



## **BAB 5**

### **ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1. Analisis Data**

Berdasarkan kajian pustaka pada Bab 2 bahwa menurut Dysert (2004), metodologi estimasi dibedakan menjadi dua kategori yaitu estimasi konseptual dan estimasi deterministik. Penelitian ini menggunakan estimasi deterministik berupa metode estimasi konvensional dan estimasi berbasis BIM sebagai bahan perbandingan. Metode konvensional yang digunakan dalam penelitian adalah estimasi manual dan menggunakan *Microsoft Excel* sebagai alat bantu, sementara metode estimasi berbasis BIM dalam penelitian ini menggunakan perangkat lunak *Allplan Engineering* versi 2021. Detail dari hasil estimasi yang dihasilkan dari kedua metode yang digunakan diperlihatkan pada Lampiran B. Berdasarkan kajian pustaka pada Bab 2 bahwa menurut Apriansyah (2021), proses estimasi dalam proyek terdiri dari dua tahapan yaitu tahapan estimasi volume yang disebut juga *quantity take-off* atau QTO dan estimasi biaya. Dalam penelitian ini, tahapan estimasi yang menjadi fokus utama adalah tahapan estimasi QTO, sementara tahapan estimasi biaya tidak dibahas dalam penelitian ini. Setelah QTO kedua metode didapatkan, hasil estimasi akan dibandingkan berdasarkan tiga aspek atau parameter pembanding dengan detail sebagai berikut :

- a. Aspek evaluasi metode estimasi mencakup kemudahan proses estimasi dan fitur yang dapat diakomodasi oleh kedua metode estimasi.
- b. Aspek waktu penyelesaian estimasi mencakup durasi estimasi yang dibutuhkan untuk menghasilkan volume baja tulangan dari struktur yang ditinjau menggunakan kedua metode.
- c. Aspek volume hasil estimasi adalah aspek atau parameter yang membandingkan selisih volume penulangan yang dihasilkan oleh kedua metode estimasi.

Metode estimasi yang ideal ditentukan berdasarkan hasil penilaian terhadap ketiga aspek pembanding. Metode estimasi yang mampu memenuhi lebih banyak aspek pembanding dikatakan sebagai metode yang paling ideal dalam penelitian ini.



### 5.1.1. Aspek evaluasi metode estimasi

Tabel 5.1. memuat evaluasi kedua metode estimasi terhadap 9 fitur yang dianggap esensial bagi penulis untuk menggambarkan seberapa ideal suatu metode estimasi. Metode estimasi yang ideal adalah metode yang mampu meningkatkan efektivitas pekerjaan, sekaligus dapat dikerjakan dengan tenaga operasional dan biaya pengadaan yang minimal. Sembilan fitur esensial tersebut diolah dari sejumlah penelitian terdahulu yang dimuat dalam Tabel 4.3. Evaluasi ini dilakukan oleh penulis setelah menyelesaikan estimasi baja tulangan menggunakan metode estimasi konvensional dan estimasi berbasis BIM. Penulis menganggap metode estimasi yang memiliki lebih banyak fitur esensial akan lebih ideal dibanding metode lainnya.

Tabel 5.1 Perbandingan Aspek Evaluasi Metode Estimasi

No.	Fitur Esensial	Metode Konvensional	Metode Berbasis BIM
1.	Proses klasifikasi dan input data	Ya	Ya
2.	Proses pemodelan objek	Tidak	Ya
3.	Terdapat model 3D sebagai representasi	Tidak	Ya
4.	Menghasilkan output volume baja tulangan	Ya	Ya
5.	Hasil estimasi dapat menyesuaikan dengan relatif cepat saat terjadi revisi gambar	Tidak	Ya
6.	<i>Quantity measurement</i> atau rumus estimasi dapat ditampilkan *	Ya	Tidak
7.	Tanpa biaya tambahan untuk pelatihan tenaga kerja dan biaya pengadaan perangkat khusus	Ya	Tidak
8.	Kebutuhan <i>manpower</i> relatif sedikit	Ya	Ya
9.	Memiliki <i>marking system</i> atau penanda objek *	Tidak	Ya

Keterangan :

(\* Ada atau tidaknya fitur esensial ini akan berbeda untuk setiap program BIM. Penelitian ini fokus pada program *Allplan Engineering 2021* sehingga hasil evaluasi tidak dapat disamakan dengan program BIM lain di luar penelitian.

