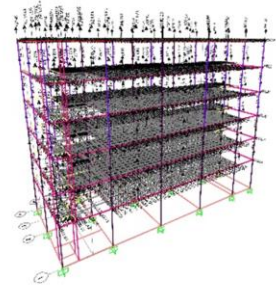
Gambar 3. *Input* beban mati



Gambar 4. *Input* beban hidup

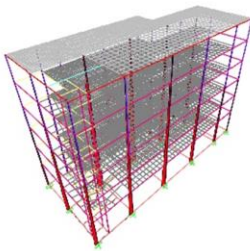


Gambar 5. *Input* beban gempa arah X

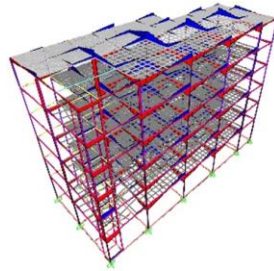


Gambar 6. *Input* beban gempa arah Y

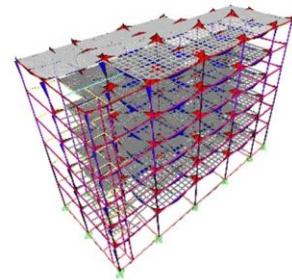
Setelah meng-*input* pembebanan, lalu dilanjutkan dengan pengecekan kelayakan pada model yang berfungsi untuk menghindari struktur mengalami *overstressed*. Didapatkan hasil bahwa model struktur yang dirancang sudah aman dan tidak mengalami *overstressed* maka dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya menggunakan penampang dan material yang direncanakan. Analisa struktur menggunakan SAP2000 juga menghasilkan *output* berupa gaya. Gaya-gaya yang dihasilkan yaitu seperti gaya aksial, gaya lintang dan juga momen seperti yang ditunjukkan pada gambar 7, gambar 8, dan gambar 9.



Gambar 7. Gaya Aksial

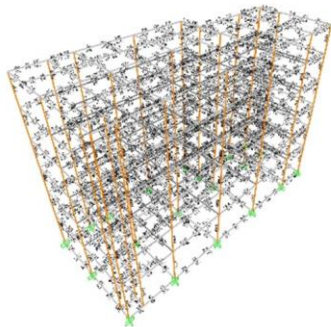


Gambar 8. Gaya Geser

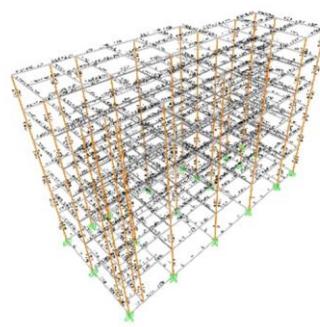


Gambar 9. Momen

Selain itu, *output* yang dihasilkan oleh SAP2000 yaitu nilai A_s perlu yang dapat digunakan untuk menentukan kebutuhan tulangan pokok kolom dan balok. Dan juga menghasilkan nilai A_v perlu yang dapat digunakan untuk menghitung kebutuhan tulangan sengkang pada kolom dan balok. A_s dan A_v yang dihasilkan oleh analisa struktur ditunjukkan oleh Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10. A_s perlu tulangan



Gambar 11. A_v perlu tulangan

3.3. Perhitungan tulangan

3.3.1. Perhitungan tulangan balok

Tulangan balok terdiri dari tulangan utama dan tulangan sengkang. Pada tulangan utama balok dapat dihitung berdasarkan nilai A_s perlu yang dihasilkan oleh SAP2000 (Gambar 10). Ketika sudah mendapatkan nilai A_s perlu, maka nilai tersebut dibandingkan dengan A_s min. Mengacu pada SNI 2847-2019, nilai A_s min dapat diperoleh menggunakan rumus ρ min $\times b \times d$, dan juga $\sqrt{f_c'} \times b \times d / (4 \times f_y)$. Setelah memperoleh nilai A_s perlu dan A_s min, selanjutnya menetapkan jumlah dan diameter tulangan yang memiliki nilai A_s pasang lebih besar dari pada A_s perlu dan A_s min.

