

BAB IV Hasil dan Pembahasan

IV.1. Perbandingan Proses Memasukkan Data Tulangan antara Metode Revit Konvensional dengan Program

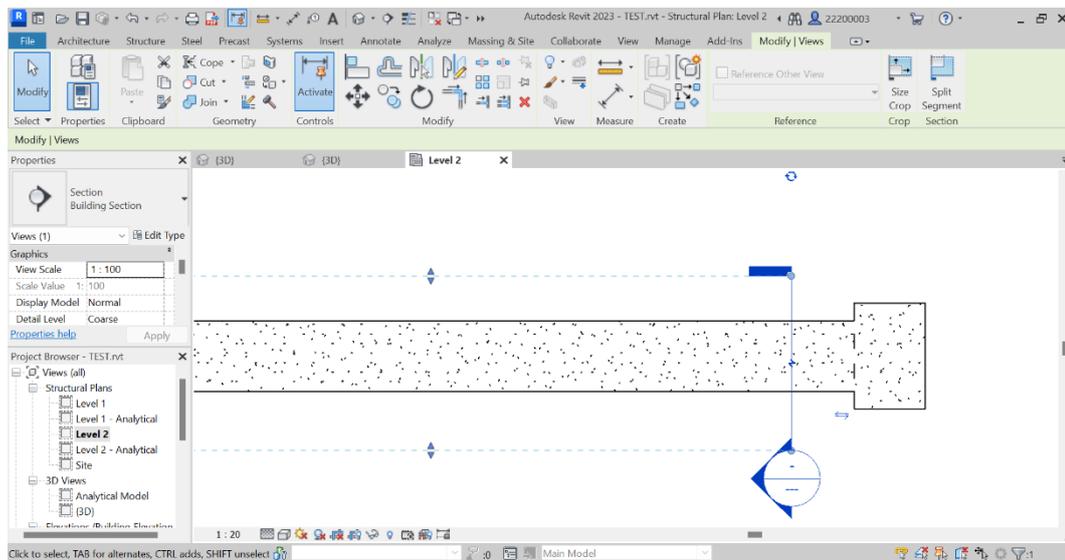
Jika dibandingkan proses pembuatan tulangan pada elemen struktur antara menggunakan metode Revit konvensional dengan menggunakan program, maka hasilnya adalah: program mampu membuat tulangan yang lebih cepat dan akurat dibanding metode Revit konvensional. Hal ini dikarenakan program menggunakan sistem *looping* (pengulangan) yang bekerja secara otomatis. Otomatisasi yang dilakukan oleh program menghasilkan tulangan yang sama dan seragam pada masing-masing elemen struktur.

IV.1.1. Pembuatan Tulangan dengan Metode Revit Konvensional

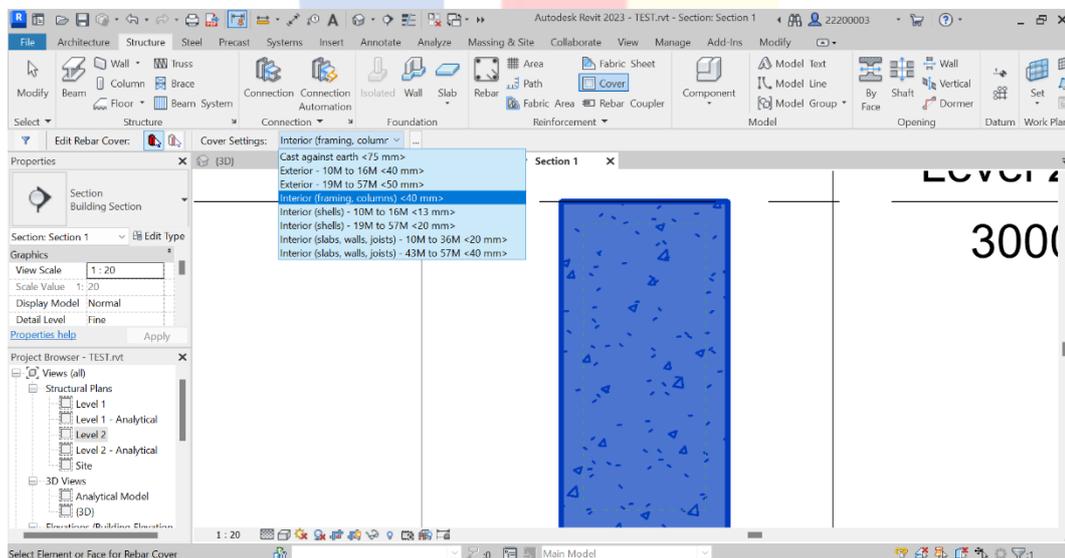
Subbab III.5. telah memberikan gambaran mengenai cara kerja program, dan Gambar 3.35. memperlihatkan bahwa pengguna hanya perlu mengubah nilai pada *Inputs*, lalu melakukan klik pada tombol *Run* untuk menjalankan program. Dengan demikian program akan berjalan secara otomatis dan mulai membuat tulangan pada elemen struktur. Hal ini akan jauh berbeda jika tulangan dibuat secara manual pada Revit. Jika tulangan dibuat secara manual, maka langkah-langkahnya adalah sebagai berikut.

- Membuat *Section* pada elemen struktur yang ingin diberi tulangan (misal elemen balok), seperti pada Gambar 4.1;
- Melakukan klik ganda pada *Section*, lalu mengatur selimut beton melalui fitur *Cover* seperti pada Gambar 4.2;
- Kemudian melakukan klik pada fitur *Rebar*, lalu memilih model tulangan yang diinginkan seperti pada Gambar 4.3;
- Mengatur arah penempatan tulangan dengan fitur *Placement*. Jika tulangan yang ingin dibuat adalah tulangan longitudinal, maka sebaiknya memilih *Parallel to Cover* atau *Perpendicular to Cover*, seperti pada Gambar 4.4;
- Memilih ukuran dimensi tulangan, seperti pada Gambar 4.5;
- Menempatkan tulangan pada balok, seperti pada Gambar 4.6;

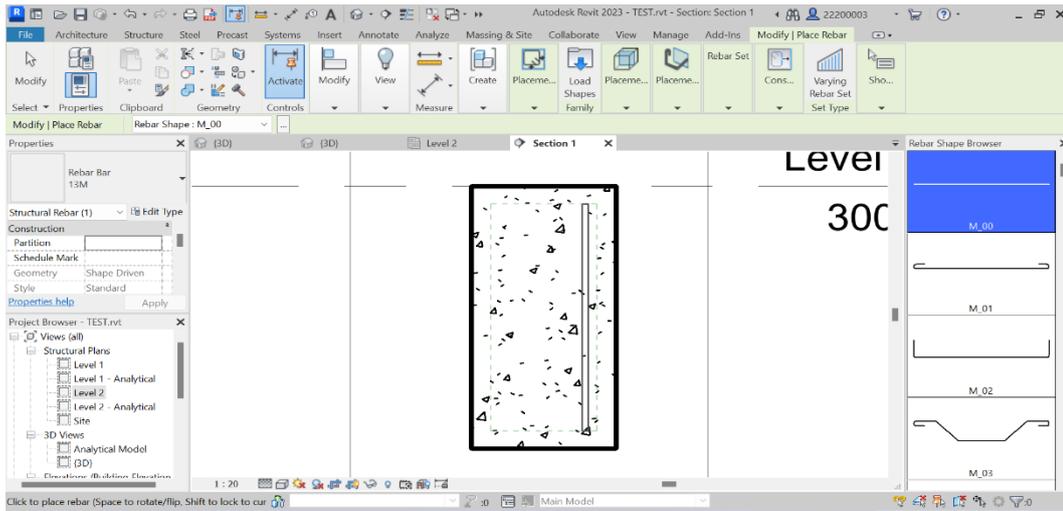
- Mengatur jumlah tulangan dengan fitur *Rebar Set*, seperti pada Gambar 4.7; dan
- Menampilkan tulangan pada tampilan 3D dengan mengatur *View Visibility* tulangan, seperti pada Gambar 4.8. Hasil tampilan 3D tulangan dapat dilihat pada Gambar 4.9.



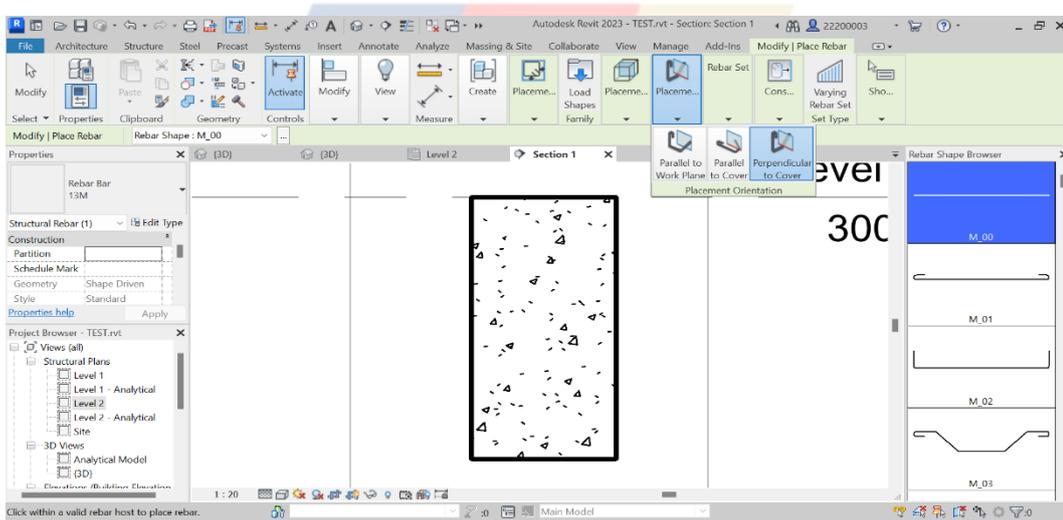
Gambar 4.1. *Section* pada balok



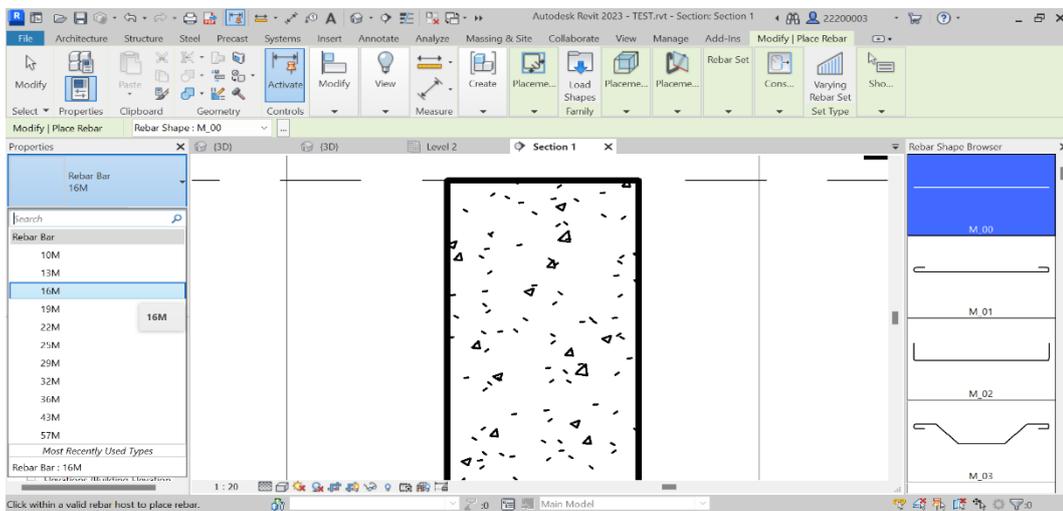
Gambar 4.2. Mengatur selimut beton pada balok



