



Perencanaan ulang struktur portal utama gedung PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang integrasi BIM (*Building Information Modelling*)

Nabila Alsa Fernanda^a, Rendi Dwi Pratama^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:

nabilaalsafm021@gmail.com

Article history:

Received : 11 July 2023

Revised : 11 August 2023

Accepted : 27 August 2023

Publish : 8 September 2023

Keywords:

Building Information Modelling (BIM), SAP2000, SRPMK, Revit

ABSTRACT

In development construction projects, the digitalization of excellent and mature construction planning is needed to obtain efficient and effective construction results and through the implementation of BIM integrated Structural Planning and Analysis (Building Information Modelling) expected in building planning PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang can minimize the occurrence of errors. The purpose of this final project is to re-design the building of PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang by integrating conventional planning methods into a based planning method BIM (Building Information Modelling) for efficiency structure and project visualization on the project. The process used is quantitative descriptive by conducting a literature study to understand the basics of planning a high-rise building structure, then proceeding with integration based on SAP2000. The result of this paper is an earthquake-resistant structural design with the Sway Frame with modelling 3D that can be applied to tall buildings with high levels of security, reliability and earthquake resistance. The Finding of this re-design is the high efficiency of this structure in reducing earthquake resistance and can be used as a reference for planning earthquake resisitant buildings in the future.

Copyright © 2023 PILARS-UNDIP

1. Pendahuluan

Building Information Modeling (BIM) adalah sistem metode kerja digital yang berhasil membuat informasi dalam proses konstruksi yang dapat digunakan untuk perencanaan, visualisasi desain, pengoperasian fasilitas, hingga pelaksanaan konstruksi untuk mencapai efisiensi tinggi dari segi kualitas dan biaya waktu (Vincent, D., Ojo, S., & Omeje 2020). BIM menyajikan desain bangunan secara digital dan informasi yang lebih efisien dan akurat sebelum membangun bangunan. Ini mempengaruhi deteksi dini bentrokan antara strategi multidisiplin sebelum pekerjaan terjadi dan memfasilitasi komunikasi antara pemangku kepentingan proyek yang relevan selama konstruksi (Abdalla et al. 2023)

Perencanaan Ulang dan Analisis Struktur PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang, yang mengadopsi BIM sebagai metode kerja berdasarkan pemetaan daerah rawan gempa tinggi, dapat dikategorikan sebagai Desain Seismik Kategori D menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Struktur Beton Bertulang. Struktur Beton Bertulang merupakan kombinasi dari beton dan tulangan baja yang bekerja sama untuk memikul beban yang ada (Setiawan 2016). SRPMK dipilih dengan mempertimbangkan sistem rangka yang sangat fleksibel dalam menyerap dan mendistribusikan gaya lateral akibat gempa. Selain itu SRPMK memiliki tingkat proteksi yang lebih tinggi terhadap gempa bumi dibandingkan dengan sistem rangka konvensional (Tangahu, Nur, and Gani 2019).

Metode perencanaan menggunakan metode perencanaan deskriptif kuantitatif dengan mempelajari literatur primer perencanaan struktur gedung dan penerapan teknologi digital metode perencanaan integrasi BIM, yang meliputi analisis struktur atas menggunakan SAP2000. Analisis struktural yang dibangun pada SAP2000 mempelajari analisis statis dan dinamis, yang dimodelkan dalam model 2 dimensi dan 3 dimensi, dengan hasil akhir analisis mendapatkan hasil optimasi desain (M Nur Sholeh 2022). Perhitungan perencanaan mengacu pada SNI 2847 : 2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya, SNI 1727 : 2020 terkait dengan Beban Minimum untuk Perencanaan Gedung dan Struktur Lainnya, SNI 1726 : 2019 terkait Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung, Desain Beton Bertulang oleh Chu Kia Wang Salmon.

Hasil akhir dari perencanaan ini adalah hasil desain integrasi BIM dalam perencanaan strukturbangunan SRPMK dengan mempertimbangkan tingkat keamanan dan ketahanan yang tinggi terhadap resiko gempa. Ini dapat digunakan sebagai referensi untuk implementasi BIM di proyek-proyek mendatang. Tujuan perencanaan ini adalah untuk meninjau ulang struktur atas dan bawah Gedung PT. Ferron Par Pharmaceuticals Cikarang. (Ir. Gideon H. Kusuma M. Eng 1993)

2. Data dan metode

2.1. Data dan studi literatur

Data perencanaan keseluruhan untuk perancangan Gedung Produksi PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang meliputi :

- a) As-Built Drawing
- b) Data Umum Proyek
 - 1) Nama Proyek : Gedung Produksi PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang
 - 2) Alamat Proyek : Jl. Jababeka VI, Harja Mekar, Kec. Cikarang Utara, Kab. Bekasi, Jawa Barat 17520
 - 3) Fungsi Bangunan : Gedung Pabrik Farmasi
 - 4) Luas Tanah : $\pm 6.900 \text{ m}^2$
 - 5) Luas Bangunan: : $\pm 2.700 \text{ m}^2$
 - 6) Struktur Bangunan : Beton Bertulang
- c) Pedoman atau peraturan SNI dan buku-buku yang berkaitan dengan perencanaan bangunan sebagai acuan utama teori pendukung untuk membuat perencanaan ulang.

2.2. Modifikasi dan kriteria desain

Modifikasi bangunan PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang berdasarkan pedoman SNI 1726-2019 diasumsikan dibangun menggunakan data lahan untuk kawasan Jababeka, Cikarang Utara. Sehingga didapatkan data sebagai berikut:

- a) Tipe Bangunan : Gedung Pabrik (Kategori Risiko II)
- b) Klasifikasi Tanah : SD (Tanah Sedang)
- c) Kategori Desain Seismik : D

Untuk itu, sistem struktur harus dirancang dengan menggunakan penahan beban lateral yang memenuhi persyaratan perincian khusus atau memiliki fleksibilitas yang lengkap. Jadi perancangan ulang struktur gedung PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang dibuat menggunakan SRPMK dengan tambahan modifikasi jenis atap yang awalnya rangka baja kemudian dimodifikasi menggunakan plat beton.

2.3. Preliminary design

Literatur yang digunakan dalam perhitungan awal adalah SNI 2847:2013 dan 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Pada tahap ini dilakukan perencanaan untuk dimensi struktur :

- a) Struktur primer: Balok dan balok pengikat (menentukan dimensi $b \times h$), kolom (menentukan dimensi $b \times h$)
- b) Struktur sekunder: Pelat (menentukan jenis pelat, menentukan ketebalan wadah, t)

2.4. Pemodelan struktur dengan SAP2000 V.22

Program SAP2000 V22 memodelkan struktur menggunakan data data perencanaan. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemodelan struktur adalah bentuk bangunan dan dimensi elemen struktur dari rancangan awal.