Berdasarkan hasil evaluasi pada Tabel 5.1. diketahui bahwa metode estimasi konvensional memenuhi 5 dari 9 fitur esensial. Fitur yang tidak mampu dipenuhi metode konvensional yaitu :

- a. Tidak dapat memodelkan objek baja tulangan.



- b. Tidak dapat menampilkan objek secara 3 dimensi untuk kebutuhan presentasi.
- c. Penyesuaian yang relatif lama apabila terjadi revisi pada gambar rencana.
- d. Tidak memiliki fitur penanda untuk objek yang telah diestimasi.

Temuan ini memiliki kesamaan dengan penelitian Eroğlu (2019) yang dimuat dalam Subbab 2.5.1, bahwa pendekatan yang digunakan metode konvensional untuk mengolah QTO masih dilakukan secara manual dan berdasarkan gambar 2 dimensi. Pendekatan semacam ini membutuhkan banyak waktu dan tenaga serta berpotensi menimbulkan pengukuran yang keliru dan kesalahan hitung. Selain itu, temuan ini juga memiliki kesamaan dengan penelitian Baskoro (2019) bahwa kelemahan utama metode konvensional adalah evaluasi dan klarifikasi yang sering terjadi, serta penyesuaian yang lama bila terjadi revisi gambar. Penyebabnya adalah cara kerja metode konvensional cenderung berulang, bertahap dan membutuhkan banyak peninjauan ulang oleh estimator.

Pada sisi lain, metode estimasi berbasis BIM (*Allplan Engineering* 2021) memenuhi 7 dari 9 fitur esensial. Fitur yang tidak mampu dipenuhi metode berbasis BIM adalah sebagai berikut :

- a. Rumus estimasi yang tidak dapat ditampilkan.
- b. Adanya biaya tambahan untuk keperluan pelatihan tenaga kerja dan pengadaan perangkat khusus dalam pengoperasiannya.

Secara teknis *Allplan Engineering* 2021 belum memiliki fitur yang mengakomodasi *quantity measurement*, oleh karena itu program ini belum dapat menampilkan rumus estimasi volume dari material yang telah dimodelkan. Temuan ini memiliki kesamaan dengan penelitian Eroğlu (2019) yang menyatakan bahwa setiap program BIM memiliki metode berbeda dalam memodelkan serta mengolah data estimasi QTO. Akibatnya setiap program BIM memberikan manfaat yang berbeda-beda sesuai fitur yang dimiliki. Oleh karena itu, keterbatasan fitur BIM yang ditemukan dalam penelitian ini hanya berlaku untuk *Allplan Engineering* 2021, dan tidak dapat disamakan dengan program BIM lainnya. Selain itu, Anindya dan Gondokusumo (2020) dalam penelitiannya menyatakan penggunaan BIM pada pekerjaan QTO terbukti mampu mengurangi sumber daya manusia atau *manpower* sekaligus mempercepat penyelesaian



estimasi. Meski demikian, implementasi metode berbasis BIM dapat optimal bila dikerjakan oleh pengguna yang kompeten. Oleh karena itu dibutuhkan anggaran tambahan untuk melakukan pelatihan dan pengadaan perangkat khusus, hal ini sama dengan temuan dalam penelitian ini. Berdasarkan hasil evaluasi dan analisis temuan penelitian, dapat disimpulkan bahwa metode estimasi berbasis BIM dinilai lebih ideal dibanding metode konvensional.