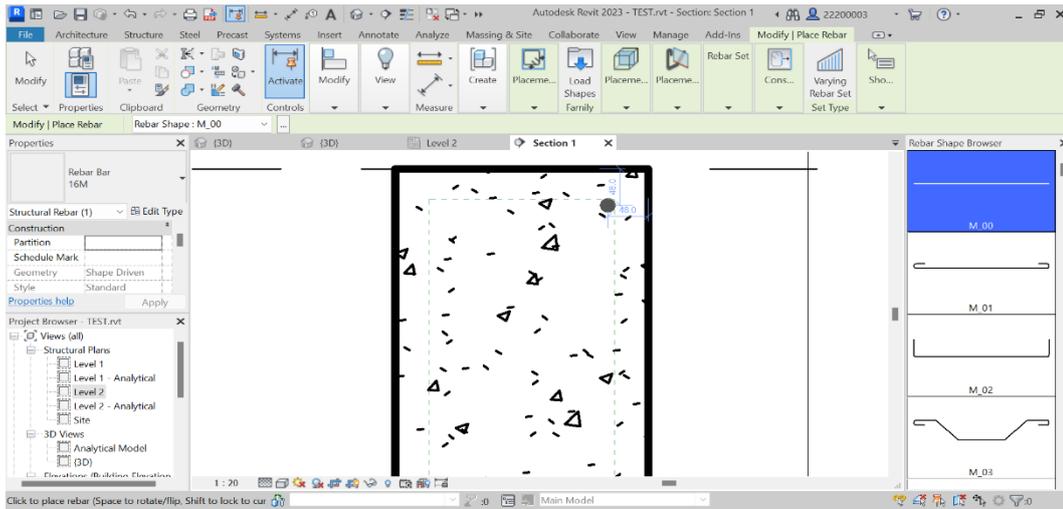
Gambar 4.3. Memilih model tulangan



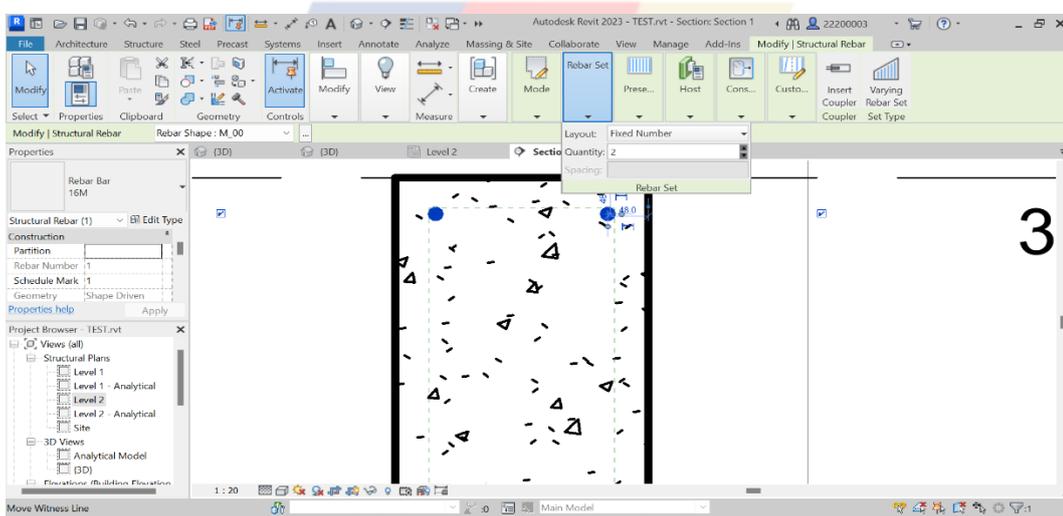
Gambar 4.4. Mengarah penempatan tulangan



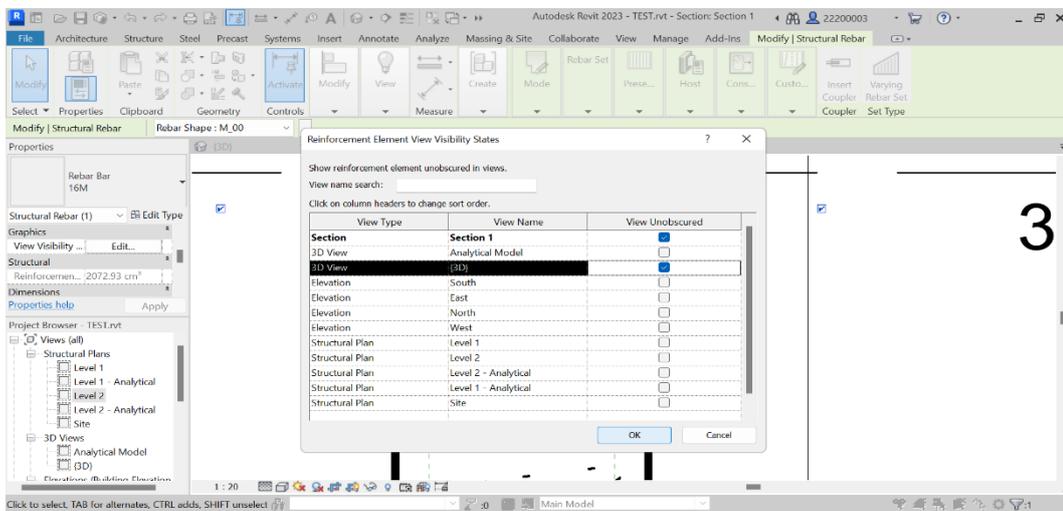
Gambar 4.5. Mengarah dimensi tulangan



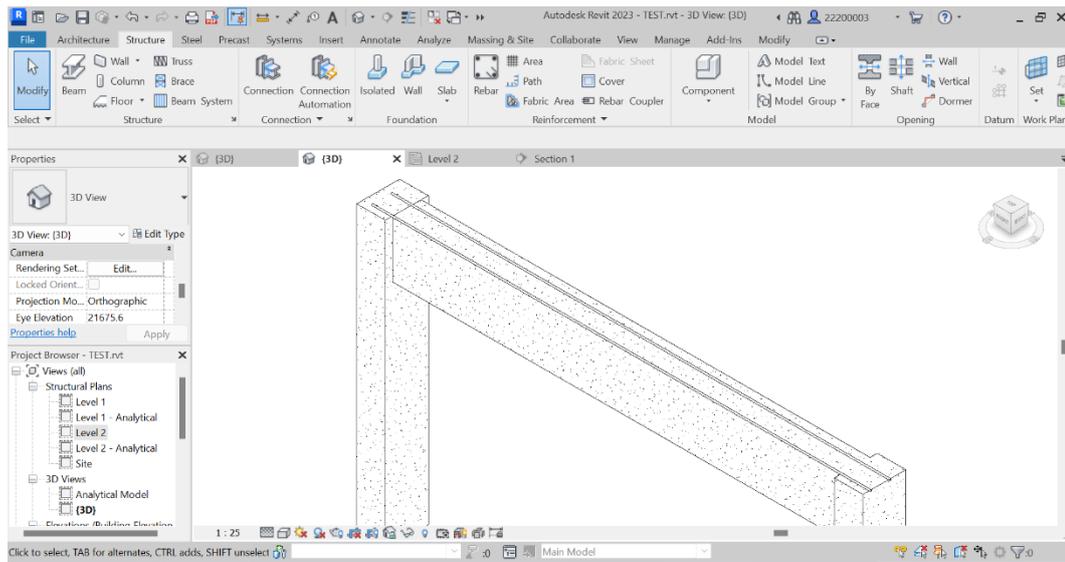
Gambar 4.6. Menempatkan tulangan pada balok