2.5. Pembebanan struktur

Setelah struktur PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang dimodelkan menggunakan SAP2000 V22, kemudian diload konfigurasi berupa:

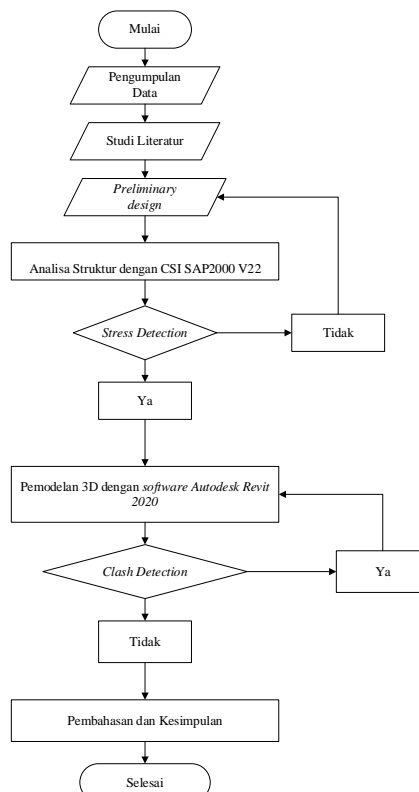
- a) Beban mati dan beban mati tambahan (sesuai SNI 1727-2020 dan persyaratan yang berlaku)
- b) Beban Angin (sesuai SNI 1727-2013 dan persyaratan yang berlaku)
- c) Beban hidup (sesuai SNI 1727-2020), dan
- d) Beban gempa (sesuai SNI 1726-2019)
- e) Beban gempa dihitung menggunakan Respon Spektra

2.6. Perhitungan tulangan struktur

Tulangan dihitung berdasarkan SNI 2847-2019, dengan memperhatikan standar tulangan untuk Sway Frame System dan menggunakan data berupa nilai gaya dalam yang diperoleh dari keluaran program SAP 2000 V22 dan dibandingkan dengan Asmin pada dimensi penampang dari struktur.

2.7. Pemodelan tulangan struktur

Pada tahap pemodelan dilakukan input data yang telah didapatkan dari proyek, berupa data as built drawing (2D) dan 3D Sketch Up. Data ini digunakan dalam proses pemodelan 3D dengan menggunakan software Autodesk Revit. Alur metode perencanaan dimodelkan dengan menggunakan diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Metode Perencanaan

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Preliminary design

3.1.1. Perhitungan dimensi balok

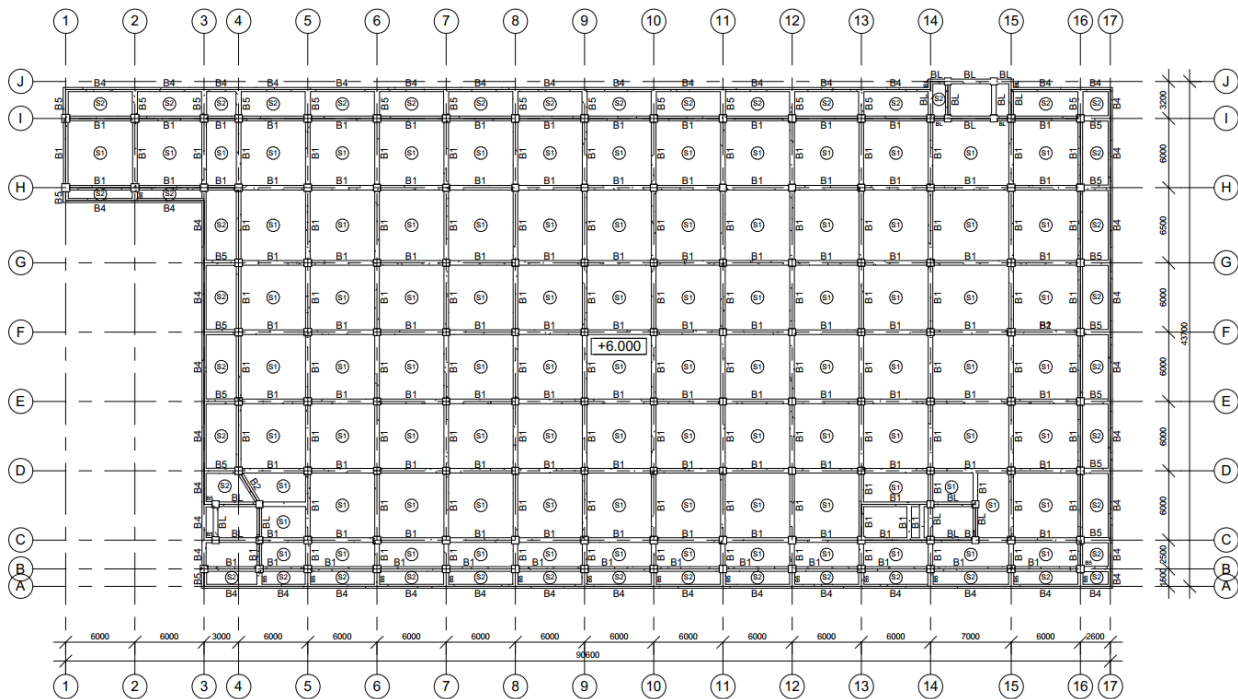
Berikut merupakan contoh perhitungan preliminary balok yang digunakan pada perencanaan kali ini
Data-data perencanaan balok induk 1

Tipe Balok = B1

Bentang Balok = 7000 mm

Mutu Beton ($f'c$) = b30 Mpa

Gambar denah perencanaan untuk perhitungan balok dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Denah Balok

Perhitungan perencanaan

$$h = \frac{l}{16} \rightarrow \text{Balok biasa}$$

(1)

$$h = \frac{7000}{16}$$

$$h = \frac{7000}{16}$$

$$h = 437,5 \cong 600 \text{ mm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 600$$

$$b = 400 \text{ mm}$$

Maka didapatkan hasil rencana balok induk B1 dengan dimensi 400x600. Berikut merupakan rekap hasil *preliminary* balok induk lantai 1 sampai dengan lantai 8 dalam perencanaan ulang bangunan PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi *preliminary* balok