Tabel 9. Perhitungan Tulangan Utama pada Balok

| Tipe | b | h | Area | Letak | As perlu (mm ²) | As min 1 (mm ²) | As min 2 (mm ²) | As terpasang (mm ²) | Tulangan dipakai |
|-----------|-----|-----|------|-------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------------|
| B1 | 350 | 700 | Tump | Atas | 2283 | 1230,47 | 1378,1 | 2454,37 | 5D25 |
| | | | | Bawah | 1072 | 1230,47 | 1378,1 | 1472,62 | 3D25 |
| | | | Lap | Atas | 698 | 1230,47 | 1378,1 | 1472,62 | 3D25 |
| | | | | Bawah | 1651 | 1230,47 | 1378,1 | 2454,37 | 5D25 |
| B2 | 250 | 500 | Tump | Atas | 1272 | 618,49 | 692,71 | 1472,62 | 3D25 |
| | | | | Bawah | 584 | 618,49 | 692,71 | 981,75 | 2D25 |
| | | | Lap | Atas | 279 | 618,49 | 692,71 | 981,75 | 2D25 |
| | | | | Bawah | 1177 | 618,49 | 692,71 | 1472,62 | 3D25 |
| B3 | 200 | 400 | Tump | Atas | 838 | 390,625 | 437,5 | 850,59 | 3D19 |
| | | | | Bawah | 392 | 390,625 | 437,5 | 567,06 | 2D19 |
| | | | Lap | Atas | 236 | 390,625 | 437,5 | 567,06 | 2D19 |
| | | | | Bawah | 275 | 390,625 | 437,5 | 850,59 | 3D19 |
| B atap | 400 | 600 | Tump | Atas | 1510 | 742,19 | 831,25 | 1984,70 | 7D19 |
| | | | | Bawah | 710 | 742,19 | 831,25 | 1417,64 | 5D19 |
| | | | Lap | Atas | 453 | 742,19 | 831,25 | 1417,64 | 5D19 |
| | | | | Bawah | 521 | 742,19 | 831,25 | 1984,70 | 7D19 |
| TB1 | 300 | 500 | Tump | Atas | 1510 | 742,19 | 831,25 | 1984,70 | 7D19 |
| | | | | Bawah | 710 | 742,19 | 831,25 | 850,59 | 3D19 |
| | | | Lap | Atas | 453 | 742,19 | 831,25 | 850,59 | 3D19 |
| | | | | Bawah | 521 | 742,19 | 831,25 | 1417,64 | 5D19 |

Untuk tulangan sengkang balok dapat dihitung berdasarkan nilai A_v yang dihasilkan oleh SAP2000 (Gambar 11). Ketika nilai A_v sudah diperoleh, maka dapat diperoleh juga nilai S perlu dengan satuan mm. Mengacu pada SNI 2847-2019, nilai S perlu harus dibandingkan dengan nilai S maks yang memiliki rumus yaitu $0,25 d$, $6 \times$ diameter tulangan utama, dan min 150 mm (untuk tumpuan), $0,5 d$ (untuk lapangan), dimana d merupakan nilai tinggi efektif balok.

Tabel 10. Perhitungan Tulangan Sengkang pada Balok

| Type | b | h | Daerah | Av/s Perlu (mm ² /mm) | Ø mm | Kaki | S perlu (mm) | Smax 1 (mm) | Smax 2 (mm) | Smax 3 (mm) | S pakai (mm) | Dipakai |
|--------|-----|-----|--------|-------------------------------------|---------|------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-------------------|
| B1 | 350 | 700 | Tump | 2,565 | 13 | 3 | 155,24 | 169 | 176 | 150 | 125 | 3D13 - 125 |
| | | | Lap | 2,447 | 13 | 3 | 162,73 | 338 | | | 150 | 3D13 - 150 |
| B2 | 250 | 500 | Tump | 2,198 | 10 | 3 | 107,2 | 119 | 150 | 150 | 100 | 3D10 - 100 |
| | | | Lap | 2,173 | 10 | 3 | 108,43 | 238 | | | 100 | 3D10 - 100 |
| B3 | 200 | 400 | Tump | 1,138 | 10 | 2 | 138,03 | 119 | 114 | 150 | 100 | 2D10 - 100 |
| | | | Lap | 1,084 | 10 | 2 | 144,91 | 238 | | | 125 | 2D10 - 125 |
| B atap | 400 | 600 | Tump | 1,943 | 10 | 3 | 121,27 | 144 | 114 | 150 | 100 | 3D10 - 100 |
| | | | Lap | 1,829 | 10 | 3 | 128,82 | 288 | | | 125 | 3D10 - 125 |
| TB | 300 | 500 | Tump | 2,257 | 10 | 3 | 104,39 | 119 | 114 | 150 | 100 | 3D10 - 100 |
| | | | Lap | 1,048 | 10 | 3 | 224,83 | 238 | | | 200 | 3D10 - 200 |

3.3.2. Perhitungan tulangan plat lantai dan plat atap

Salah satu output dari SAP2000 adalah Momen Ultimate (M_u). M_u yang diperoleh nantinya akan digunakan untuk menghitung kebutuhan tulangan pada plat. Perhitungan kebutuhan tulangan plat mengacu pada SNI 2847-2019 untuk mendapatkan jarak tulangan dan dimensi yang sesuai dengan M_u yang diterima.