Deskripsi kelebihan dan kekurangan pada aspek evaluasi metode estimasi berbasis BIM adalah sebagai berikut:

- a. Kelebihan metode estimasi berbasis BIM (*Allplan Engineering 2021*):
  - a.1. BIM *Allplan Engineering 2021* memiliki fitur untuk membedakan objek struktural dan objek arsitektural. Fitur ini berguna saat melakukan estimasi penulangan yaitu *Allplan* hanya menghitung volume baja tulangan (Objek struktural) meskipun tidak sengaja berpotongan dengan objek arsitektural.
  - a.2. BIM *Allplan Engineering 2021* membagi lembar kerja menjadi tiga jenis yaitu lembar kerja berwarna merah, kuning, dan abu-abu. Lembar kerja berwarna merah memuat objek aktif yang dapat diubah, dihapus dan dapat ditambahkan dengan objek baru. Lembar kerja berwarna kuning memuat objek yang dapat dilihat, dapat dihapus namun tidak dapat ditambahkan dengan objek baru. Sementara lembar kerja abu-abu, memuat objek yang hanya dapat dilihat namun tidak dapat diubah, dihapus maupun ditambahkan dengan objek baru. Dengan fitur ini, *BIM modeler* dapat mengunci objek baja tulangan yang sudah selesai agar tidak berubah saat membuat objek baja tulangan yang baru. Fitur ini mencegah modifikasi objek yang tidak disengaja oleh *BIM modeler* sehingga hasil estimasi volume menjadi lebih akurat.
  - a.3. Hasil estimasi berupa *quantity take off* (QTO) baja tulangan bersifat *ready to use*, hal ini karena BIM *Allplan Engineering 2021* memiliki fitur untuk menyimpan atau *export* QTO dalam format pdf (*Portable Document Format*), *Microsoft Word* dan *Microsoft Excel*. Selain itu, format tabel dan laporan QTO telah disediakan oleh BIM *Allplan Engineering 2021*, dengan fitur ini durasi penyusunan laporan QTO menjadi lebih singkat.