No	Tipe	Panjang	Tinggi min (hmin)	Tinggi (h)	Lebar min (bmin)	Lebar (b)
1	TB1	7000	437,5	700	466,67	500
2	B1	7000	437,5	600	400,00	400
3	B2	7000	437,5	550	366,67	400
4	B3	7000	437,5	500	333,33	350
5	B4	7000	437,5	500	333,33	350
6	B5	3000	375	650	433,33	450
7	BL	4000	250	550	366,67	400

Tabel 1 menunjukkan tinggi minimum (hmin) dan lebar minimum (bmin) balok yang akan digunakan terhadap panjang balok, sehingga tinggi (h) dan lebar (b) balok yang dipakai harus lebih dari tinggi minimum (hmin) dan lebar minimum (bmin) balok. Setelah mendapatkan hasil perhitungan *preliminary* lalu dilanjutkan dengan pengecekan sesuai dengan Syarat Tinggi dan Lebar efektif menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1 seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Cek syarat balok

No.	Tipe Balok	Ln	d	Tinggi (h)	Lebar (b)	Syarat Tinggi Efektif SNI 2847:2019 pasal 18.6.2.1	Syarat Lebar Efektif SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1
1	TB1	6350	550	700	500	OK	OK
2	B1	6350	550	600	400	OK	OK
3	B2	5350	500	550	400	OK	OK
4	B3	6350	450	500	350	OK	OK
5	B4	6500	450	500	350	OK	OK
5	B5	2350	600	650	450	OK	OK
6	BL	6400	500	550	400	OK	OK

Berdasarkan tabel di atas balok harus memenuhi syarat tinggi dan lebar efektif dimana:

Syarat Tinggi Efektif (SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1) $\rightarrow Ln > 4h - 50$

Syarat Lebar Efektif (SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1) $\rightarrow h \geq b; h \geq 250$

Maka, dapat disimpulkan untuk seluruh tipe balok yang direncanakan pada PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang ini telah memenuhi syarat tinggi dan lebar efektif balok berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1.

3.1.2. Perhitungan dimensi kolom

Berikut merupakan contoh perhitungan preliminary kolom yang digunakan pada perencanaan kali ini:

Data-data perencanaan balok induk 1 :

Tipe Kolom = C1
 Tinggi kolom = 3000 mm
 Bentang baalok = 6000 mm
 Tinggi balok = 600 mm
 Lebar balok = 400 mm
 Pu = 3254741 N
 Mutu Beton (f'_c) = 30 Mpa

Perhitungan perencanaan

$$\frac{I_{column}}{L_{column}} > \frac{I_{beam}}{L_{beam}}$$

$$\frac{\frac{1}{12}bh^3}{H} > \frac{\frac{1}{12}bh^3}{L} \rightarrow \frac{\frac{1}{12}h^4}{3000} > \frac{\frac{1}{12} \times 400 \times 600^3}{6000} \rightarrow h > \sqrt[4]{4320000} \rightarrow h > 45,590 \text{ mm}$$

$$Ag > \frac{Pu}{0,3 \times f'_c} \rightarrow Ag > \frac{Pu}{0,3 \times f'_c} \rightarrow Ag > \frac{P3254741}{0,3 \times 40} \rightarrow Ag > 271228 \text{ mm}^2$$

$$h > \sqrt{271228} \rightarrow h > 521 \cong 650 \text{ mm}$$

Berikut merupakan rekap hasil preliminary kolom lantai 1 sampai dengan lantai 8 dalam perencanaan ulang bangunan PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi *preliminary* kolom

Tipe	b	h	Tinggi Kolom, L (mm)	Syarat Sisi Terpendek SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1	Syarat Rasio Dimensi SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1
C1	650	650	3000	OK	OK
C2	600	600	6000	OK	OK
C3	600	650	6000	OK	OK
C4	700	700	3000	OK	OK
C5	550	550	3000	OK	OK
C6	550	500	6000	OK	OK
C7	500	500	6000	OK	OK
CL	600	600	3000	OK	OK

Hasil dari rekapitulasi preliminary design kolom pada tabel 3 kolom harus memenuhi syarat tinggi dan lebar efektif dimana:

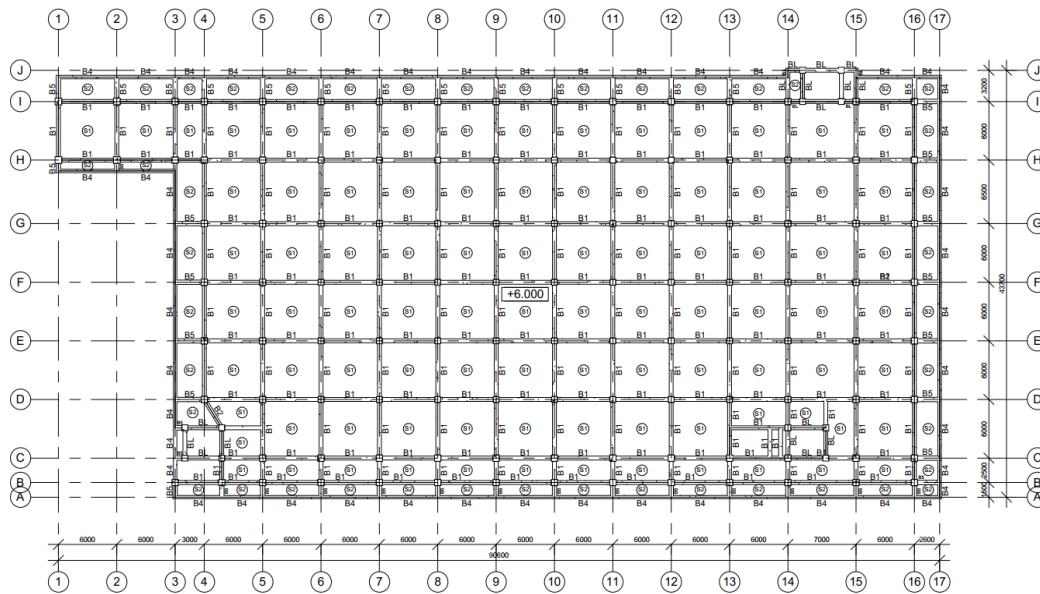
Syarat Sisi Terpendek (SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1) $\rightarrow b > 300$

Syarat Rasio Dimensi (SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1) $\rightarrow \frac{b}{h} \geq 0,4$

Maka, dapat disimpulkan untuk seluruh tipe kolom yang direncanakan pada PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang ini telah memenuhi syarat sisi terpendek dan rasio dimensi berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1.