Tabel 11. Perhitungan tulangan pada plat

| Tebal | Arah Tul | Daerah | M_u (kNm) | Ø mm | Jarak mm | Tebal Efektif (d) | Ø Mn kNm | a mm | Cek | Di Pasang |
|-------|----------|--------|----------------|---------|-------------|-------------------|-------------|---------|-----------|-------------------|
| 150 | X | Tump | 8,42 | 10 | 100 | 130 | 21,30 | 8,87 | OK | D 10 - 100 |
| | | Lap | 3,4 | 10 | 100 | 130 | 21,30 | 8,87 | OK | D 10 - 100 |
| | Y | Tump | 8,42 | 10 | 100 | 130 | 21,30 | 8,87 | OK | D 10 - 100 |
| | | Lap | 3,4 | 10 | 100 | 130 | 21,30 | 8,87 | OK | D 10 - 100 |
| 150 | X | Tump | 13,2 | 10 | 100 | 130 | 21,30 | 8,87 | OK | D 10 - 100 |
| | | Lap | 6,31 | 10 | 100 | 130 | 21,30 | 8,87 | OK | D 10 - 100 |
| | Y | Tump | 9,23 | 10 | 100 | 130 | 21,30 | 8,87 | OK | D 10 - 100 |
| | | Lap | 2,19 | 10 | 100 | 130 | 21,30 | 8,87 | OK | D 10 - 100 |
| 100 | X | Tump | 8,42 | 10 | 100 | 130 | 21,30 | 8,87 | OK | D 10 - 100 |
| | | Lap | 3,4 | 10 | 100 | 130 | 21,30 | 8,87 | OK | D 10 - 100 |
| | Y | Tump | 8,42 | 10 | 100 | 130 | 21,30 | 8,87 | OK | D 10 - 100 |
| | | Lap | 3,4 | 10 | 100 | 130 | 21,30 | 8,87 | OK | D 10 - 100 |

3.3.3. Perhitungan tulangan kolom

Tulangan kolom terdiri dari tulangan utama dan tulangan sengkang. Pada tulangan utama kolom dapat dihitung berdasarkan nilai A_s perlu yang dihasilkan oleh SAP2000 (Gambar 10). Syaratnya A_s tulangan yang terpasang harus lebih besar daripada syarat A_s perlu. Selain itu mengacu pada SNI 2847-2019 pasal 18.7.4.1, tulangan kolom memiliki range rasio antara 1% sampai dengan 6% terhadap Luas penampang.

Tabel 12. Perhitungan Tulangan Utama pada Kolom

| Type | b | h | A_s perlu | A_s pasang | A_s perlu < A_s pasang | Dipasang | Cek Rasio | Syarat Rasio |
|------|-----|-----|----------------|-----------------|-------------------------------|----------------|--------------|-----------------|
| K1 | 700 | 700 | 4900 | 4909 | OK | 10 D 25 | 1,00% | OK |
| K2 | 600 | 600 | 3600 | 3927 | OK | 8 D 25 | 1,09% | OK |
| K3 | 500 | 500 | 3900 | 3927 | OK | 8 D 25 | 1,57% | OK |

Untuk tulangan sengkang kolom dapat dihitung berdasarkan nilai A_v yang dihasilkan oleh SAP2000 (Gambar 11). Ketika nilai A_v sudah diperoleh, maka dapat diperoleh juga nilai S perlu dengan satuan mm. Mengacu pada SNI 2847-2019, nilai S perlu harus dibandingkan dengan nilai S maks yang memiliki rumus yaitu $6 \times$ diameter tulangan utama dan jarak maksimum 150 mm.

Tabel 13. Perhitungan Tulangan Sengkang pada Kolom

| Type | b | h | A_v/s Perlu (mm ² /mm) | \emptyset mm | Kaki | S perlu (mm) | S max 1 (mm) | S max 2 (mm) | S pakai (mm) | Dipakai |
|------|-----|-----|--|-------------------|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| K1 | 700 | 700 | 1,158 | 10 | 3 | 203,47 | 150 | 150 | 150 | 3D10 - 150 |
| K2 | 600 | 600 | 1,27 | 10 | 3 | 185,53 | 150 | 150 | 150 | 3D10 - 150 |
| K3 | 500 | 500 | 1,679 | 10 | 3 | 140,33 | 150 | 150 | 100 | 3D10 - 100 |

3.4. Perencanaan struktur bawah

3.4.1. Perencanaan pondasi *borepile*

Gedung Dekanat dan Perkuliahan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro direncanakan menggunakan pondasi dalam jenis *borepile*. Berdasarkan uji sondir atau uji CPT (*Cone Penetration Test*) diperoleh hasil posisi tanah keras pada kedalaman -4,00m dengan nilai *conus resistance* (q_c) sebesar 300 kg/cm². Penentuan daya dukung pondasi menggunakan metode Aoki dan De Alencar, dikarenakan pada hasil uji sondir hanya terdapat nilai q_c .

Rumus mencari daya dukung pondasi metode Aoki dan De Alencar yaitu $Q_u = q_b \times A$. Dimana nilai A merupakan luas penampang tiang, sedangkan nilai q_b yaitu Q_{ca}/F_b . Nilai Q_{ca} diperoleh dari rata-rata *Conus Resistance* sebanyak 1,5 diameter di atas tanah keras. Dan untuk nilai F_b merupakan faktor empirik dari pondasi (faktor empirik *borepile* = 3,5). Setelah mendapatkan nilai Q_u , dilanjutkan dengan menghitung nilai Q_a dengan rumus Q_u/SF . Kemudian mencari Q netto menggunakan rumus $Q_a - W$, dimana nilai W merupakan berat pondasi *borepile*. Rekapitulasi perhitungan daya dukung pondasi tiap diameter yang direncanakan ditunjukkan pada Tabel 14.