Gambar 4.7. Mengatur jumlah tulangan



Gambar 4.8. Mengatur agar tulangan muncul pada tampilan 3D



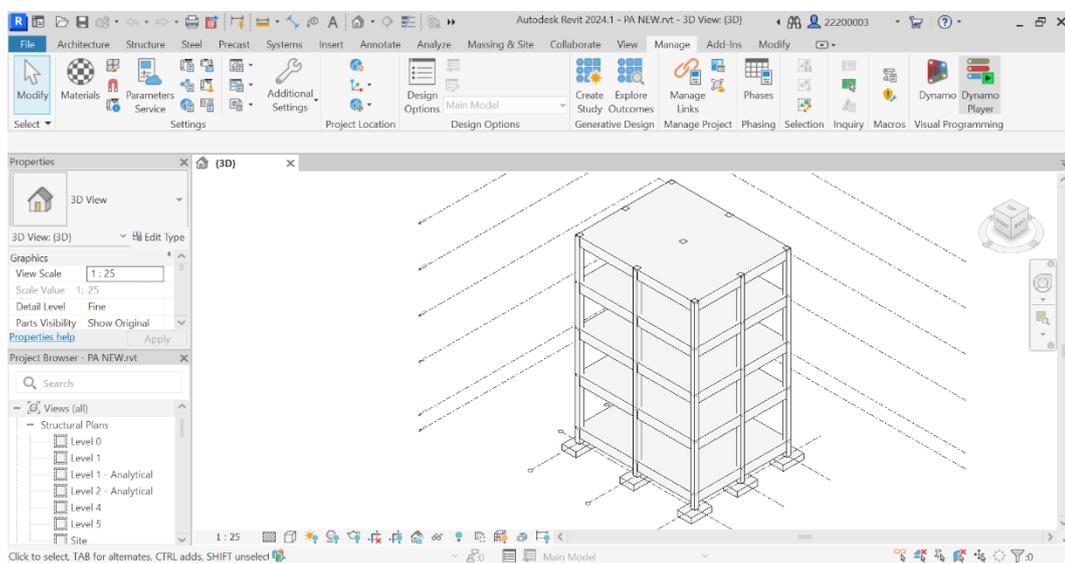
Gambar 4.9. Tulangan pada tampilan 3D

IV.1.2. Cara Menggunakan Program untuk Membuat Tulangan

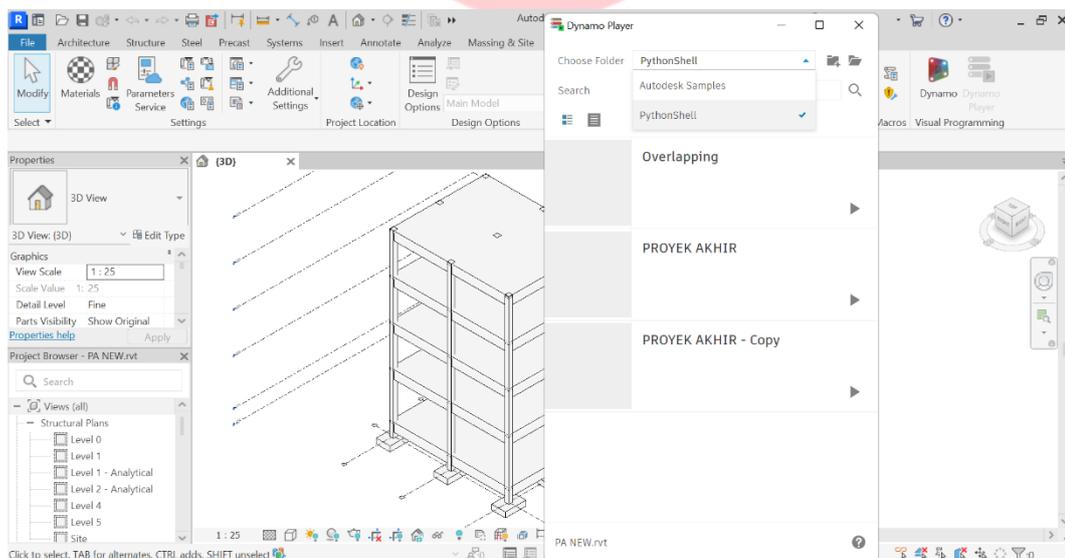
Program diatur sedemikian rupa supaya pengguna cukup memasukkan nilai atau informasi sebagai *inputs* dalam menentukan bentuk tulangan. Salah satu fitur dari Dynamo adalah Dynamo Player yang memungkinkan pengguna untuk menggunakan program tanpa harus membuka halaman pemrograman. Namun, untuk dapat menggunakan fitur tersebut, maka pengguna harus mengunduh terlebih dahulu Dynamo pada perangkat komputernya. Selain itu, sebelum program digunakan, pastikan bahwa elemen struktur telah dimodelkan pada Revit, sehingga program dapat memperoleh informasi-informasi struktur dari pemodelan tersebut. Oleh karena itu, apabila terdapat kasus yang mana pengguna hanya memiliki gambar struktur, maka gambar struktur tersebut harus dimodelkan pada Revit agar program dapat digunakan. Berikut merupakan cara menggunakan program untuk membuat tulangan pada Revit.

- Pada halaman Revit, buka *bar* Manage, kemudian klik pada Dynamo Player, seperti pada Gambar 4.10;
- Pada Dynamo Player, pilih lokasi folder tempat *file* program berada, seperti pada Gambar 4.11;
- Kemudian seperti pada Gambar 4.12, pilih *file* program yang akan digunakan;

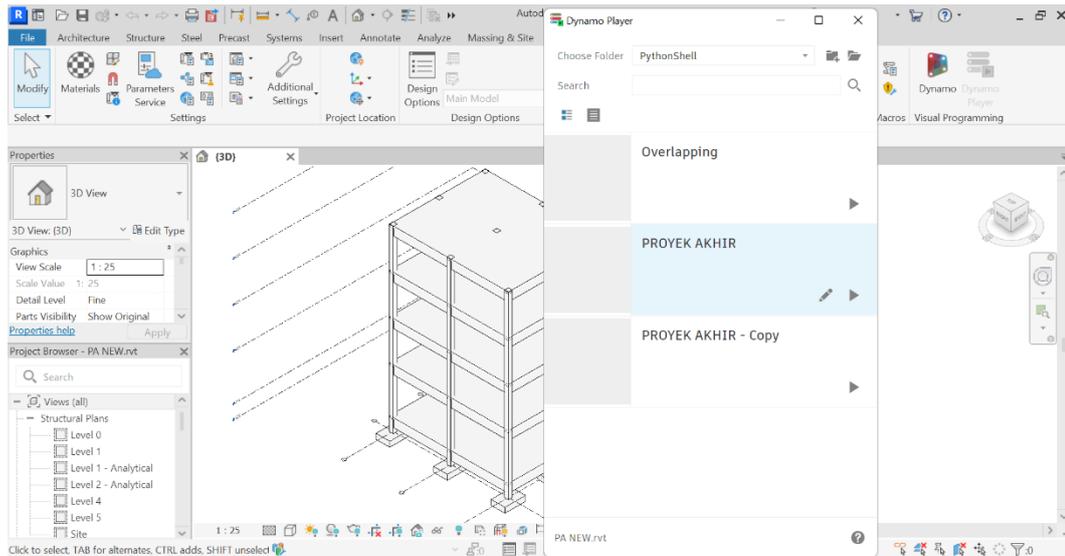
- Gambar 4.13 menunjukkan tampilan *file* pada Dynamo Player. Pada tahap ini, pengguna hanya perlu menyesuaikan nilai-nilai pada *bars* sesuai dengan yang diinginkan. Perhatikan bahwa *bars* yang ada pada bagian *Outputs* masih kosong dikarenakan program belum dijalankan. Apabila semua nilai pada *Inputs* telah sesuai, lakukan klik pada Run; dan
- Gambar 4.14 menunjukkan bahwa setelah program dijalankan (*run*), maka program akan menggambar tulangan pada elemen struktur secara otomatis. Selain itu, terlihat pula bahwa *bars* pada *Outputs* menunjukkan total panjang tulangan pada masing-masing elemen struktur.



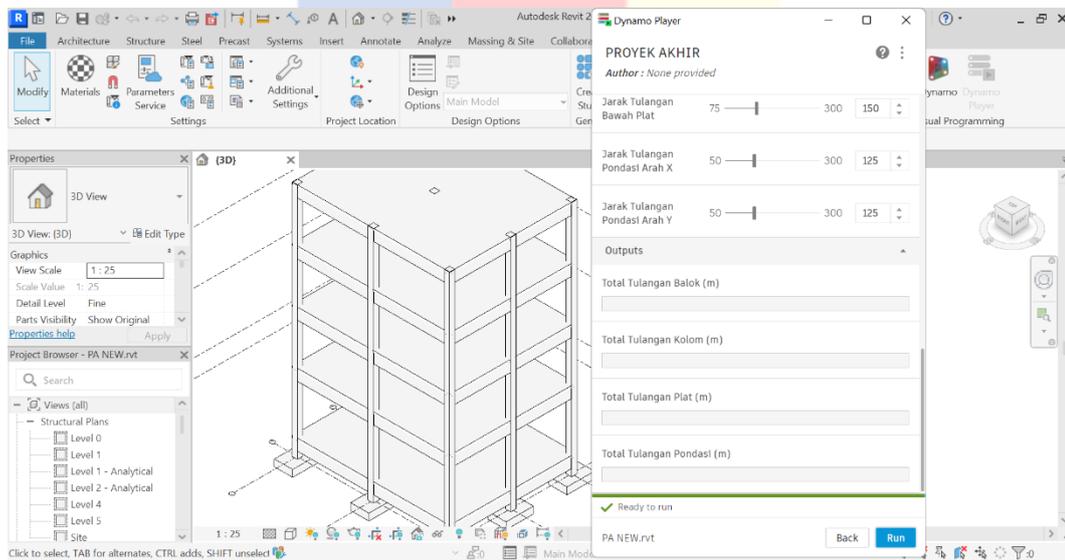
Gambar 4.10. Lokasi Dynamo Player pada Revit



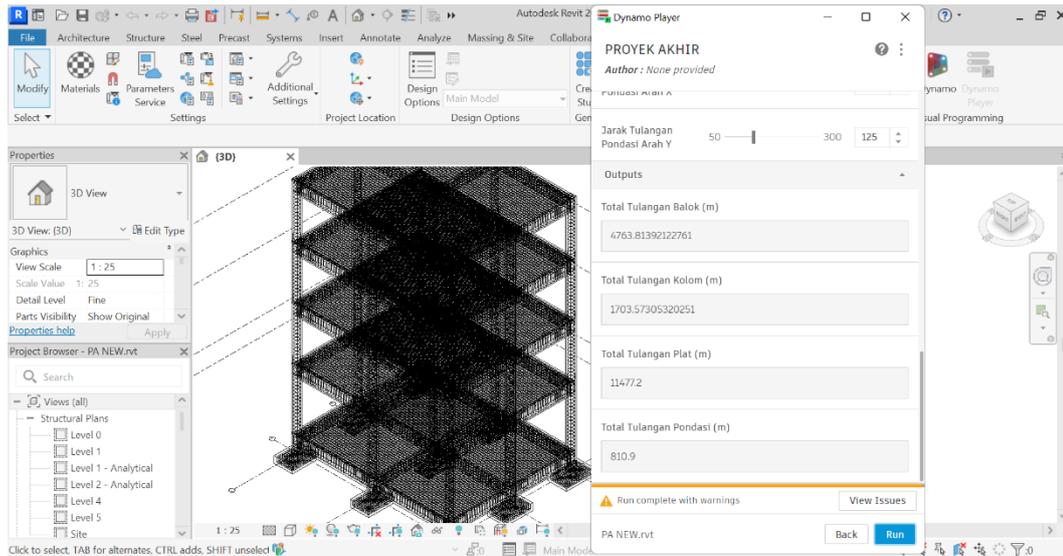
Gambar 4.11. Pilih lokasi folder tempat *file* program berada