3.1.3. Hasil perhitungan dimensi pelat

Tebal pelat dua arah ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 8.3.1.2. Pelat yang akan direncanakan yaitu pelat S1 dengan ukuran 6 m x 6 m seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Denah Balok untuk pelat dua arah

Pelat S1 didefinisikan sebagai pelat satu arah karena $L_y/L_x < 2$, seperti pada penjabaran di bawah ini :

$$L_y = 6000$$

$$L_x = 6000$$

$$\frac{L_y}{L_x} < 2 \rightarrow \frac{6000}{6000} < 2 \rightarrow 1 < 2 \quad (3)$$

Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang dengan balok diantara tumpuan pada semua sisinya yang di atur pada SNI 2847:2019 Tabel 8.3.1.2 ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Ketebalan minimum pelat dua arah

No.	α_{fm}	h minimum, mm
1	$\alpha_{fm} \leq 0,2$	8.3.1.1 diterapkan
2	$0,2 < \alpha_{fm} \leq 0,2$	Terbesar dari: $\frac{\ell_n (0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta (\alpha_{fm} - 0,2)}$ tidak boleh < 125 mm
3	$\alpha_{fm} > 0,2$	Terbesar dari: $\frac{\ell_n (0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta}$ tidak boleh < 90 mm

Berdasarkan tabel 4 tebal minimum plat (t_{min}) didapat berdasarkan masing-masing formula dengan acuan rasio kekakuan (α_{fm}) sehingga tebal minimum plat bisa diperoleh seperti pada tabel 5.

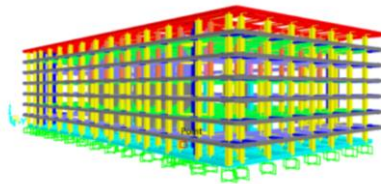
Tabel 5. Rekapitulasi tebal plat

Tipe	t	Ly	Lx	α_{fm}	t min	Check (t min < t)
S1	180	6000	6000	2,675	135,111	OK
S2	150	6000	6000	2,675	135,111	OK

Berdasarkan tabel 5 tebal minimum plat (t_{min}) dihitung menggunakan formula 3 pada tabel 4. dimana rasio kekakuan (α_{fm}) S1 dan S2 sebesar $2,675 > 0,2$ yang mana didapatkan hasil tebal plat yang direncanakan lebih besar atau sama dengan sehingga memenuhi syarat ketebalan minimum pelat dua arah (SNI 2847: 2019 tabel 8.3.1.2, 2019)

3.2. Hasil pemodelan struktur

Berikut merupakan hasil permodelan struktur Gedung pada PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang menggunakan SAP2000 V22 pada gambar 4.



Gambar 4. Permodelan struktur menggunakan SAP2000

3.3. Analisis struktur

Tahap Analisa Struktur yang dilakukan mengalami beberapa langkah pengeckan, diantaranya:

3.3.1. Kontrol Analisis Beban Gempa

Berikut merupakan Kontrol Analisis Beban Gempa Dinamis yang ditinjau berdasarkan beberapa faktor diantaranya :

1) Analisis Jumlah Ragam atau Partisipasi Massa

Analisis jumlah ragam harus mendapatkan massa ragam x dan y diatas 90% berdasarkan SNI 1726-2019. Tabel 6 merupakan tabel kontrol Analisa jumlah ragam atau partisipasi massa di PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang yang sudah melebihi 90%.

Tabel 6. Modal Participating Mass Ratio

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
OutputCase	StepType	StepNum	Period	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	1,391251	0,04924	0,78144
MODAL	Mode	2	1,382064	0,80953	0,83186
MODAL	Mode	3	1,232579	0,8345	0,83188
MODAL	Mode	4	0,450663	0,88566	0,87964
MODAL	Mode	5	0,444827	0,93452	0,93843
MODAL	Mode	6	0,404664	0,94119	0,94137

MODAL	Mode	7	0,265898	0,94325	0,94139
MODAL	Mode	8	0,253596	0,95866	0,9565
MODAL	Mode	9	0,251638	0,9731	0,97449
MODAL	Mode	10	0,237124	0,9731	0,97449
MODAL	Mode	11	0,228962	0,9744	0,97493
MODAL	Mode	12	0,225637	0,97496	0,97493

Tabel 6 menunjukkan massa ragam x (SumUX) dan y (SumUY) lebih dari 0,90 yang artinya jumlah ragam atau partisipasi sudah memenuhi syarat SNI 1726-2019 dimana harus lebih dari 90%.

2) Perbandingan Geser Dasar Statis dan Dinamis

Analisis perbandingan geser dasar statis dan dinamis harus mendapatkan V Dinamik Geser Dasar $>$ V Statik Geser Dasar maka keadaan dianggap OK atau Memenuhi. Tabel 7 merupakan tabel kontrol Analisa perbandingan geser dasar statis dan dinamis di PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang yang sudah memenuhi Batasan persyaratan.

Tabel 7. Analisa perbandingan geser statis dan dinamis dari output SAP2000

	Dinamik (VD)	Statik (VS)	Skala Faktor	Kontrol
Gaya Geser Dasar	Gaya Geser Dasar (kN)	Gaya Geser Dasar (kN)	VS / VD	(VD) \geq 100% Vs
Arah X	7033,68	-11374,46	-1,6171422	OK
Arah Y	7154,44	-11474,35	-1,603809	OK

Tabel 7 menunjukkan gaya dinamik geser dasar lebih besar dari gaya statik geser dasar sehingga struktur dinyatakan aman.

3) Simpangan Antar Lantai

Analisis simpangan antar lantai harus menghasilkan simpangan antar tingkat desain tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin. Tabel 8 dan tabel 9 merupakan hasil kontrol Analisa simpangan antar lantai di PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang yang sudah memenuhi Batasan persyaratan.

Tabel 8. Simpangan lantai arah x dari output SAP2000

Lantai	Hsx (mm)	dx (mm)	Δx (mm)	Δa (ijin) (mm)	Kontrol $\Delta x < \Delta a$ diijinkan
Atap	3000	24,0373	7	75	OK
7	3000	22,7563	14	75	OK
6	3000	20,2288	18	75	OK
5	3000	16,9165	24	75	OK
4	3000	12,6366	26	75	OK
3	3000	7,9537	26	75	OK
2	3000	3,1608	17	75	OK
Dasar	0,0000	0	0	0	

Tabel 8 menunjukkan simpangan antar lantai arah x memenuhi syarat $\Delta x < \Delta a$ dimana Δx hasil dari analisa SAP2000 dan $\Delta a = 0,25 \times$ tinggi tingkat (Hsx) sehingga untuk simpangan antar lantai masih dalam batas yang diizinkan.