Tabel 14. Rekapitulasi nilai daya dukung pondasi *borepile*

| Diameter (cm) | A (cm ²) | Q_u (KN) | Q_{izin} (KN) | W (KN) | Q netto (KN) |
|---------------|----------------------|------------|-----------------|---------|--------------|
| 90 | 6358,5 | 3652,256 | 1826,128 | 48,637 | 1777,490 |
| 120 | 11304 | 5511,046 | 2755,523 | 87,797 | 2667,726 |
| 140 | 15386 | 7171,942 | 3585,971 | 119,501 | 3466,470 |
| 180 | 25434 | 10536,821 | 5268,411 | 197,542 | 5070.868 |

Untuk mengetahui jumlah pondasi yang ada pada satu *pile cap* dapat menggunakan rumus $n = P/Q_{netto}$, dimana P merupakan tekanan vertikal. Rekapitulasi perhitungan jumlah pondasi *borepile* dalam satu *pile cap* ditunjukkan pada Tabel 15.

Tabel 15. Rekapitulasi jumlah pondasi *borepile* dalam 1 *pile cap*

| P (KN) | d (cm) | Q netto | n (P/Qnetto) | Dipakai |
|---------|--------|----------|--------------|---------|
| 2304,59 | 120 | 2667,726 | 0,8639 | 1 |
| 3101,47 | 140 | 3466,470 | 0,8947 | 1 |
| 1257,33 | 90 | 1777,490 | 0,7074 | 1 |
| 4080,04 | 120 | 2667.726 | 1,5294 | 2 |
| 5053,97 | 180 | 5070.868 | 0,9967 | 1 |

3.4.2. Perencanaan *pile cap*

Berpedoman dari SNI 2847-2019 pasal 13.4.2.1, bahwa ketebalan *pile cap* harus lebih dari 300 mm. Untuk dimensi *pile cap* dapat direncanakan sesuai dengan jarak antar tiang dan jarak tiang ke tepi *pile cap*. Aturan penentuan jarak antar tiang (s) yaitu menggunakan $2,5d \leq s \leq 4d$. Dan untuk jarak tiang ke tepi *pile cap* (s') sebesar $1,5d \leq s' \leq 2d$, dimana nilai d merupakan diameter penampang tiang. Untuk rekapitulasi perhitungan dimensi *pile cap* ditunjukkan pada Tabel 16.

Tabel 16. Rekapitulasi perhitungan dimensi *pile cap*

| d (cm) | Jumlah dalam 1 pile | s min (cm) | s maks (cm) | s' min (cm) | s' maks (cm) | s diambil (cm) | s' diambil (cm) | Panjang (cm) | Lebar (cm) | Tebal (cm) |
|--------|---------------------|------------|-------------|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------------|------------|------------|
| 120 | 1 | 300 | 480 | 180 | 240 | - | - | 200 | 200 | 70 |
| 140 | 1 | 350 | 560 | 210 | 280 | - | - | 200 | 200 | 70 |
| 90 | 1 | 225 | 360 | 135 | 180 | - | - | 180 | 180 | 60 |
| 120 | 2 | 300 | 480 | 180 | 240 | 300 | 180 | 360 | 660 | 70 |
| 180 | 1 | 450 | 720 | 270 | 360 | - | - | 300 | 300 | 75 |

Namun dalam syarat pondasi khususnya kelompok tiang (dalam 1 pile terdapat lebih dari 1 tiang) memiliki nilai efisiensi yang dapat mengurangi jumlah Q netto awal. Untuk menentukan nilai efisiensi kelompok tiang (E_g) dapat menggunakan rumus $E_g = 1 - (\theta ((n-1) \cdot m + (m-1) \cdot n) / (90 \cdot m \cdot n))$. Dimana nilai θ merupakan hasil dari $\arctan(D/s)$, m adalah jumlah tiang dalam 1 baris (arah x), dan n adalah jumlah tiang dalam 1 kolom (arah y).

Jika sudah memperoleh nilai efisiensi kelompok tiang (E_g), maka dapat menghitung nilai Q izin untuk pondasi dengan rumus $Q \text{ izin} = n \cdot Q \text{ netto} \cdot E_g$. Dimana $Q \text{ izin}$ merupakan daya dukung maksimal kelompok tiang. Untuk perhitungan nilai Efisiensi dan daya dukung maksimal kelompok pondasi terdapat pada Tabel 17.