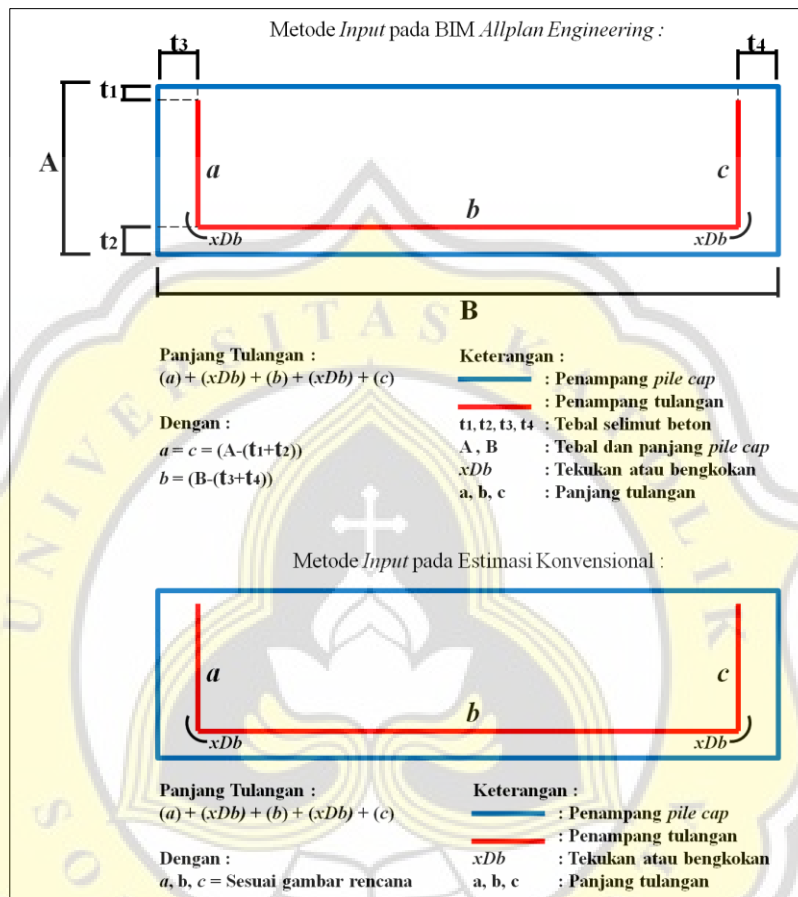




- a.4. BIM *Allplan Engineering 2021* secara otomatis mengabaikan kondisi *accidentally overlap* yaitu kondisi ketika objek struktural seperti baja tulangan tidak sengaja berpotongan dengan objek baja tulangan lain yang lokasinya berdekatan. Dengan fitur ini, *BIM modeler* tidak perlu menghabiskan waktu untuk merapikan objek maupun memeriksa posisi setiap objek baja tulangan.
- a.5. BIM *Allplan Engineering 2021* secara otomatis melakukan *rebar overlap* apabila panjang baja tulangan yang dimodelkan melebihi 12,0 m. *Rebar overlap* menggunakan fitur *split polygon* yang dilengkapi dengan penanda posisi awal dan akhir *overlap* tersebut, sementara panjang *overlap* ditentukan oleh *BIM modeler*. Fitur ini membantu *BIM modeler* untuk menentukan posisi, panjang dan tipe *rebar overlap* dengan cepat sehingga durasi pengerjaan dan akurasi hasil estimasi menjadi lebih efektif.
- b. Keterbatasan metode estimasi berbasis BIM (*Allplan Engineering 2021*):
- b.1. BIM *Allplan Engineering 2021* memiliki tampilan yang kurang ramah bagi sebagian pengguna khususnya pemula dan pengguna baru. Hal ini karena pengelompokan dan penempatan *toolbar menu* yang kurang strategis serta adanya beberapa *toolbar* ganda dengan fungsi sama di beberapa *tab menu*.
- b.2. Metode *input* dimensi baja tulangan yang dimodelkan dalam BIM *Allplan Engineering 2021* tidak menggunakan ukuran panjang baja tulangan seperti pada metode konvensional, namun menggunakan tebal selimut beton seperti diperlihatkan pada Gambar 5.1. Berdasarkan ilustrasi penampang *pile cap* tersebut, pada metode BIM digunakan tebal selimut beton ( $t_1, t_2, t_3, t_4$ ) untuk mengetahui panjang segmen tulangan (a,b,c) yang selanjutnya dijumlahkan menjadi panjang total tulangan. Dengan demikian, proses pemodelan semacam ini lebih rumit dan membutuhkan keterampilan khusus, selain itu bila ukuran selimut beton tidak tepat maka berpotensi menyebabkan hasil estimasi tidak akurat. Metode *input* ini berbeda dengan estimasi konvensional yang menggunakan panjang segmen tulangan (a,b,c) berdasarkan gambar rencana yang sesuai dengan



pernyataan Olsen dan Taylor (2017) pada Bab 2 yaitu mengelompokkan bentuk tulangan berdasarkan gambar rencana kemudian menghitung volumenya.



Gambar 5.1 Perbandingan Metode *Input* Estimasi Berbasis BIM dan Estimasi Konvensional

Deskripsi kelebihan dan kekurangan pada aspek evaluasi metode estimasi konvensional adalah sebagai berikut :

a. Kelebihan metode estimasi konvensional:

- a.1. Metode estimasi konvensional, tidak membutuhkan biaya tambahan untuk pelatihan dan pengadaan perangkat elektronik dengan spesifikasi khusus. Hal ini karena program yang digunakan yaitu *Microsoft Excel* dan *AutoCAD* adalah program yang ringan serta dapat dijalankan pada perangkat dengan kapasitas sistem yang rendah. Lebih lanjut, metode estimasi konvensional tidak membutuhkan keahlian khusus dalam



penggunaannya karena relatif sederhana dan mudah dipahami. Dengan metode kerja yang sederhana dan program atau alat bantu yang tergolong familiar maka kebutuhan tenaga estimator atau *manpower* dapat lebih sedikit. Meskipun demikian, kebutuhan tenaga estimator tetap menyesuaikan tingkat kompleksitas dari gambar kerja proyek.

b. Keterbatasan metode estimasi konvensional:

b.1. Metode estimasi konvensional tidak menyediakan visual 3 dimensi dan *marking system*. Dalam estimasi konvensional tidak dilakukan pembuatan model tiga dimensi yang menampilkan bentuk dari model yang dibuat secara visual. Selain itu, estimasi konvensional tidak memiliki *marking system* atau penanda objek yang disebabkan oleh cakupan estimasi konvensional hanya terbatas pada jumlah tulangan, berat jenis, dan panjang baja tulangan sebagai data yang diproses tanpa memperhitungkan lokasi objek tersebut. Sejalan dengan hal tersebut, Eroğlu (2019) pada Subbab 2.5.1., menyatakan bahwa metode estimasi konvensional umumnya hanya mengandalkan kalkulasi dan pengukuran dimensi secara manual seperti pengukuran panjang, tinggi, area dan volume struktur yang dimuat dalam gambar rencana proyek. Hal inilah yang menyebabkan estimasi konvensional tidak memiliki *marking system* sehingga berpotensi menyebabkan estimasi berulang pada objek yang sama maupun adanya objek yang tidak sengaja terlewat saat estimasi.