Tabel 9. Simpangan lantai arah y dari output SAP2000

Lantai	Hsx (mm)	dy (mm)	Δy (mm)	Δa (ijin) (mm)	Kontrol $\Delta y < \Delta a$ diijinkan
Atap	3000	0,5898	0,348	75	OK
7	3000	0,5265	0,427	75	OK
6	3000	0,4488	0,230	75	OK
5	3000	0,4069	0,296	75	OK
4	3000	0,3531	0,485	75	OK
3	3000	0,2649	0,784	75	OK
2	3000	0,1223	0,673	75	OK
Dasar	0	0	0	0	

Tabel 9 menunjukkan simpangan antar lantai arah x memenuhi syarat $\Delta y < \Delta a$ dimana Δy hasil dari analisa SAP2000 dan $\Delta a = 0,25 \times$ tinggi tingkat (Hsx) sehingga untuk simpangan antar lantai masih dalam batas yang diizinkan.

3.3.2. Kontrol analisis ratio batang

Dilakukan pengecekan efisiensi penampang, lalu pengecekan kecocokan penggunaan jenis material dengan penampang, dengan hasil penampang dan material yang direncanakan telah sesuai dan tidak terdapat ketidakcocokan. Selanjutnya dilakukan pengecekan kelayakan struktur guna menghindari penampang balok maupun kolom yang mengalami *overstressed* dan hasilnya yaitu semua penampang rencana baik kolom maupun balok berada dalam keadaan aman dan tidak ada yang mengalami *overstressed*. Dapat dilihat pada gambar 5 dibawah ini hasil pengecekan seluruh *frame*.

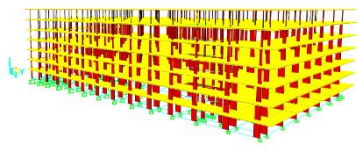


Gambar 5. Hasil kontrol efisiensi penampang

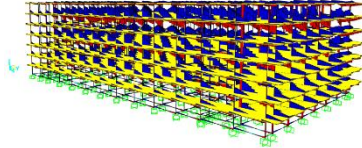
Gambar 5 menunjukkan tidak ada batang yang berwarna merah yang artinya struktur portal utama aman dan tidak ada batang yang mengalami *overstressed* sehingga mampu menahan beban yang ada, bila terjadi *overstressed* maka penampang balok atau kolom harus diperbesar.

3.3.3. Pengecekan gaya geser, momen, dan gaya aksial

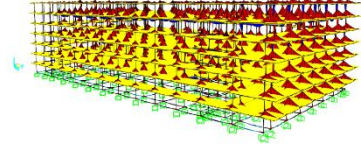
Gaya-gaya dalam yang dihasilkan dari analisis struktur PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang pada program SAP2000 yang mana akan menjadi acuan dalam perhitungan penulangan pada balok, kolom, plat lantai dan pilecap baik tulangan lentur maupun tulangan geser. Berikut gaya-gaya dalam yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 6, gambar 7, gambar 8 di bawah ini antara lain :



Gambar 6. Gaya Aksial



Gambar 7. Gaya Geser



Gambar 8. Momen

3.4. Perhitungan penulangan struktur

3.4.1. Perhitungan penulangan lentur dan geser balok

Berikut merupakan tabel rekapitulasi perhitungan tulangan utama dan Sengkang seluruh penampang balok yang sudah memenuhi syarat gaya aksial dan tinggi efektif menurut SNI 2847:2019. Langkah perhitungan penulangan utama balok dengan mendapatkan nilai A_s perlu dari output SAP2000 lalu dibandingkan dengan A_s minimum pada komponen struktur lentur berdasarkan SNI 2847:2019 untuk mendapatkan dimensi serta jumlah tulangan utama yang dibutuhkan. Sedangkan untuk perhitungan tulangan geser balok dengan menggunakan nilai A_v atau A_s perlu sengkang dari hasil SAP2000 untuk menghitung kebutuhan dimensi dan jarak tulangan. Tabel 10 menunjukkan hasil rekapitulasi perhitungan tulangan lentur balok yang akan digunakan pada perencanaan ulang ini.

Tabel 10. Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Lentur Balok

Tipe	b	h	Ln	Daerah	Posisi	As perlu	As min	As terpasang	Dipasang
TB1	450	650	6350	Tumpuan	Atas	243	1112,561	1900,664	5 D 22
					Bawah	121	1112,561	1140,398	3 D 22
				Lapangan	Atas	60	1112,561	1140,398	3 D 22
					Bawah	121	1112,561	1900,664	5 D 22
B1	400	600	6350	Tumpuan	Atas	1555	753,119	1900,664	5 D 22
					Bawah	758	753,119	1140,398	3 D 22
				Lapangan	Atas	496	753,119	1140,398	3 D 22
					Bawah	1266	753,119	1900,664	5 D 22
B2	400	550	5350	Tumpuan	Atas	1200	753,119	1900,664	5 D 22
					Bawah	758	753,119	1140,398	3 D 22
				Lapangan	Atas	387	753,119	1140,398	3 D 22
					Bawah	758	753,119	1900,664	5 D 22
B3	350	450	6350	Tumpuan	Atas	705	753,119	1900,664	5 D 22
					Bawah	460	753,119	1140,398	3 D 22
				Lapangan	Atas	228	753,119	1140,398	3 D 22
					Bawah				

				Bawah	468	753,119	1900,664	5	D	22
				Atas	381	753,119	1140,398	3	D	22
B4	350	350	6500	Tumpuan Bawah	250	753,119	1140,398	3	D	22
				Lapangan Atas	124	753,119	1140,398	3	D	22
				Lapangan Bawah	362	753,119	1140,398	3	D	22
				Tumpuan Atas	1682	753,119	1900,664	5	D	22
B5	450	650	2350	Tumpuan Bawah	896	753,119	1140,398	3	D	22
				Lapangan Atas	997	753,119	1140,398	3	D	22
				Lapangan Bawah	539	753,119	1900,664	5	D	22
				Tumpuan Atas	1257	753,119	1900,664	5	D	22
BL	400	650	6400	Tumpuan Bawah	1036	753,119	1140,398	3	D	22
				Lapangan Atas	409	753,119	1140,398	3	D	22
				Lapangan Bawah	687	753,119	1900,664	5	D	22