Gambar 4.12. Pilih *file* program yang akan digunakan



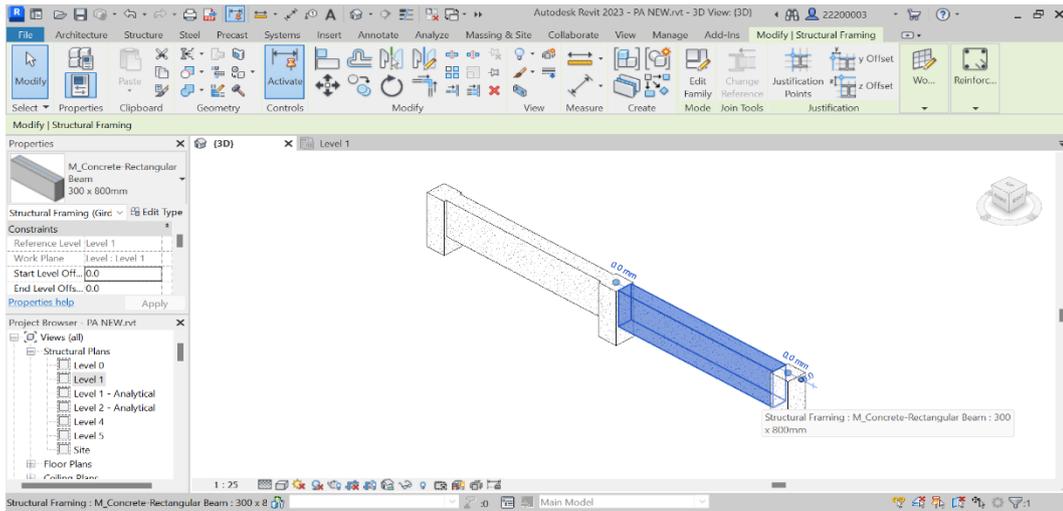
Gambar 4.13. Menyesuaikan nilai pada *bars* dengan yang diinginkan



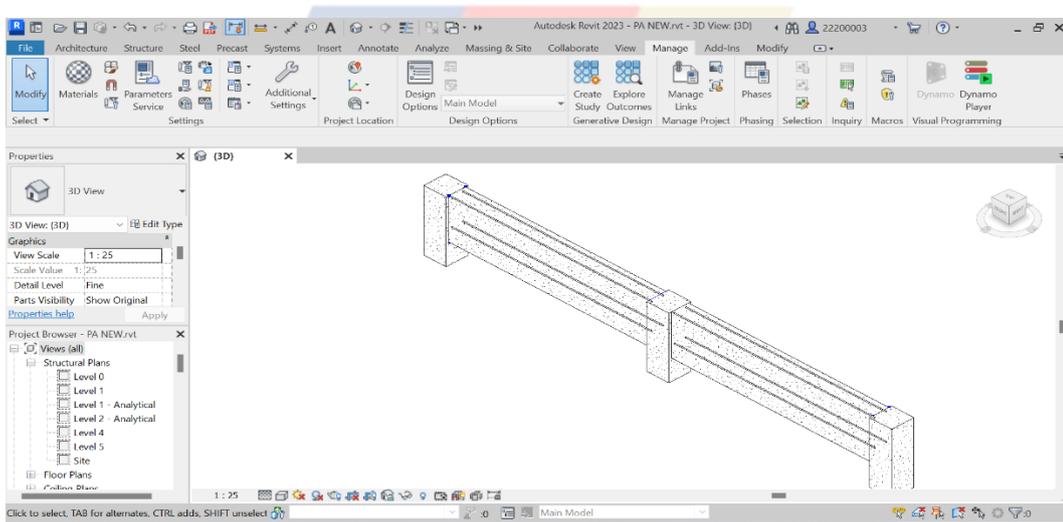
Gambar 4.14. Hasil tulangan yang dibuat oleh program beserta informasi total tulangannya

Selain itu, perlu diketahui bahwa cara mendesain atau menggambar elemen struktur (terutama balok) pada Revit memengaruhi hasil dari tulangan (terutama tulangan longitudinal) yang dibuat oleh program. Tulangan yang tercipta oleh program akan mengikuti panjang elemen strukturnya. Apabila suatu elemen struktur balok digambar per segmen dari kolom ke kolom, maka tulangan longitudinalnya hanya akan sepanjang segmen balok tersebut yang dari kolom ke kolom. Namun, jika balok digambar dari ujung kolom ke ujung kolom yang satu, maka tulangan longitudinalnya akan menerus sepanjang bentang balok.

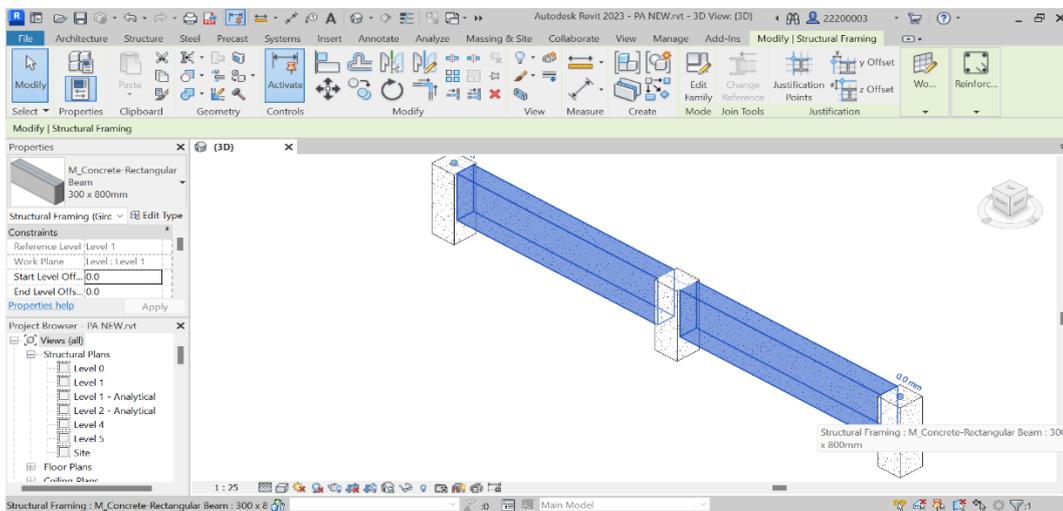
Gambar 4.15 menunjukkan suatu elemen balok yang digambar per segmen dari kolom ke kolom. Perhatikan bahwa ketika balok diklik, maka Revit membacanya sebagai sebuah balok yang bukan menerus. Hal ini berimplikasi pada model tulangannya, yang mana Revit hanya akan mengizinkan program untuk membuat tulangan seperti pada Gambar 4.16. Namun, jika elemen balok digambar secara menerus seperti pada Gambar 4.17, maka Revit akan membacanya sebagai balok menerus yang terpotong oleh kolom. Bandingkan hasil tulangan antara Gambar 4.16 dan Gambar 4.18 untuk melihat dengan jelas antara pengaruh cara menggambar elemen balok dengan hasil tulangannya.



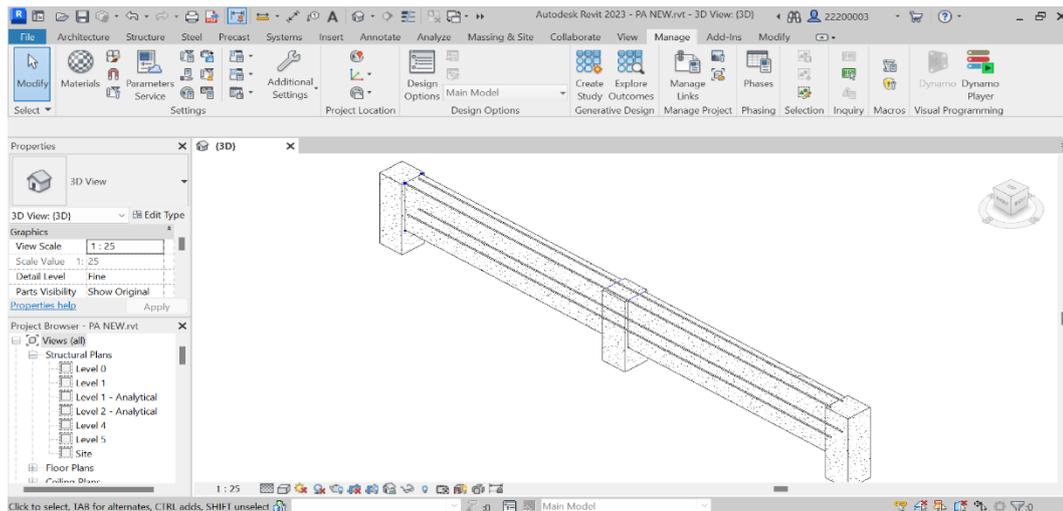
Gambar 4.15. Balok yang digambar per segmen (dari kolom ke kolom)



Gambar 4.16. Hasil tulangan dari balok yang digambar per segmen



Gambar 4.17. Balok yang digambar dari ujung kolom ke ujung kolom



Gambar 4.18. Hasil tulangan dari balok yang digambar menerus

IV.2. Perbandingan Perhitungan Kebutuhan Tulangan antara Revit dan Program

Tulangan yang dihasilkan atau digambar oleh program pada Revit memiliki selisih nilai panjang dengan metode konvensional. Pada metode konvensional, panjang tulangan (terutama tulangan longitudinal) merupakan penjumlahan antara panjang bersih bentang elemen, panjang penyaluran, panjang sambungan (jika ada), panjang kait (jika ada), dan bengkokan (jika ada). Perhitungan pada program memasukkan faktor panjang penyaluran, panjang sambungan, panjang kait dan bengkokan tulangan sehingga hasilnya sesuai dengan perhitungan konvensional. Namun, ketika dibandingkan panjang tulangannya, ditemukan adanya selisih panjang antara perhitungan Revit dan program. Berikut merupakan pembahasan mengenai selisih tersebut.