b.2. Metode estimasi konvensional relatif cepat di siklus awal estimasi, namun membutuhkan durasi penyesuaian yang relatif lama saat terjadi revisi gambar. Hal ini karena proses melacak bagian yang mengalami revisi masih dilakukan secara manual. Hal ini diungkapkan Baskoro (2019) yang menyatakan bahwa kelemahan utama metode konvensional adalah evaluasi dan klarifikasi yang sering terjadi, serta penyesuaian yang lama bila terjadi revisi gambar. Penyebabnya adalah cara kerjanya yang cenderung berulang, bertahap dan membutuhkan banyak *review*. Lebih lanjut, proses melacak objek yang mengalami revisi menjadi semakin sulit apabila sistematika tabel estimasi yang digunakan estimator tidak runtut.



### 5.1.2. Aspek waktu penyelesaian estimasi

Perbandingan aspek waktu penyelesaian antara kedua metode dilakukan dengan mendata seluruh tahapan kerja yang dilakukan selama proses estimasi. Detail tahapan kerja menyesuaikan metode estimasi yang digunakan dan cakupan atau kebutuhan penelitian. Langkah berikutnya, dilakukan proses estimasi menggunakan metode konvensional oleh estimator dan metode berbasis BIM oleh BIM *modeler* sembari mencatat durasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan setiap tahapan kerja. Durasi tersebut dibulatkan untuk mempermudah proses analisis. Dalam penelitian ini, estimator dan BIM *modeler* telah memahami dan menguasai metode estimasi yang digunakan. Lebih lanjut, estimator dan BIM *modeler* telah mempelajari gambar rencana baja tulangan pilar tunggal dan pilar ganda sebagai objek estimasi volume. Dalam hal kemudahan estimasi untuk struktur yang tipikal hanya dilakukan sekali, kemudian volume yang dihasilkan dari struktur tersebut digandakan sebanyak struktur yang tipikal. Struktur tipikal tersebut adalah *pile cap* pilar ganda dan kolom pilar ganda. Hasil perbandingan aspek waktu penyelesaian estimasi diperlihatkan pada Tabel 5.2. dan Tabel 5.3.

Tabel 5.2 Perbandingan Aspek Waktu Penyelesaian Estimasi Konvensional

No.	Tahapan Kerja	Durasi Jam Kerja									Total
		Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5	Hari 6	Hari 7	Hari 8	Hari 9	
A.	Metode Konvensional										
1.	Penyusunan rumus atau tabulasi estimasi di <i>Microsoft Excel</i>	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	1,5
2.	Identifikasi gambar rencana ( <i>dwg/CAD</i> ) dan spesifikasi material penulangan	-	1,5	-	-	-	-	-	-	-	1,5
3.	Pengelompokan bentuk tulangan berdasarkan tipe struktur (Struktur <i>pile cap</i> , kolom, dan <i>pier head</i> )	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	0,75
4.	Penentuan panjang <i>overlap</i> dan panjang tekukan atau kait baja tulangan	-	1,0	-	-	-	-	-	-	-	1,0





Tugas Akhir

Studi Perbandingan Estimasi *Bill of Quantity* pada Pekerjaan Penulangan *Pile Cap*, Pilar Tunggal dan Ganda Jalan Layang Antara Metode Konvensional dan BIM (*Building Information Modeling*)