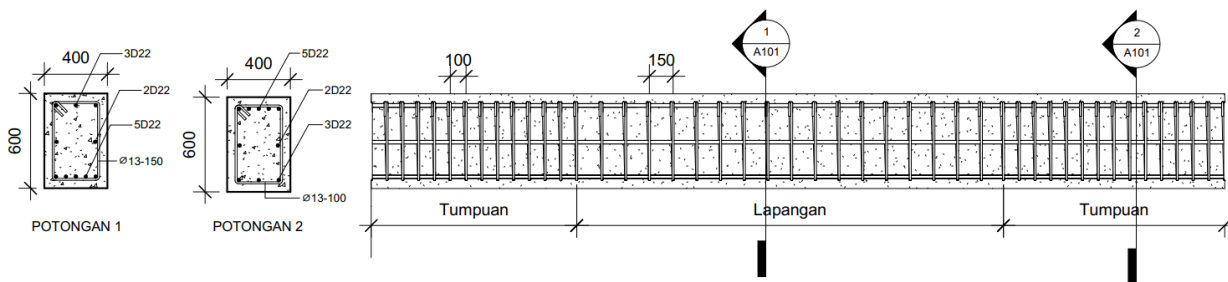
Tabel 10 menunjukkan penulangan lentur pada balok di bagi menjadi dua area yaitu tumpuan dan lapangan dimana terdapat nilai kebutuhan luas tulangan (A_s perlu) yang didapat dari analisa SAP2000. Dilakukan *trial and error* terhadap diameter dan jumlah tulangan agar struktur dinyatakan aman yang mana luas tulangan yang terpasang (A_s terpasang) harus lebih besar dari luas tulangan minimum (A_s min) dan luas tulangan yang dibutuhkan (A_s perlu).

Tabel 11. Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Geser Balok

Tipe	b	h	Ln	Daerah	A_v perlu	\emptyset (mm)	S perlu (mm)	S max (mm)	Dipasang			
TB1	450	700	6350	Tumpuan	2,143	13	123,88	163	2	D	13	- 100
				Lapangan	1,566	13	169,52	325	2	D	13	- 150
B1	500	650	6350	Tumpuan	2,308	13	115,02	138	2	D	13	- 100
				Lapangan	1,588	13	167,17	275	2	D	13	- 150
B2	400	600	5350	Tumpuan	1,295	13	204,99	125	2	D	13	- 100
				Lapangan	1,588	13	167,17	250	2	D	13	- 150
B3	300	500	6350	Tumpuan	0,739	13	359,22	113	2	D	13	- 100
				Lapangan	0,62	13	428,17	225	2	D	13	- 200
B4	300	400	6500	Tumpuan	0,531	13	499,93	113	2	D	13	- 100
				Lapangan	0,416	13	638,14	225	2	D	13	- 200
B5	400	700	2350	Tumpuan	2,948	13	101,94	150	2	D	13	- 100
				Lapangan	2,843	13	134,41	300	2	D	13	- 100
BL	500	700	6400	Tumpuan	2,833	13	127,02	125	2	D	13	- 100
				Lapangan	2,322	13	163,36	250	2	D	13	- 150

Tabel 11 menunjukkan dimana penulangan geser pada balok di bagi menjadi dua area yaitu tumpuan dan lapangan dimana terdapat nilai kebutuhan luas tulangan (A_v perlu) yang didapat dari analisa SAP2000. Dilakukan *trial and error* terhadap diameter tulangan agar dinyatakan aman dan

jarak antar tulangan (s) lebih dari 100. Berikut merupakan contoh dari detail dan potongan penampang stuktur balok B1 dimana terdapat detail tumpuan (potongan 2) sebesar $\frac{1}{4}$ panjang balok dan lapangan (potongan 1) sebesar $\frac{1}{2}$ panjang balok pada gambar 9.



Gambar 9. Detail dan Potongan Balok B1

3.4.2. Penulangan lentur dan geser kolom

Tabel 12 merupakan tabel rekapitulasi perhitungan tulangan utama dan Sengkang seluruh penampang kolom yang ada di perencanaan PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang yang sudah memenuhi syarat sesuai dengan SNI 2847:2019. Langkah perhitungan penulangan utama kolom dengan mendapatkan nilai A_s perlu dari output SAP2000 untuk menghitung dimensi serta jumlah tulangan utama yang dibutuhkan dengan membandingkan A_s perlu dan A_s terpasang. Sedangkan untuk perhitungan tulangan geser kolom juga dengan menggunakan nilai A_v atau A_s perlu sengkang dari hasil SAP2000 untuk menghitung kebutuhan dimensi dan jarak tulangan.

Tabel 12. Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Lentur Kolom

Type	B	h	Tinggi	As perlu	Asp	As perlu < Asp	Dipasang	Cek Rasio
C1	650	650	3000	4225	4562	OK	12 D 22	1,08%
C2	600	600	6000	3600	4562	OK	12 D 22	1,27%
C3	600	650	6000	3900	4562	OK	12 D 22	1,17%
C4	700	700	3000	4900	5890	OK	12 D 25	1,20%
C5	550	550	3000	3025	3041	OK	8 D 22	1,01%
C6	550	500	6000	2750	3041	OK	8 D 22	1,11%
C7	500	500	6000	2500	3041	OK	8 D 22	1,22%
CL	600	600	3000	3600	4562	OK	12 D 22	1,27%

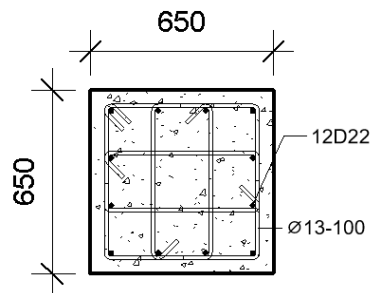
Tabel 12 menunjukkan hasil rekapitulasi perhitungan penulangan lentur kolom dimana terdapat nilai kebutuhan luas tulangan (A_s perlu) yang didapat dari analisa SAP2000 maka dilakukan *trial and error* terhadap diameter dan jumlah tulangan agar dinyatakan aman yang mana luas tulangan yang terpasang (A_s terpasang) harus lebih besar dari luas tulangan minimum (A_s min) dan luas tulangan yang dibutuhkan (A_s perlu). Perbandingan luas tulangan dengan luas penampang (*ratio*) harus lebih dari sama 1% dan kurang dari sama dengan 6%.

Tabel 13. Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Geser Kolom

Type	b	h	A_v	\emptyset (mm)	S perlu	S max	Dipasang
C1	650	650	2,851	13	530,929	150	4 D 13 - 100
C2	600	600	1,783	10	235,619	150	3 D 10 - 100
C3	600	650	2,063	10	314,159	150	4 D 10 - 100

C4	700	700	2,097	10	314,159	150	4	D	10	-	100
C5	550	550	1,605	10	235,619	150	3	D	10	-	100
C6	550	500	1,566	10	235,619	150	3	D	10	-	150
C7	500	500	1,244	10	235,619	150	3	D	10	-	150
CL	600	600	2,162	10	235,619	150	3	D	10	-	100

Tabel 13 menunjukkan hasil rekapitulasi perhitungan penulangan geser pada kolom terdapat nilai kebutuhan luas tulangan (A_v perlu) yang didapat dari analisa SAP2000 maka dilakukan *trial and error* terhadap diameter tulangan agar struktur dinyatakan aman dan jarak antar tulangan (s) lebih dari 100. Berikut merupakan contoh dari detail kolom C1 pada gambar 10.