Tabel 17. Rekapitulasi nilai E_g dan Q izin kelompok tiang

| Tipe | n | d (cm) | S (cm) | m | n | θ | E_g | Q netto (KN) | Q izin (KN) | P (KN) | Cek |
|------|---|--------|--------|---|---|----------|--------|--------------|-------------|---------|-----------|
| P1 | 1 | 120 | 200 | 1 | 1 | 30,96 | 100% | 1777,490 | 2667,726 | 2304,59 | OK |
| P2 | 1 | 140 | 200 | 1 | 1 | 34,99 | 100% | 2667,726 | 3466,470 | 3101,47 | OK |
| P3 | 1 | 90 | 180 | 1 | 1 | 26,56 | 100% | 3466,470 | 1777,490 | 1257,33 | OK |
| P4 | 2 | 120 | 300 | 2 | 1 | 30,96 | 87,89% | 1777,490 | 4689,228 | 4080,04 | OK |
| P5 | 1 | 180 | 300 | 1 | 1 | 30,96 | 100% | 5070,868 | 5070,868 | 5053,97 | OK |

3.4.3. Penulangan pondasi *borepile*

Tulangan *borepile* terdiri dari tulangan utama dan tulangan spiral. Untuk menentukan tulangan utama pada *borepile* diperlukan nilai A_s perlu dengan rumus $A_s \text{ perlu} = \rho b d$. Pada rumus tersebut, ρ yang diperlukan merupakan ρ yang memenuhi syarat $\rho \text{ min} < \rho < \rho \text{ maks}$. Jika ρ yang diperoleh lebih kecil daripada $\rho \text{ min}$, maka yang digunakan yaitu $\rho \text{ min}$. Untuk menghitung ρ maka dapat menggunakan rumus $\rho = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right)$. Dengan rumus menghitung R_n yaitu $R_n = M_u / (b \cdot d^2)$. Lalu untuk menghitung nilai $\rho \text{ min}$ dapat menggunakan rumus $1,4 / f_y$, sedangkan $\rho \text{ maks}$ dapat menggunakan rumus $0,75 \cdot \rho_b$, dimana ρ_b merupakan hasil dari rumus $0,85 \cdot 0,85 \cdot \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$. Setelah memperoleh semua angka, maka sudah dapat

menentukan nilai As perlu. Dan untuk As terpasang harus memiliki nilai lebih besar daripada As perlu. Untuk perhitungan tulangan pokok *borepile* ditunjukkan pada Tabel 18.

Tabel 18. Rekapitulasi perhitungan tulangan pokok *borepile*

| D (cm) | Mu (KNm) | ρ min | ρ maks | ρ | As perlu | As terpasang | Dipilih tulangan | CEK |
|--------|----------|------------|-------------|--------|----------|--------------|------------------|-----------|
| 90 | 622,12 | 0,0035 | 0,0244 | 0,0038 | 2517,02 | 3041,062 | 8D22 | OK |
| 120 | 933,70 | 0,0035 | 0,0244 | 0,0023 | 4317,6 | 4561,592 | 12D22 | OK |
| 140 | 1085,51 | 0,0035 | 0,0244 | 0,0016 | 6017,2 | 6082,123 | 16D22 | OK |
| 180 | 1774,80 | 0,0035 | 0,0244 | 0,0012 | 10256,4 | 10643,72 | 28D22 | OK |

Tulangan spiral pada *borepile* juga memiliki konsep yang sama dengan tulangan sengkang yang memiliki syarat nilai Av perlu < Av terpasang. Nilai Av perlu dapat dihitung menggunakan tiga rumus yaitu $Av = (Vs \cdot S)/(fy \cdot d)$; $Av = (0,35 \cdot bw \cdot S/fy)$; dan $(0,062 \cdot \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot S/fy)$. Dari ketiga rumus tersebut dicari nilai Av perlu yang terbesar untuk mewakili kebutuhan jumlah tulangan. Sedangkan untuk jarak tulangan spiral memiliki 4 syarat yang harus terpenuhi yaitu $s \leq 16 \times$ diameter tulangan utama; $s \leq 48 \times$ diameter tulangan spiral; $s \leq$ diameter efektif/2; dan $s \leq 600$ mm. Untuk perhitungan tulangan spiral *borepile* ditunjukkan pada Tabel 19.

Tabel 19. Rekapitulasi perhitungan kebutuhan tulangan spiral *pile cap*

| D (cm) | Av terbesar | S maks (1) (mm) | S maks (2) (mm) | S maks (3) (mm) | S maks (4) (mm) | As terpasang | Dipilih tulangan | CEK |
|--------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|------------------|-----------|
| 90 | 773,126 | 352 | 480 | 402 | 600 | 1204,27 | D10-150 | OK |
| 120 | 1030,835 | 352 | 480 | 552 | 600 | 1204,27 | D10-150 | OK |
| 140 | 1202,641 | 352 | 480 | 652 | 600 | 1204,27 | D10-150 | OK |
| 180 | 1546,253 | 352 | 480 | 852 | 600 | 1727,88 | D10-100 | OK |

Tulangan *pile cap* terdiri dari tulangan bawah arah X, tulangan bawah arah Y, tulangan atas arah X, dan tulangan atas arah Y. Untuk menentukan kebutuhan tulangan bawah arah X dan Y dibutuhkan nilai As perlu. Untuk mencari As perlu, dapat menggunakan 3 rumus yaitu $(\frac{0,85 \cdot f'c}{fy} (1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Rn}{0,85 \cdot f'c}}) \cdot b \cdot d)$; $(\frac{0,25 \cdot \sqrt{f'c}}{fy} \cdot b \cdot d)$; dan $((1,4/fy) \cdot b \cdot d)$. Dari ketiga rumus tersebut dicari nilai As perlu yang terbesar untuk mewakili kebutuhan tulangan. Setelah diperoleh As perlu, maka dapat menentukan nilai As terpasang dengan syarat As terpasang > As perlu. Untuk perhitungan kebutuhan tulangan bawah ditunjukkan pada Tabel 20.