IV.2.1. Perbandingan Tulangan pada Fondasi

Pada elemen fondasi, selisih tulangan antara Revit dengan program disebabkan karena adanya perbedaan parameter perhitungan tulangan pada Revit. Perlu diperhatikan bahwa Revit hanya mengizinkan program untuk melakukan modifikasi pada lingkup-lingkup tertentu. Sehingga dalam hal ini, terdapat beberapa panjang dari bagian tulangan yang harus diatur secara manual pada Revit, yaitu: panjang kait dan diameter bengkokan. Apabila dibandingkan, perhitungan pada program dapat menghitung panjang kait dan diameter bengkokan sesuai

dengan peraturan SNI 2847:2019 dan secara otomatis langsung memasukkan panjang keduanya ke dalam perhitungan panjang total tulangan. Sedangkan, modifikasi nilai secara manual pada Revit harus dilakukan dengan menghitung terlebih dahulu panjang kait atau diameter bengkokan secara manual menggunakan persyaratan pada SNI 2847:2019, kemudian memasukkan nilai tersebut pada Revit.

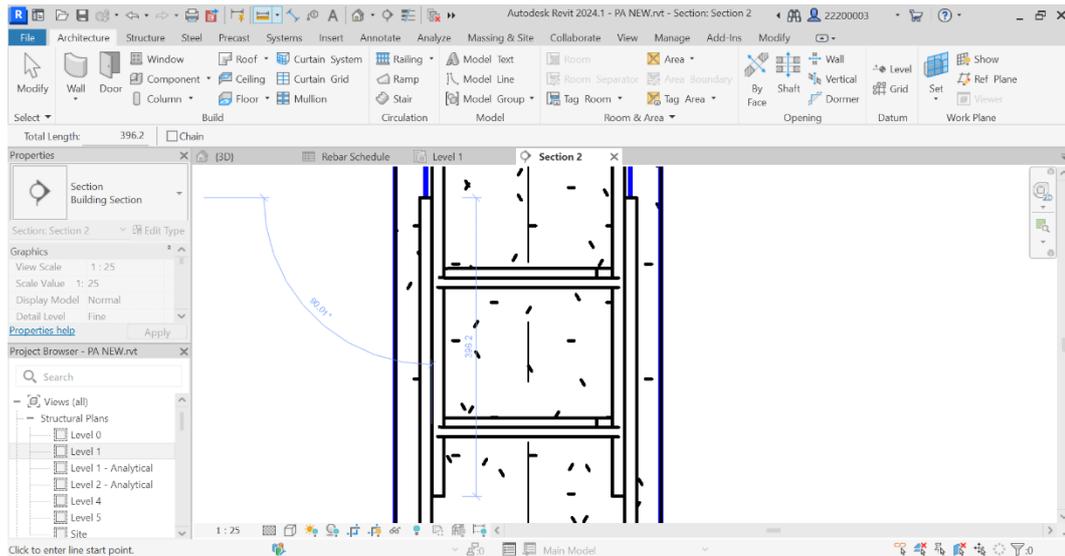
Selain itu, pada saat semua nilai pada Revit yang harus diatur secara manual telah disesuaikan dengan perhitungan program, masih ditemukan adanya perbedaan panjang tulangan. Perbandingan mengenai panjang tulangan fondasi dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Perbandingan tulangan fondasi

Elemen Struktur	Panjang Tulangan (m)		Selisih (m)	Persentase (%)
	Revit	Program		
Fondasi	715,5	774,83	59,33	7,66

IV.2.2. Perbandingan Tulangan pada Kolom

Pada elemen kolom, program memerintahkan Revit agar melakukan modifikasi terhadap tulangan longitudinalnya, dengan membuat tulangan tersebut menyalur ke fondasi sebagaimana persyaratan pada SNI 2847:2019. Modifikasi yang dapat dilakukan program secara otomatis hanya sampai pada lingkup panjang penyaluran, sedangkan modifikasi untuk panjang kait dan panjang bengkokan harus dilakukan secara manual. Selain itu, karena kondisi kolom yang memiliki tinggi 15,7 m; maka pemasangan tulangan tersebut disimulasikan seperti pada keadaan asli di lapangan, yang mana tulangan akan dipasang per lantai. Sehingga dengan kondisi tersebut, program akan menggambar tulangan dari elevasi fondasi hingga ke elevasi lantai 2 ditambah dengan panjang sambungan (l_{st}), lalu akan dilanjutkan dengan penggambaran tulangan dari elevasi lantai 2 hingga ke lantai 3, dst. Daerah sambungan pada tulangan akan terlihat seperti pada Gambar 4.19. Panjangnya *overlapping* yang digambarkan oleh Revit telah sesuai dengan panjang sambungan (l_{st}) yang dihitung oleh program.



Gambar 4.19. Penggambaran *overlapping* pada Revit

Namun, sama seperti fondasi, masih ditemukan adanya perbedaan hasil tulangan Revit dengan program. Perbandingan mengenai panjang tulangan kolom dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Perbandingan tulangan kolom

Elemen	Panjang Tulangan (m)		Selisih (m)	Persentase (%)
	Revit	Program		
Kolom	1.429,56	1.513,31	83,75	5,53

IV.2.3. Perbandingan Tulangan pada Balok

Pada elemen balok, tulangan longitudinal dimodifikasi secara otomatis oleh program agar menyalur ke kolom sebagaimana pada persyaratan SNI 2847:2019. Kemudian, untuk modifikasi pada panjang kait dan panjang bengkokan harus dilakukan secara manual. Bentang terpanjang balok adalah 15 m, sehingga pada bentang tersebut diperlukan adanya sambungan. Tidak seperti tulangan longitudinal pada kolom yang dibuat per lantai, pada tulangan longitudinal balok tetap dibuat menerus sepanjang bentang balok tersebut. Oleh karena itu, sambungan yang dimodelkan oleh program hanya terjadi apabila bentang tersebut melebihi panjang 12 m. Jika bentang memiliki panjang kurang dari 12 m, maka program akan memodelkan tulangan longitudinalnya tanpa sambungan.

Namun, sama halnya dengan kolom, masih ditemukan adanya perbedaan hasil panjang tulangan balok antara program dengan Revit. Tabel 4.3 menunjukkan perbandingan tulangan pada elemen balok.

Tabel 4.3. Perbandingan tulangan balok

Elemen Struktur	Panjang Tulangan (m)		Selisih (m)	Persentase (%)
	Revit	Program		
Balok	5.274,73	5.422,88	148,15	2,73

IV.2.4. Perbandingan Tulangan pada Pelat

Terdapat suatu keunikan pada tulangan elemen pelat. Jika tulangan pada elemen struktur lainnya terdapat perbedaan hasil, maka hal tersebut tidak ditemukan pada elemen pelat. Hal ini disebabkan karena tulangan pelat lantai hanya berupa tulangan longitudinal tanpa kait. Jika diperhatikan pada perbandingan elemen-elemen sebelumnya, perbedaan perhitungan antara Revit dengan program terdapat pada kasus yang mana tulangannya memiliki faktor bengkokan (baik pada tulangan kait, maupun pada tulangan sengkang). Oleh karena tulangan pada pelat hanya menggunakan jenis tulangan longitudinal tanpa kait, maka Revit pun membaca tulangannya secara murni tanpa disertai dengan parameter lainnya. Perbandingan mengenai tulangan pelat dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Perbandingan tulangan pelat

Elemen Struktur	Panjang Tulangan (m)		Selisih (m)	Persentase (%)
	Revit	Program		
Pelat	17.454,82	17.454,82	0	0

IV.2.5. Rekapitulasi Selisih Tulangan

Tabel 4.5 memperlihatkan rekapitulasi pekerjaan tulangan (pembesian) pada masing-masing elemen struktur. Dapat dilihat bahwa selisih volume terdapat pada tulangan fondasi, kolom, dan balok. Jika mengingat pada lingkup Tugas Akhir ini, maka ketiga jenis tulangan tersebut merupakan tulangan yang memiliki kait.

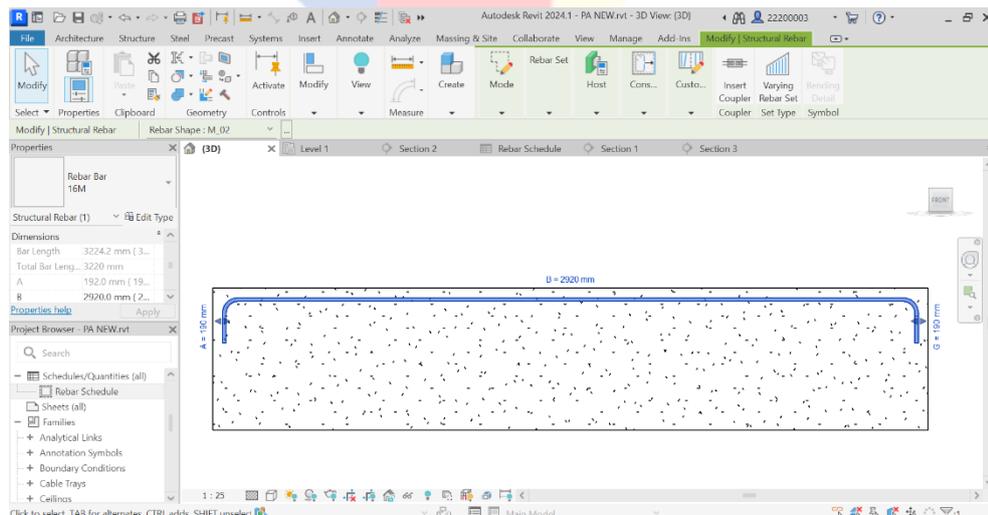
Tabel 4.5. Rekapitulasi tulangan

Elemen Struktur	Kuantitas (m)		Selisih (m)	Persentase (%)
	Revit	Program		
Fondasi	715,5	774,83	59,33	7,66
Kolom	1.429,56	1.513,31	83,75	5,53
Balok	5.274,73	5.422,88	148,15	2,73
Pelat	17.454,82	17.454,82	0	0