No.	Tahapan Kerja	Durasi Jam Kerja									Total
		Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5	Hari 6	Hari 7	Hari 8	Hari 9	
A.	Metode Konvensional										
5.	Input data baja tulangan ke tabulasi estimasi sesuai tipe struktur ( <i>Struktur pile cap</i> , kolom, dan <i>pier head</i> )	-	-	2,0	1,0	-	-	-	-	-	3,0
6.	Estimasi volume baja tulangan pada struktur <i>pile cap</i>	-	-	2,0	1,5	-	-	-	-	-	3,5
7.	Estimasi volume baja tulangan pada struktur kolom	-	-	2,0	1,5	-	-	-	-	-	3,5
8.	Estimasi volume baja tulangan pada struktur <i>pier head</i>	-	-	3,5	2,5	-	-	-	-	-	6,0
9.	Penyusunan QTO	-	-	-	-	1,5	-	-	-	-	1,5
Total Durasi Estimasi											22,25

Tabel 5.2. memuat tahapan kerja dan durasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses estimasi menggunakan metode konvensional. Terdapat sembilan tahapan kerja estimasi dalam metode konvensional. Pada tahap penyusunan rumus atau tabulasi estimasi menggunakan *Microsoft Excel* dibutuhkan waktu sekitar 1,5 jam atau 1 jam 30 menit. Pada tahap identifikasi gambar rencana penulangan sebagai bahan klasifikasi bentuk tulangan berdasarkan gambar kerja dalam format *dwg* membutuhkan waktu sekitar 1,5 jam. Sementara pada tahap pengelompokan bentuk tulangan dibutuhkan waktu sekitar 0,75 jam atau 45 menit. Pada tahap selanjutnya yaitu penentuan panjang *overlap*, panjang tekukan, dan perpanjangan lurus atau kait baja tulangan berdasarkan ACI seri *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-14) and Commentary (ACI 318RM-14)*, estimator membutuhkan waktu sekitar 1 jam. Pada tahap kelima estimator membutuhkan waktu total sekitar 3 jam. Lebih lanjut pada tahap estimasi volume tulangan struktur *pile cap* membutuhkan waktu total sekitar 3,5 jam. Estimasi volume tulangan pada struktur kolom membutuhkan waktu total sekitar 3,5 jam dan pada struktur *pier head* membutuhkan waktu total sekitar 6 jam. Rangkaian tahapan kerja diakhiri dengan penyusunan QTO yang membutuhkan waktu sekitar 1,5 jam. Sehingga perkiraan total waktu yang



Tugas Akhir

Studi Perbandingan Estimasi *Bill of Quantity* pada Pekerjaan Penulangan *Pile Cap*, Pilar Tunggal dan Ganda Jalan Layang Antara Metode Konvensional dan BIM (*Building Information Modeling*)

dibutuhkan estimator untuk menyelesaikan proses estimasi menggunakan metode konvensional adalah sekitar 22,25 jam atau 1.335 menit, dengan catatan bahwa gambar rencana menggunakan format *dwg/CAD* dan bukan cetak maupun pdf.

Tabel 5.3 Perbandingan Aspek Waktu Penyelesaian Estimasi Berbasis BIM

No.	Tahapan Kerja	Durasi Jam Kerja									Total
		Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5	Hari 6	Hari 7	Hari 8	Hari 9	
B.	Metode Berbasis BIM										
1.	Identifikasi gambar rencana dan material penulangan	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75
2.	Pengelompokan bentuk tulangan berdasarkan tipe struktur ( <i>Struktur pile cap</i> , kolom, dan <i>pier head</i> )	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5
3.	Penentuan panjang <i>overlap</i> , panjang tekukan, dan perpanjangan lurus atau kait baja tulangan	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5
4.	<i>Import</i> model <i>dwg/CAD</i> gambar rencana ke <i>Allplan Engineering 2021</i>	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25
5.	Penyesuaian parameter standar sesuai ACI (318M-14), panjang maksimum baja tulangan (12,0 m) dan spesifikasi baja tulangan sesuai ASTM A615/A615M pada <i>Allplan Engineering 2021</i>	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5
6.	Pemodelan 3D baja tulangan pada struktur <i>pile cap</i>	1,0	2,0	0,5	3,5	-	-	-	-	-	7,0
7.	Pemodelan 3D baja tulangan pada struktur kolom	-	-	-	2,0	1,5	2,5	-	-	-	6,0
8.	Pemodelan 3D baja tulangan pada struktur <i>pier head</i>	-	-	-	-	-	2,5	1,5	4,5	5	13,5
9.	Penyusunan QTO menggunakan <i>Report Tools</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,5
Total Durasi Estimasi											29,50