Tabel 20. Rekapitulasi perhitungan kebutuhan tulangan bawah *pile cap*

| Tipe | Arah | Mu (KNm) | As perlu (1) | As perlu (2) | As perlu (3) | As Terpasang | Dipilih Tulangan | Cek |
|------|------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|-----------|
| P1 | X | 933,704 | 4428,76 | 4128,46 | 4221 | 4724,51 | D22-175 | OK |
| | Y | 933,704 | 4428,76 | 4128,46 | 4221 | 4724,51 | D22-175 | OK |
| P2 | X | 1085,51 | 5174,67 | 4128,46 | 4221 | 5448,57 | D22-150 | OK |
| | Y | 1085,51 | 5174,67 | 4128,46 | 4221 | 5448,57 | D22-150 | OK |
| P3 | X | 622,12 | 3544,45 | 3099,43 | 3168,9 | 3801,33 | D22-200 | OK |
| | Y | 622,12 | 3544,45 | 3099,43 | 3168,9 | 3801,33 | D22-200 | OK |
| P4 | X | 2696,31 | 12740,7 | 13623,9 | 13929,3 | 14716,6 | D22-175 | OK |
| | Y | 1641,23 | 7779,12 | 7431,23 | 7597,8 | 8200,01 | D22-175 | OK |
| P5 | X | 1774,80 | 8488,18 | 6192,69 | 6331,5 | 9503,32 | D22-125 | OK |
| | Y | 1774,80 | 8488,18 | 6192,69 | 6331,5 | 9503,32 | D22-125 | OK |

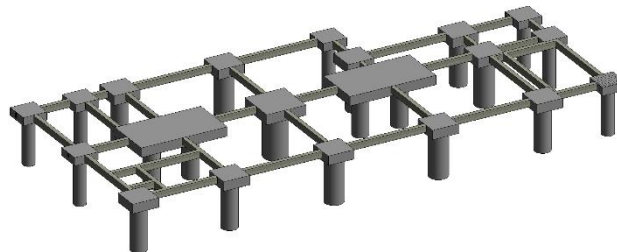
Tulangan atas *pile cap* terdiri dari tulangan arah X dan tulangan arah Y. Untuk kebutuhan tulangan atas *pile cap* hanya 20% dari total kebutuhan tulangan bawah *pile cap*. Jadi untuk rumusnya yaitu As perlu tulangan atas = 20% x As perlu tulangan bawah *pile cap*.

Tabel 21. Rekapitulasi perhitungan kebutuhan tulangan atas *pile cap*

| Type | Arah | As perlu tulangan bawah | As perlu tulangan atas | As Terpasang | Dipilih Tulangan | Cek |
|------|------|-------------------------|------------------------|--------------|------------------|-----------|
| P1 | X | 4428,76 | 885,751 | 1649,67 | D13-175 | OK |
| | Y | 4428,76 | 885,751 | 1649,67 | D13-175 | OK |
| P2 | X | 5174,67 | 1034,93 | 1902,5 | D13-150 | OK |
| | Y | 5174,67 | 1034,93 | 1902,5 | D13-150 | OK |
| P3 | X | 3544,45 | 708,889 | 1327,32 | D13-200 | OK |
| | Y | 3544,45 | 708,889 | 1327,32 | D13-200 | OK |
| P4 | X | 13929,3 | 2785,86 | 5006,9 | D13-175 | OK |
| | Y | 7779,12 | 1555,82 | 2731,49 | D13-175 | OK |
| P5 | X | 8488,18 | 1697,64 | 3318,31 | D13-125 | OK |
| | Y | 8488,18 | 1697,64 | 3318,31 | D13-125 | OK |

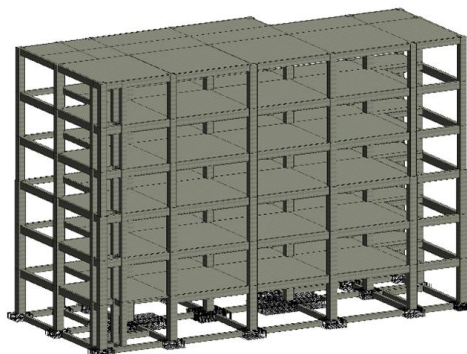
3.5. Pemodelan 3D dengan Autodesk Revit

Bagian struktur bawah gedung Dekanat dan Perkuliahan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro terdiri atas pondasi *borepile*, *pile cap*, dan *tie beam* yang sudah sesuai dengan perhitungan struktur dan penulangan sebelumnya. Hasil dari pemodelan 3D untuk struktur bawah dengan menggunakan Revit yang ditunjukkan pada Gambar 12.