IV.3. Pembahasan mengenai Perbedaan Hasil Perhitungan Tulangan

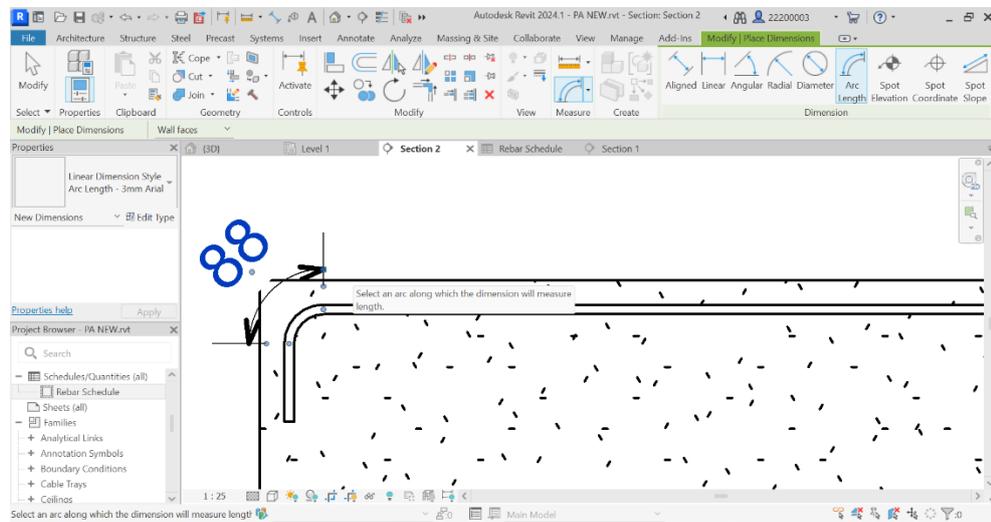
Adanya perbedaan hasil tulangan yang dibaca oleh Revit telah menarik perhatian untuk dilakukan penelitian mendalam mengenai penyebab perbedaan tersebut. Pernyataan pada subbab IV.2.4 menjadi penguat bahwa perbedaan perhitungan tersebut disebabkan oleh faktor bengkokan. Untuk memahami parameter perhitungan panjang tulangan pada Revit, maka dibuatlah suatu studi kasus tulangan pada elemen balok. Pada penelitian yang dilakukan, dapat ditunjukkan temuannya sebagai berikut.

- Pada suatu tulangan longitudinal yang memiliki dimensi seperti pada Gambar 4.20, perhatikan pada bagian *Dimension* bahwa panjang tulangan yang dibaca oleh Revit adalah 3.224,4 mm. Sedangkan jika dihitung secara konvensional, maka panjang tulangannya adalah 3.496 mm;



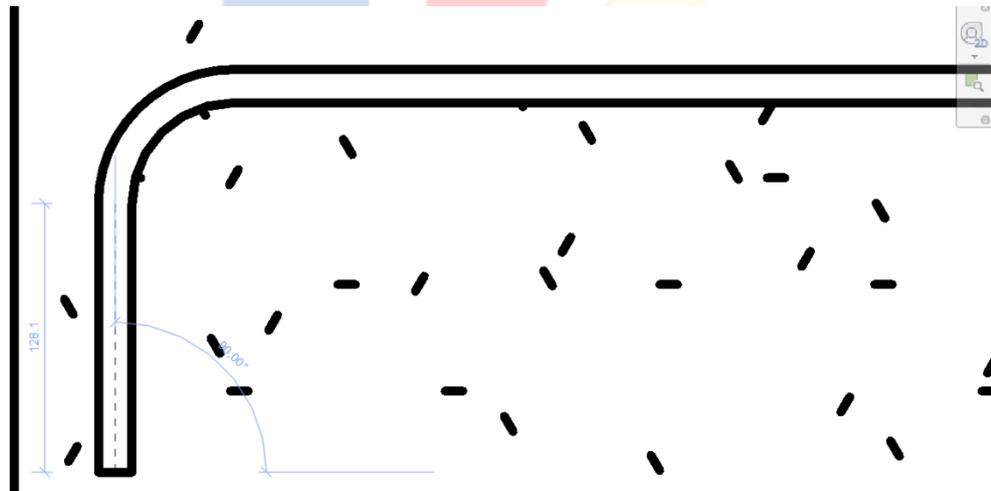
Gambar 4.20. Contoh kasus tulangan longitudinal pada balok

- Jika panjang bengkokan pada tulangan diukur seperti pada Gambar 4.21, maka dapat dilihat bahwa panjang bengkokan tulangan adalah 88 mm;



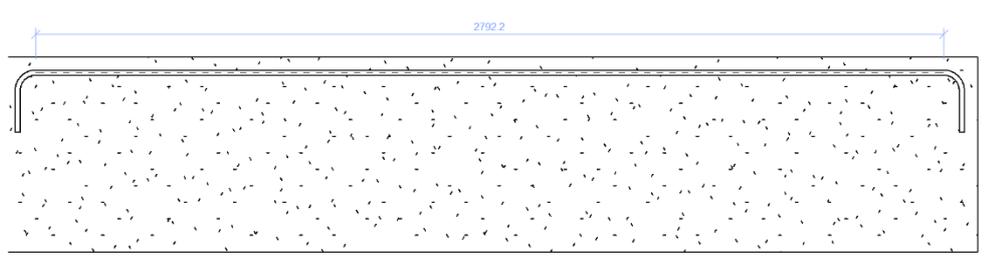
Gambar 4.21. Pengukuran panjang bengkokan pada Revit

- Apabila diukur panjang kait dari ujung kait sampai ke muka bengkokan seperti pada Gambar 4.22, maka panjang kaitnya adalah 128,1 mm;



Gambar 4.22. Pengukuran panjang kait tulangan

- Kemudian, jika panjang bersih tulangan longitudinalnya diukur seperti pada Gambar 4.23, maka panjangnya adalah 2.792,2 mm; dan

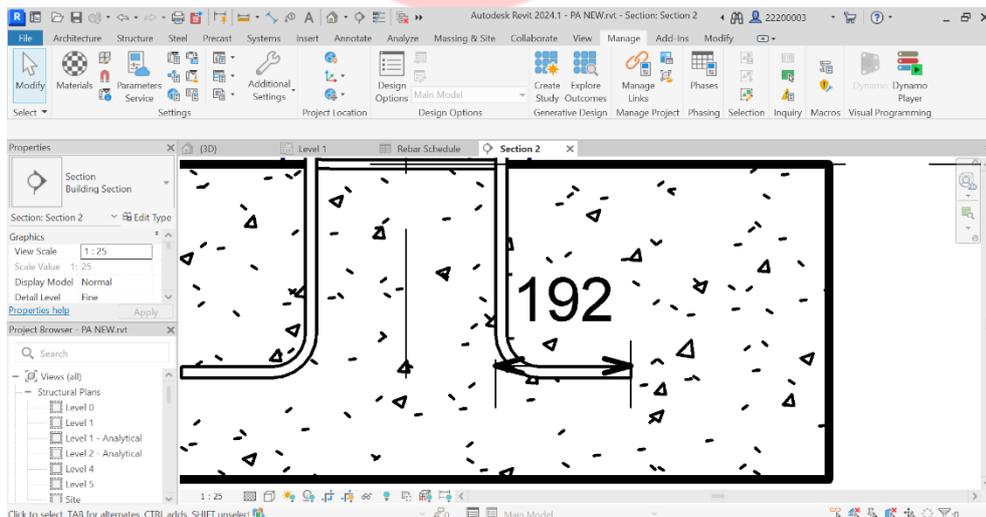


Gambar 4.23. Pengukuran panjang longitudinal

- Apabila hasil pengukuran tersebut dijumlahkan ($128,1 + 88 + 2.792,2 + 88 + 128,1$), maka panjang tulangnya adalah 3.224,4 mm. Hasil tersebut sama dengan hasil yang dibaca oleh Revit seperti pada Gambar 4.20. Hal ini menunjukkan bahwa hasil perhitungan pada Revit lebih akurat dibanding hasil perhitungan konvensional karena Revit mengurangi panjang kait dan longitudinal akibat dari adanya faktor bengkokan.

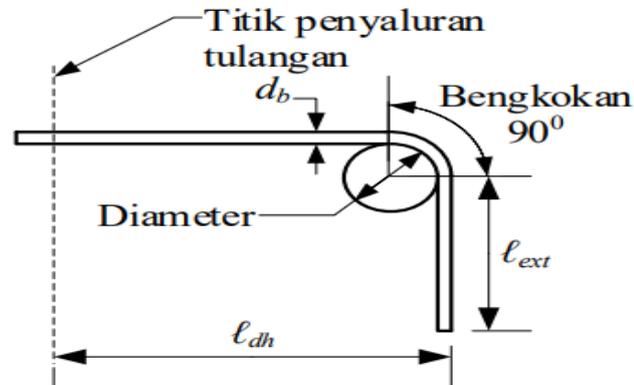
Selain itu, terdapat suatu temuan lagi mengenai parameter perhitungan Revit yang kiranya dapat menjawab mengenai perbedaan perhitungan di Revit dengan metode konvensional. Berikut adalah temuannya.

- Pada Gambar 4.24, terlihat bahwa panjang kait pada suatu tulangan memiliki nilai 192 mm. Nilai tersebut telah sesuai dengan hasil perhitungan konvensional. Dari gambar tersebut, dapat disimpulkan bahwa panjang kait yang dibaca oleh Revit adalah perpanjangan lurus ditambah dengan jari-jari bengkokan;



Gambar 4.24. Panjang kait yang terbaca oleh Revit

- Sedangkan, SNI 2847:2019 menghitung panjang kait secara berbeda. Perhatikan pada Gambar 4.25 bahwa panjang kait (l_{ext}) dibaca tanpa memasukkan jari-jari bengkokan;



Gambar 4.25. Panjang kait menurut SNI 2847:2019

(Sumber: SNI 2847:2019)