Gambar 10. Detail Kolom C1

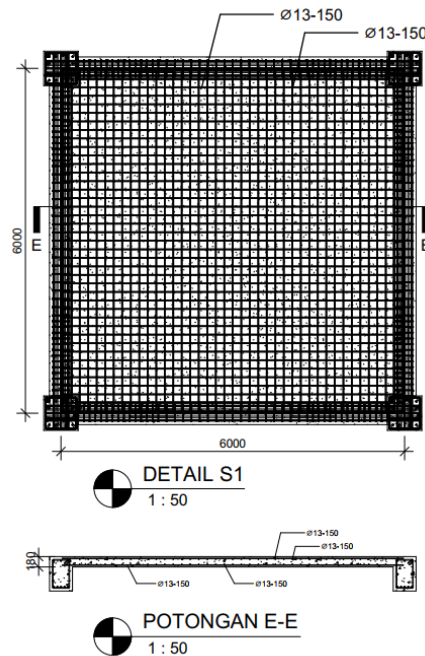
3.4.3. Perhitungan penulangan pelat

Tabel 14 merupakan tabel rekapitulasi perhitungan tulangan seluruh penampang pelat yang ada di perencanaan PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang yang sudah memenuhi syarat sesuai dengan SNI 2847:2019. Perhitungan penulangan pelat dengan menggunakan nilai M_u dari hasil SAP2000 untuk menghitung kebutuhan dimensi dan jarak tulangan.

Tabel 14. Rekapitulasi perhitungan tulangan pelat lantai

Tipe	t	Area	Posisi	M_u (kNm)	Tebal Efektif (d)	ϕM_n (kNm)	a (mm)	Cek Kapasitas	Dipasang
S1	180	Tulangan Arah X	Tumpuan	6	160	29,39	8,21	OK	D 13 - 150
			Lapangan	27	160	29,39	8,21	OK	D 13 - 150
		Tulangan Arah Y	Tumpuan	6	160	29,39	8,21	OK	D 13 - 150
			Lapangan	28	160	29,39	8,21	OK	D 13 - 150
S2	150	Tulangan Arah X	Tumpuan	4	130	23,73	8,21	OK	D 10 - 100
			Lapangan	9,2	130	23,73	8,21	OK	D 10 - 100
		Tulangan Arah Y	Tumpuan	4,7	130	23,73	8,21	OK	D 10 - 100
			Lapangan	9,1	130	23,73	8,21	OK	D 10 - 100

Tabel 14 menunjukkan rekapitulasi penulangan lentur pada plat lantai di bagi menjadi dua area yaitu tumpuan dan lapangan dimana terdapat nilai momen maksimal (M_u) yang didapat dari analisa SAP2000. Dilakukan *trial and error* terhadap diameter dan jarak antar tulangan agar struktur dinyatakan aman yang mana momen maksimal (M_u) harus lebih kecil dari momen nominal (ϕM_n). Berikut merupakan contoh dari detail plat S1 pada gambar 11.



Gambar 11. Detail S1

3.4.4. Perhitungan penulangan pilecap

Nilai momen lentur yang digunakan untuk mendesain penulangan pile cap diambil dari reaksi tiang pancang terhadap muka kolom. Sedangkan untuk pondasi tiang pancang rencana yang dipakai yaitu dimensi 350x350 mm dengan kedalaman 12 m. Berikut merupakan perhitungan kebutuhan tulangan untuk pile cap.

$$M_u = 159,218 \text{ KN}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

$$R_n = \frac{159,218}{0,9 \times 1750 \times 525^2} = 0,367$$

$$\rho = \frac{0,85 f'c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{R_n}{0,85 f'c}} \right]$$

(5)

$$\rho = \frac{0,85 \times 30}{400} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{0,367}{0,85 \times 30}} \right] = 0,00092$$

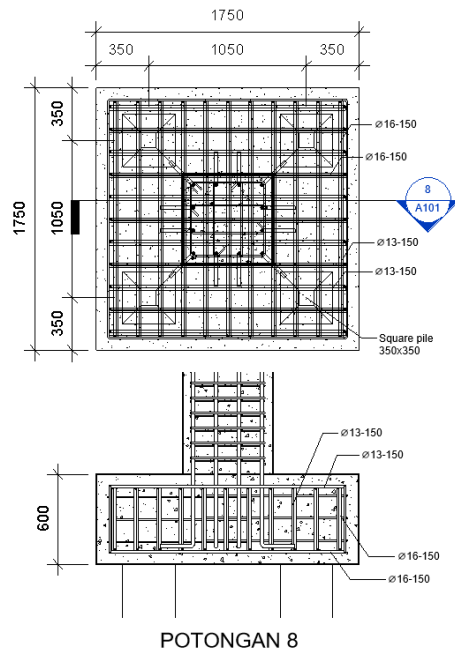
$$A_s \text{ perlu} = \rho b d$$

$$A_s \text{ perlu} = 0,00092 \times 1750 \times 525 = 848,57 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \rho_{\text{min}} b d$$

$$A_s \text{ min} = 0,0018 \times 1750 \times 525 = 1653,75 \text{ mm}^2$$

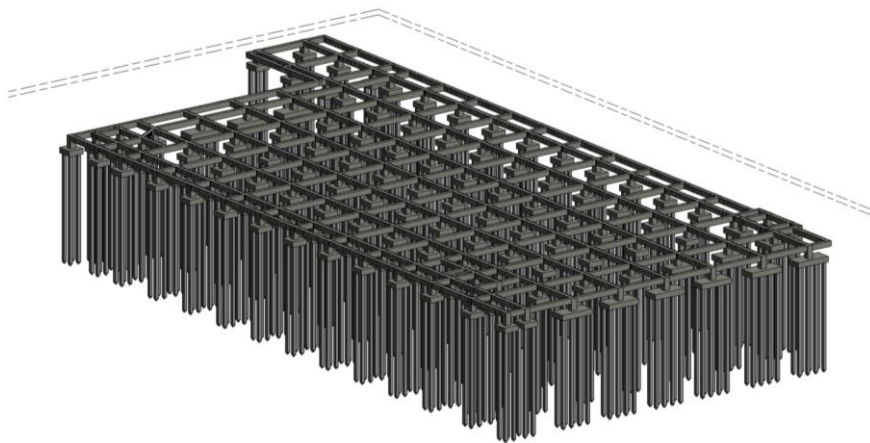
Maka, digunakan tulangan Ø16-150 tulangan atas dan tulangan bawah sebesar 20% tulangan bawah yaitu Ø13-150 di tulangan melintang maupun memanjang. Berikut merupakan contoh dari detail plat S1 pada gambar 11.