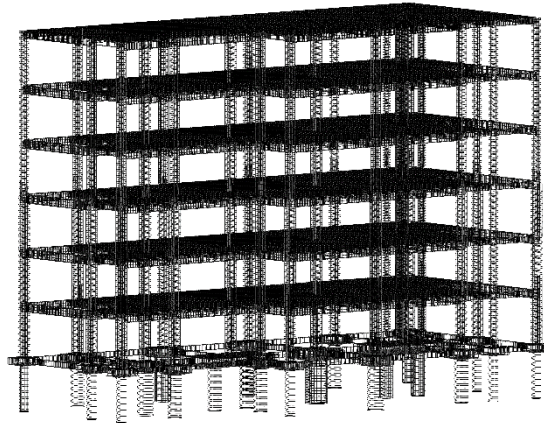
Gambar 12. Hasil pemodelan 3D struktur bawah

Hasil model 3D struktur atas dari gedung Dekanat dan Perkuliahan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro yang sudah melalui tahapan perhitungan analisis struktur dan rencana kebutuhan tulangan ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Hasil pemodelan 3D struktur bawah

Dan berikut Gambar 14. merupakan hasil pemodelan 3D tulangan struktur atas dan struktur bawah yang sudah melalui perhitungan kebutuhan tulangan pada setiap komponen struktur dimulai dari struktur atas yaitu kolom, balok, dan plat, serta struktur bawah yang terdiri dari pondasi *borepile*, *pile cap* dan *tie beam*.



Gambar 14. Hasil pemodelan 3D penulangan struktur bawah dan struktur atas

3.6. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada perencanaan gedung Dekanat dan Perkuliahan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro mengacu pada nilai Harga Satuan Pekerjaan yang diperoleh berdasarkan AHSP (Analisa Harga Satuan Pekerjaan). Selain itu, perhitungan RAB juga mengacu kepada kuantitas volume material yang diperoleh dari hasil pemodelan pada *Autodes Revit*. Untuk harga material, upah pekerja, dan sewa alat dipilih harga yang paling sesuai dengan karakteristik dan spesifikasi. Untuk penyusunan RAB hanya meliputi pekerjaan persiapan, pekerjaan struktur bawah, dan pekerjaan struktur atas. Adapun perhitungan biaya disajikan pada Tabel 22.

Tabel 22. Rekapitulasi RAB

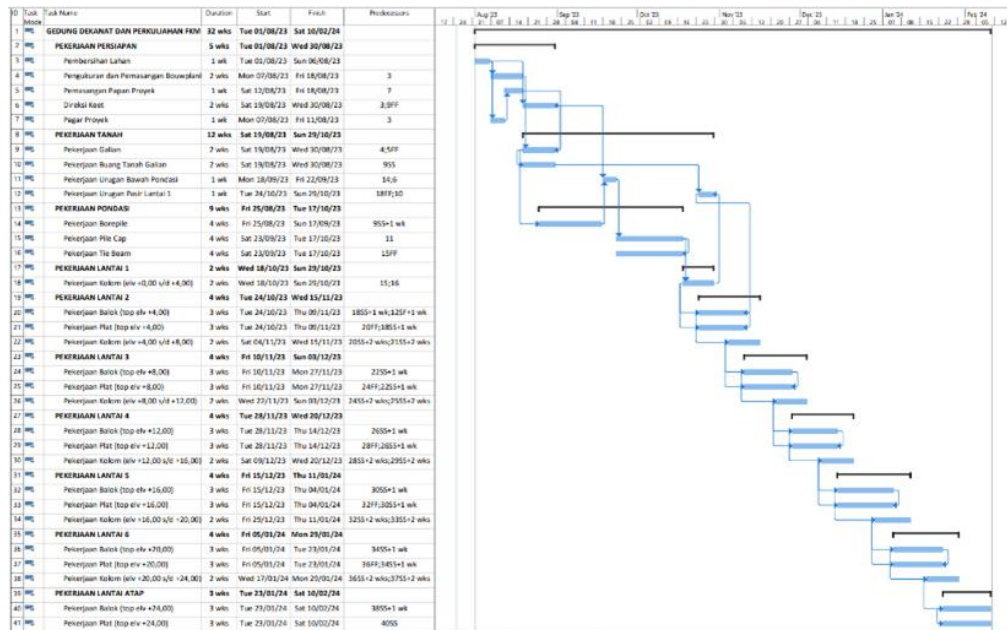
| No | Jenis Kegiatan | Rekap Biaya |
|----|--------------------------|---------------------|
| 1 | Pekerjaan Persiapan | Rp 113.584.202,60 |
| 2 | Pekerjaan Struktur Bawah | Rp 594.289.097,54 |
| 3 | Pekerjaan Struktur Atas | Rp 5.913.309.166,31 |
| | Jumlah | Rp 6.621.182.466,45 |
| | PPN 11% | Rp 728.330.071,31 |
| | Total | Rp 7.349.512.537,76 |
| | Dibulatkan | Rp 7.349.513.000,00 |