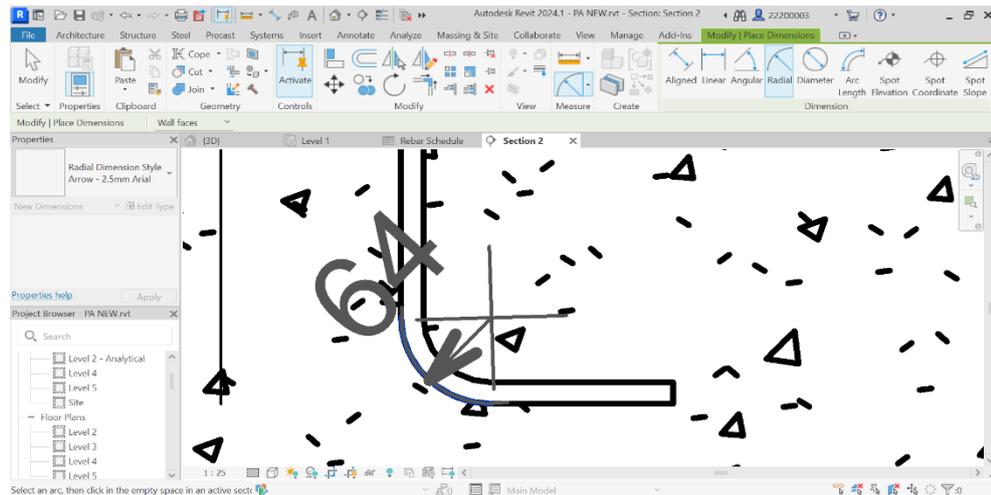
- Dengan demikian, apabila kait pada Gambar 4.24 diukur panjangnya seperti pada Gambar 4.25, maka panjang kaitnya (l_{ext}) hanya 128,1 mm (lihat Gambar 4.26);



Gambar 4.26. Panjang kait yang terbaca oleh Revit sesuai SNI 2847:2019

- Dengan demikian, maka nilai panjang kait (l_{ext}) yang dimasukkan pada Revit tidak dapat serta-merta sesuai dengan hasil perhitungan konvensional. Namun, nilai tersebut harus ditambahkan dengan jari-jari bengkokan, supaya sesuai dengan cara pembacaan Revit;
- Pada Gambar 4.27, dilakukan pengukuran panjang jari-jari bengkokan yang menunjukkan nilai 64 mm. Sebelumnya, karakteristik tulangan pada Gambar 4.27 merupakan tulangan D16. Jika dilakukan perhitungan diameter

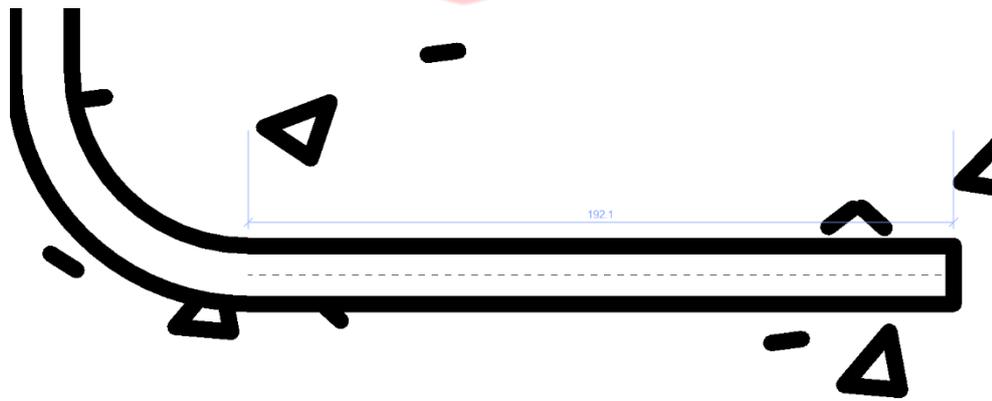
bengkokan sisi dalam seperti pada SNI 2847:2019, maka didapat diameternya adalah 96 mm, sehingga panjang jari-jarinya adalah 48 mm. Panjang jari-jari ini untuk sisi dalam bengkokan, sedangkan pada Revit membaca panjang kait sampai pada sisi terluar bengkokan. Oleh karena itu, panjang jari-jari sisi dalam bengkokan harus ditambah dengan diameter tulangan, sehingga $48 + 16 = 64$ mm;



Gambar 4.27. Jari-jari bengkokan sisi luar yang terbaca oleh Revit

- Jika panjang kait pada Revit dimasukkan nilai $192 \text{ mm} + 64 \text{ mm}$, maka didapat hasil 256 mm . Dengan demikian, maka panjang kait yang dibaca Revit akan seperti pada Gambar 4.28, sehingga dapat dituliskan rumus untuk memasukkan nilai panjang kait pada Revit adalah sebagai berikut.

$$\text{Panjang kait} = l_{ext} + \frac{1}{2} \text{Bend} + d_b \quad (5)$$



Gambar 4.28. Panjang kait Revit sesuai dengan perhitungan konvensional

- Apabila dilakukan penggambaran ulang tulangan Revit, maka revisi perbandingan kebutuhan tulangan dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

Tabel 4.6. Revisi rekapitulasi kebutuhan tulangan dalam satuan meter

Elemen Struktur	Kuantitas (m)		Selisih (m)	Persentase (%)
	Revit	Program		
Fondasi	774	774,83	0,83	0,11
Kolom	1.511,28	1.513,31	2,03	0,13
Balok	5.422,63	5.422,88	0,25	0,005
Pelat	17.454,82	17.454,82	0	0

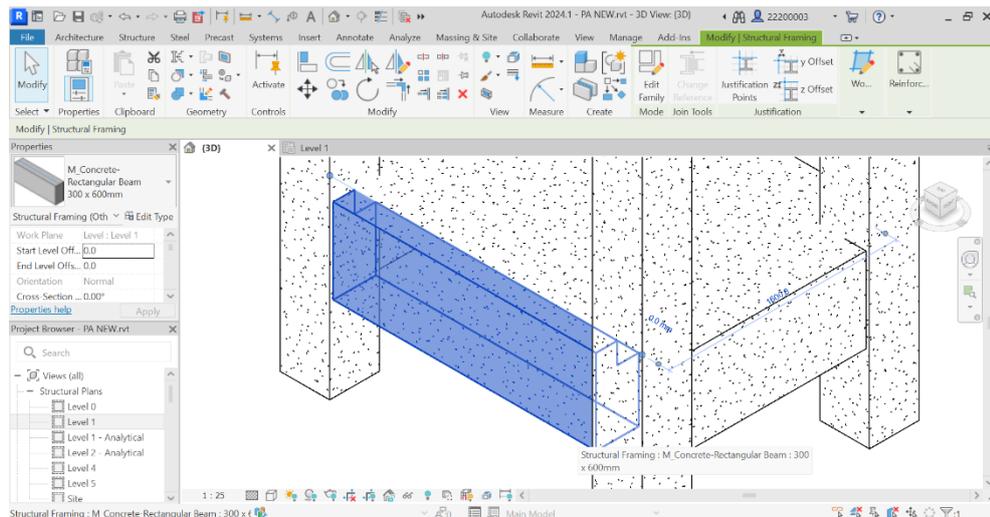
Tabel 4.7. Revisi rekapitulasi kebutuhan tulangan dalam satuan kilogram

Elemen Struktur	Kuantitas (kg)		Selisih (kg)	Persentase (%)
	Revit	Program		
Fondasi	1.222,92	1.224,23	1,31	0,107
Kolom	1.909,60	1.912,75	3,15	0,165
Balok	6.455,22	6.455,47	0,25	0,005
Pelat	18.153,01	18.153,01	0	0

IV.4. Modifikasi Pemodelan pada Revit

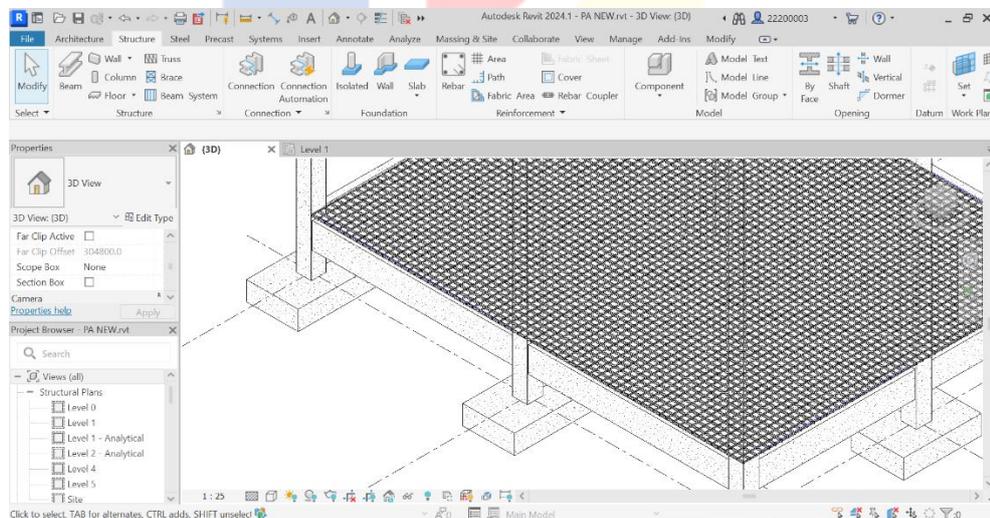
Walaupun program dapat melakukan modifikasi secara otomatis pada Revit, namun terdapat beberapa ketidaksesuaian dalam melakukan modifikasi dan otomatisasi. Padahal, program seharusnya dapat memodelkan tulangan struktur secara lengkap baik tulangan longitudinal, maupun tulangan sengkang secara fleksibel. Ketidaksesuaian program pada Revit, antara lain:

- Tulangan pelat tidak dapat dimodelkan secara monolit dengan tulangan balok. Hal ini berkaitan dengan cara Revit dalam membaca elemen pelat yang digambarkan monolit dengan balok. Ketika pelat digambar monolit dengan balok, maka Revit membaca elemen balok seperti pada Gambar 4.29.



Gambar 4.29. Pelat yang digambar monolit dengan balok

Terlihat pada Gambar 4.29 bahwa balok menjadi tidak utuh apabila pelat digambar secara monolit dengan balok. Jika hal ini tetap dilanjutkan hingga ke tahap pembuatan tulangan, maka akan terjadi kekacauan penggambaran tulangan yang akan berimplikasi pada bentuk tulangan balok, seperti pada Gambar 4.30;



Gambar 4.30. Hasil tulangan jika pelat digambar monolit

- Cara menggambar elemen struktur memengaruhi hasil penggambaran tulangan oleh program, sebagaimana yang dijelaskan pada subbab IV.1.2. Perlu diketahui bahwa tulangan diatur untuk selalu berada pada elemen strukturnya (contoh: tulangan balok harus berada pada elemen balok). Maka dari itu, tulangan akan mengikuti bentuk elemen strukturnya. Apabila terdapat

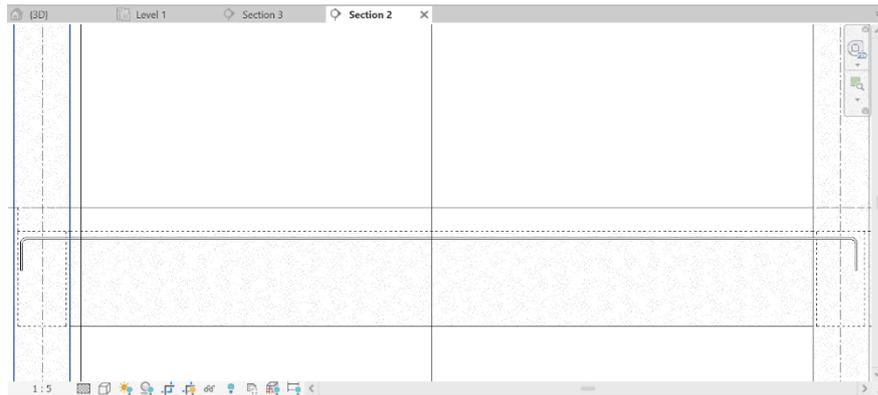
perbedaan cara menggambar elemen struktur dengan studi kasus, maka hasil tulangan yang digambar oleh program akan berbeda.