Gambar 12. Detail PC4

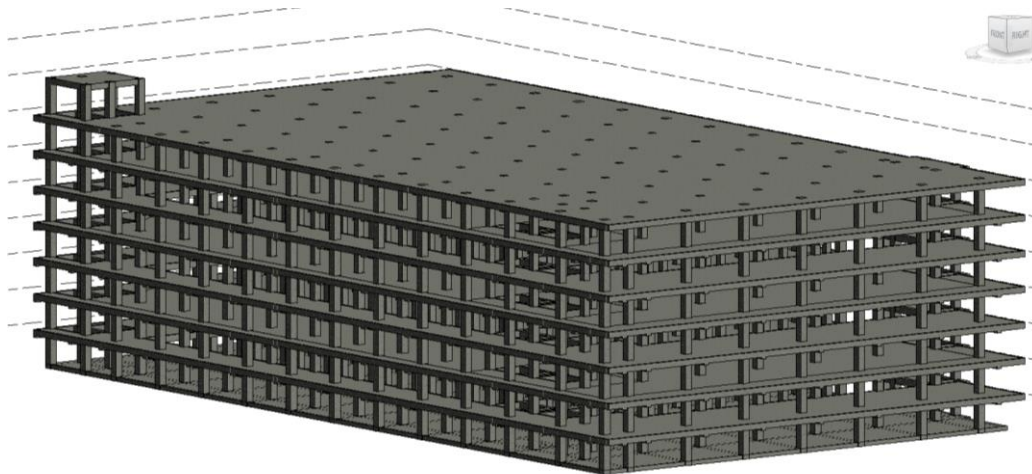
3.4.5. Pemodelan 3D dengan Revit

Berikut merupakan hasil pemodelan menggunakan Revit untuk struktur bawah gedung PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang yang sudah sesuai dengan perhitungan struktur yang direncanakan terdiri dari pondasi tiang pancang, pile cap, dan tie beam pada gambar 13.



Gambar 13. 3D Struktur bawah Revit

Selanjutnya di bawah ini juga hasil pemodelan menggunakan Revit untuk struktur atas gedung PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang yang sudah sesuai dengan hasil perhitungan struktur. Pemodelan struktur atas ini terdiri dari kolom, balok, dan pelat lantai pada gambar 14.



Gambar 14. 3D Struktur atas Revit

4. Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penyusunan rencana ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam perencanaan ulang struktur Gedung PT. Ferron Pharmaceuticals Ada beberapa perubahan yakni dimensi penampang desain yang berbeda dengan *as built drawing* PT. Ferron Pharmaceuticals. Pada perencanaan ulang ini dimensi penampang struktur dihitung berulang kali dari balok pengikat, balok, kolom dan pelat diubah dimensinya. Perubahan tersebut terjadi karena perbedaan faktor pembebanan dan efisiensi luas penampang.
2. Perencanaan ulang struktur Gedung PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang, dengan kategori risiko II dan Kelas Situs SD (Tanah Sedang) yang masuk dalam desain seismik kategori D dapat dirancang menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPMK).
3. Semua struktur yang direncanakan aman melalui pembebanan dan analisis struktur menggunakan SAP2000 V22 dan memenuhi kriteria aman dan Batasan aturan perencanaan gedung yang berlaku.
4. Pemodelan 3D memvisualisasikan pemodelan struktur secara tiga dimensi yang mencakup struktur bawah, struktur atas, hingga penulangan komponen.

Ucapan terima kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dan mendukung dalam penyusunan, perencanaan dan analisis struktur bangunan Gedung PT. Ferron Pharmaceuticals Cikarang khususnya PT. Nusa Raya Cipta Tbk. Yang telah mengizinkan untuk mengambil data perencanaan untuk mendukung perencanaan ulang gedung ini.

Referensi

- Abdalla, Salem Buhashima et al. 2023. "Comparative Analysis of Building Information Modeling (BIM) Patterns and Trends in the United Arab Emirates (UAE) with Developed Countries." *Buildings* 13(3): 695.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung.*
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan.*
- Badan Standardisasi Nasional. 2020. *SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung Dan Struktur Lain.*

- Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik. 1971. "Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971." *Jakarta: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan* 7: 130.
- Ir. Gideon H. Kusuma M. Eng, Ir.W.C. Vis. 1993. *Dasar Dasar Perencanaan BEton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-D3*.
- M Nur Sholeh. 2022. "Analisa Struktur SAP2000 V22." : 167.
- Muafandi, Sonif, Arifien Nursandah, and Bambang Kiswono. 2019. "Perencanaan Struktur Gedung Perkantoran Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Berdasarkan Sni 2847-2013 Di Bantul – Yogyakarta." *Agregat* 4(1): 324–30.
- Partama, I Gusti Ngurah Eka. 2017. "Penentuan Tebal Pelat Lantai Gedung Yang Ditumpu Pada Keempat Sisinya Sesuai SNI 2847:2013." *Jurnal Teknik Gradien* 9(1): 1–20.
- Sabrina, Mona Indria, Nevy Sandra, and Fajri Yusmar. 2022. "Rancang Bangun Desain Elemen Struktur Balok Pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)." *Cived* 9(3): 405.
- Salmon, Chu Kia Wang and Charles G. 1986. "Desain Beton Bertulang." : 502.
- Saputra, Ardo, Hasti Rikara Husni, Bayzoni, and Amril Maruf Siregar. 2022. "Penerapan Building Information Modeling (BIM) Pada Bangunan Gedung Menggunakan Software Autodesk Revit (Studi Kasus: Gedung 5 RSPTN Universitas Lampung)."
- Setiawan, Agus. 2016. *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 : 2013*.
- Tangahu, Budi Rahmad, Kasmat Saleh Nur, and Mirzan Gani. 2019. "Analisis Pengaruh Faktor Modifikasi Respon SRPMK Struktur Gedung Beton Bertulang Pada Balok Kategori Desain Seismik D." *Jurnal Teknik* 17(1): 57–65.
- Vincent, D., Ojo, S., & Omeje, H. 2020. "Assessing the Utilization of Building Information Modelling Software for Project Planning in Construction Industries in Ondo State."