Terbilang : Tujuh miliar tiga ratus empat puluh sembilan juta lima ratus tiga belas ribu rupiah

3.7. Penjadwalan

Penjadwalan dalam perencanaan gedung Dekanat dan Perkuliahan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro menggunakan aplikasi pembantu yaitu *Microsoft Project*. Dalam penyusunan penjadwalan mengacu pada urutan pekerjaan dari masing-masing pekerjaan. Serta mengacu pada volume pekerjaan juga. Semakin besar volume pekerjaan, maka semakin lama juga durasi pekerjaan. Dari hasil penyusunan penjadwalan diperoleh estimasi waktu pengerjaan selama 32 minggu atau selama 8 bulan. Untuk pekerjaan persiapan mampu

diselesaikan selama 5 minggu, untuk pekerjaan struktur bawah dapat diselesaikan dalam waktu 12 minggu, dan untuk pekerjaan struktur atas mampu diselesaikan dalam kurun waktu 19 minggu. Hasil penyusunan penjadwalan ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Hasil Penjadwalan

4. Kesimpulan

Berdasarkan perencanaan struktur gedung Dekanat dan Perkuliahan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Hasil perencanaan dimensi setiap penampang struktur bawah dan struktur atas telah dilakukan pengecekan dan dapat dinyatakan aman berdasarkan analisis struktur menggunakan SAP2000.
- 2) Nilai Rencana Anggaran Biaya pada perencanaan struktur gedung Dekanat dan Perkuliahan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro diperoleh hasil sebesar Rp7.349.513.000,00.
- 3) Penjadwalan struktur gedung Dekanat dan Perkuliahan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro direncanakan selesai dalam kurun waktu 32 minggu atau 8 bulan.

Ucapan terima kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam penyusunan perencanaan gedung Dekanat dan Perkuliahan Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro khususnya kontraktor utama yaitu PT. Artadinata Azzahra Sejahtera, konsultan perencana yaitu PT. Elcentro Engineering Consultant, dan pemilik proyek yaitu Universitas Diponegoro karena telah mendukung, memberikan masukan, serta mengizinkan untuk mengambil data perencanaan yang dibutuhkan dalam penyusunan perencanaan ulang gedung ini.

Referensi

Azhari, Muhammad Taufiq dkk. (2023). *Metode Penelitian Kuantitatif*. Jambi: PT Sonpedia Publishing Indonesia.
 Badan Standar Nasional. (2019). *SNI 1726-2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: BSN Badan Standarisasi Nasional.
 Badan Standar Nasional. (2013). *SNI 1727-2013 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: BSN Badan Standarisasi Nasional.
 Badan Standar Nasional. (2020). *SNI 1727-2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: BSN Badan Standarisasi Nasional.
 Badan Standar Nasional. (2013). *SNI 2847-2013 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Jakarta: BSN Badan Standarisasi Nasional.

- Badan Standar Nasional. (2020). *SNI 2847-2020 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Jakarta: BSN Badan Standarisasi Nasional.
- Hooper, M. (2015). BIM standardisation efforts-the case of Sweden. *J. Inf. Technol. Constr.*, 20(21), 332-346.
- Isikdag, U., Zlatanova, S., & Underwood, J. (2013). A BIM-Oriented Model for supporting indoor navigation requirements. *Computers, Environment and Urban Systems*, 41, 112-123.
- Kusmantoro, Hermawan dkk. (2018). *Panduan Adopsi BIM dalam Organisasi*. Jakarta Selatan: Pusat Litbang Kebijakan dan Penerapan Teknologi.
- Laorent, D., Nugraha, P., & Budiman, J. (2019). Analisa Quantity Take-Off Dengan Menggunakan Autodesk Revit. *Dimensi Utama Teknik Sipil*, 6(1), 1-8.
- Li, X., Xu, J., & Zhang, Q. (2017). Research on construction schedule management based on BIM technology. *Procedia engineering*, 174, 657-667.
- Ramdani, Indra dkk. (2022). Implementasi Building Information Modeling (BIM) pada Proyek Perumahan. *JURNAL TESLINK Teknik Sipil dan Lingkungan*, 4(1), 1-15.
- Ramadhan, Kelvin. (2022). Perencanaan dan Perancangan (3D, 4D, 5D) Jembatan Rangka Baja dengan Penerapan Konsep Building Information Modeling (BIM). [Universitas Andalas]. <http://scholar.unand.ac.id/108905/>
- Sangadji, S., & Kristiawan, S. A. (2019). Saputra. Inton Kurniawan. *Pengaplikasian Building Information Modeling (BIM) Dalam Desain Bangunan Gedung*. E-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL.
- Zotkin, S. P., Ignatova, E. V., & Zotkina, I. A. (2016). The organization of autodesk revit software interaction with applications for structural analysis. *Procedia Engineering*, 153, 915-919.