- Pada studi kasus, elemen balok digambar dari ujung kolom ke ujung kolom, sehingga tulangan longitudinalnya dapat menerus seperti pada Gambar 4.23;
- Kemudian, walaupun subbab IV.2.2 menjelaskan bahwa tulangan kolom digambar per lantai, namun elemen kolomnya tetap digambar dari titik fondasi hingga ke atap. Modifikasi tulangan longitudinal pada kolom akan lebih mudah dibuat dalam kondisi ini, karena jika elemen kolom digambar per lantai, maka harus ditambahkan rantai *nodes* yang bertugas untuk menyeleksi kolom pada elevasi tertentu. Hal ini akan berdampak pada meningkatnya kompleksitas program terkait modifikasi tulangan pada elevasi lantai tersebut; dan
- Perihal pelat yang tidak dapat digambar monolit dengan balok, maka elemen pelat digambar menumpu pada elemen balok. Supaya ketinggian pelat sejajar dengan elevasi lantai, maka harus dilakukan *offset* pada posisi balok dan pelat.
- Pada program, penempatan lokasi daerah sambungan diatur agar tercipta setelah tulangan sepanjang 12 m terbentuk. Oleh karena itu, apabila daerah sambungannya ingin disesuaikan dengan aspek kekuatan struktur atau sambungan ingin diberikan tanpa tulangan harus mengalami kondisi lebih panjang dari 12 m, maka harus dilakukan penulisan ulang pada program;
- Studi kasus pada tugas akhir ini menggunakan struktur bangunan tipikal. Apabila program akan digunakan pada struktur bangunan lain selain dari studi kasus ini, mungkin hasil pemodelan dan perhitungannya tidak akan maksimal, dikarenakan penulisan program telah disesuaikan dengan studi kasus pada tugas akhir ini. Jika program akan digunakan pada kasus lain, maka kode-kode programnya harus ditulis ulang dan disesuaikan kembali dengan kasus yang ingin ditinjau; dan
- Pada akhirnya, akan jauh lebih mudah untuk membuat program pada kasus yang telah diketahui bentuk strukturnya dibandingkan jika program harus dijalankan pada kasus lain yang berbeda. Hal ini dikarenakan pada setiap *file*

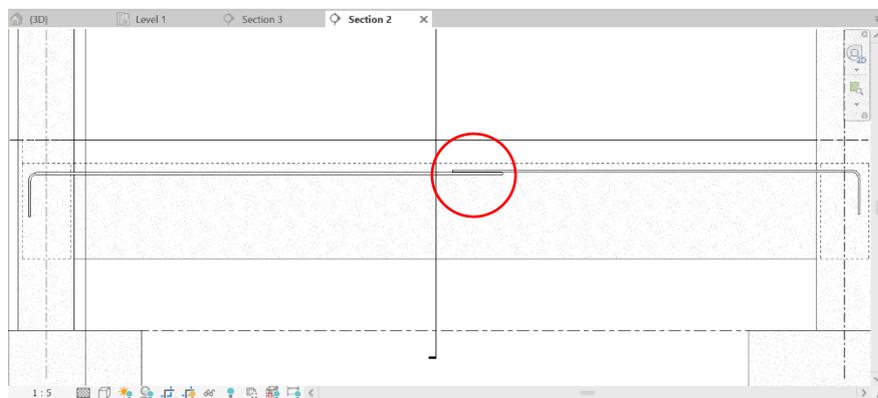
Revit memiliki ID dan karakteristik yang berbeda untuk setiap elemennya. Program yang telah dibuat menyesuaikan ID dan karakteristik dengan *file* studi kasus, sehingga apabila program hendak digunakan pada *file* lain, maka perlu dilakukan modifikasi kembali pada program agar dapat berjalan. Sejak awal pembuatannya, program telah didesain sesuai pada studi kasus, sehingga untuk karakteristik kasus yang optimal bagi program adalah seperti pada studi kasus ini, atau seperti pada Gambar 3.37 yang merupakan bangunan 4 lantai, dengan komposisi kolom 3x3. Perlu diingat bahwa apabila program akan dibuat fleksibel maka hasil tulangnya mungkin tidak akan detail. Namun, jika hasil tulang akan dibuat detail, maka program mungkin tidak dapat bekerja secara fleksibel.

IV.5. Kelebihan Program

Adapun kelebihan dari program ini adalah perhitungan yang dilakukan menjadi lebih akurat (dalam artian lebih sesuai dengan peraturan SNI 2847:2019) dibandingkan dengan perhitungan Revit biasa. Hal ini dikarenakan program dapat memodelkan daerah sambungan (*overlapping*) pada tulangan, yang mana Revit biasa tidak dapat melakukannya dengan baik. Pada Revit biasa, walaupun bentang struktur memiliki panjang lebih dari 12 m, maka Revit tetap akan memodelkannya sepanjang bentang tersebut seperti pada Gambar 4.31. Sedangkan pada program, ketika panjang bentang dibaca melebihi panjang 12 m, maka program akan memecah tulangan tersebut dan memodelkan daerah sambungan tersebut seperti pada Gambar 4.32. Oleh karena itu, hasil dari perhitungan kebutuhan tulangan program akan lebih akurat jika dibandingkan dengan perhitungan Revit biasa.



Gambar 4.31. Pemodelan tulangan Revit biasa pada bentang lebih dari 12 m



Gambar 4.32. Pemodelan tulangan program pada bentang lebih dari 12 m

Selain itu, dibandingkan pula hasil perhitungan program dengan perhitungan konvensional biasa yang tidak berbasis SNI 2847:2019. Perhitungan konvensional biasa yang tidak berbasis SNI 2857:2019, umumnya menghitung *overlapping* dengan persamaan $40d_b$. Hasil dari persamaan tersebut terkadang jauh lebih besar dibanding panjang lewatan (l_{st}) yang dihitung menggunakan persamaan dari Tabel 2.1.

Tabel 4.8. Perbandingan kebutuhan tulangan antara Revit biasa dan program

Elemen Struktur	Kuantitas (m)		
	Konvensional	Revit Biasa	Program
Fondasi	839,7	715,5	774,83
Kolom	1.685,26	1.486,86	1.513,31
Balok	5.993,98	5.233,2	5.422,88
Pelat	17.281	16.989,8	17.454,82

Tabel 4.8 menunjukkan perbandingan volume antara metode konvensional biasa yang tidak berbasis SNI 2847:2019, Revit biasa, dan program. Pada perhitungan konvensional biasa, panjang *overlapping* menggunakan persamaan $40d_b$, yang mana terkadang hasil perhitungan tersebut lebih besar dibanding perhitungan pada SNI 2847:2019 (kecuali pada perhitungan pelat dikarenakan panjang lewatan (l_{st}) pelat memiliki nilai yang lebih besar akibat dari besarnya nilai panjang penyalurannya). Selain itu, perhitungan konvensional biasa juga tidak memasukkan faktor bengkokan, sehingga hasil perhitungan tulangan pun menjadi lebih panjang dibanding dengan perhitungan Revit biasa dan program.

Perhitungan Revit biasa memiliki nilai perhitungan terendah dibanding dengan perhitungan konvensional dan program. Hal ini dikarenakan Revit biasa belum mampu memodelkan dan menghitung *overlapping* pada tulangan secara otomatis, sehingga untuk tulangan-tulangan yang memiliki *overlapping* harus dimodelkan secara manual pada Revit. Selain itu, perhitungan Revit biasa memang lebih efisien dibanding perhitungan konvensional karena Revit dapat mereduksi panjang tulangan dan panjang kait dengan faktor bengkokannya. Namun, ditemukan bahwa cara pembacaan Revit terhadap panjang kait berbeda dengan peraturan SNI 2847:2019. Hal ini berdampak pada semua perhitungan panjang kait yang terdapat pada tulangan longitudinal dan sengkang, sehingga menyumbang perbedaan perhitungan dengan program.

Dibanding dengan perhitungan Revit Biasa, program memiliki hasil perhitungan yang lebih besar. Hal ini dikarenakan program dapat memodelkan *overlapping* secara otomatis, sehingga panjang tulangan yang dihitung oleh program telah termasuk dengan panjang *overlapping*-nya. Berbeda dengan konvensional, panjang *overlapping* yang dimodelkan oleh program tidak menggunakan persamaan $40d_b$, melainkan persamaan pada Tabel 2.1. Oleh karena itu panjang *overlapping* untuk tulangan kolom dan balok memiliki nilai panjang yang lebih kecil dibanding konvensional. Selain itu, panjang kait yang dimodelkan pada Revit juga telah disesuaikan oleh program agar sesuai dengan SNI 2847:2019. Secara umum, hasil perhitungan program memang lebih besar dibanding perhitungan Revit biasa. Namun, perhitungan program lebih sesuai dengan

peraturan SNI 2847:2019. Selisih dan persentase antara perhitungan program dengan perhitungan Revit biasa, dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Selisih dan persentase perhitungan program dengan Revit biasa

Elemen Struktur	Kuantitas (m)		Selisih (m)	Persentase (%)
	Program	Revit Biasa		
Fondasi	774,83	715,5	59,33	7,66
Kolom	1.513,31	1.486,86	26,45	1,75
Balok	5.422,88	5.233,2	189,68	3,50
Pelat	17.454,82	16.989,8	465,02	2,66