Tabel 5.3. memuat tahapan kerja dan durasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses estimasi menggunakan metode berbasis BIM *Allplan Engineering 2021*. Terdapat sembilan tahapan kerja estimasi dalam metode berbasis BIM. Pada tahap identifikasi gambar rencana dan material penulangan



dibutuhkan waktu sekitar 0,75 jam atau 45 menit. Pada tahap pengelompokan bentuk tulangan berdasarkan tipe struktur dibutuhkan waktu sekitar 0,5 jam atau 30 menit. Pada tahap selanjutnya yaitu penentuan panjang *overlap*, panjang tekukan, dan perpanjangan lurus atau kait baja tulangan berdasarkan ACI seri *318M-14 318RM-14* yang telah tersedia di dalam *Allplan Engineering 2021* membutuhkan waktu sekitar 0,5 jam. Pada tahap impor model *dwg/CAD* gambar rencana ke *Allplan Engineering 2021* dibutuhkan waktu sekitar 0,25 jam atau sekitar 15 menit. Pada tahap penyesuaian parameter standar, panjang maksimum baja tulangan dan spesifikasi baja tulangan sesuai ACI dalam *Allplan Engineering 2021* dibutuhkan waktu sekitar 0,5 jam atau 30 menit. Lebih lanjut pada tahap pemodelan 3D baja tulangan pada struktur *pile cap* membutuhkan waktu total sekitar 7 jam. Pemodelan 3D baja tulangan pada struktur kolom membutuhkan waktu total sekitar 6 jam dan pada struktur *pier head* membutuhkan waktu total sekitar 13,5 jam. Rangkaian tahapan kerja diakhiri dengan penyusunan QTO menggunakan *Report Tools* yang membutuhkan waktu sekitar 0,5 jam. Sehingga total waktu yang dibutuhkan *BIM Modeler* untuk menyelesaikan proses estimasi menggunakan adalah sekitar 29,50 jam atau 1.770 menit, dengan catatan bahwa gambar rencana menggunakan format *dwg/CAD* dan bukan cetak maupun pdf.

Sejak awal proses estimasi metode konvensional, estimator menerjemahkan gambar rencana penulangan ke dalam rumus kalkulasi kemudian dimuat dalam tabel sebagai hasil estimasi volume penulangan sebagaimana pernyataan Olsen dan Taylor (2017) pada Subbab 2.5.1. Proses ini tergolong praktis karena estimator dapat langsung mengetahui hasil estimasi tanpa perlu melakukan pemodelan atau penggambaran ulang terhadap objek penulangan sehingga durasi estimasi lebih singkat. Namun dalam proses ini rentan terjadi estimasi berulang pada objek yang sama maupun adanya objek yang tidak sengaja terlewat saat estimasi sebagaimana dijelaskan Eroğlu (2019) pada Subbab 2.5.1. Pada sisi lain, *BIM modeler* membutuhkan waktu untuk memodelkan komponen tulangan sesuai gambar rencana. Semakin kompleks komponen tulangan maka durasi yang dibutuhkan akan semakin lama. Meski demikian, *BIM modeler* dapat segera



mengekstrak tabel hasil estimasi volume tulangan melalui fitur *report tools* yang tersedia dalam *Allplan Engineering 2021*. Tabel hasil estimasi tersebut disusun secara otomatis oleh program dan dilengkapi dengan parameter standar yang dirancang khusus untuk keperluan laporan estimasi volume proyek. Dengan demikian, BIM *modeler* tidak perlu menyusun hasil estimasi ke dalam tabel laporan secara manual sebagaimana dijelaskan Pratoon dan Tangwiboonpanich (2016) serta Eroğlu (2019) pada Subbab 2.5.2. Apabila metode estimasi konvensional dan berbasis BIM dibandingkan pada kondisi terjadi revisi gambar rencana, maka estimasi konvensional akan membutuhkan durasi penyesuaian yang relatif lama. Penyebabnya adalah metode konvensional tidak memiliki *marking system* untuk melacak objek yang mengalami revisi serta tidak memiliki visual 3 dimensi yang membantu estimator untuk membayangkan bentuk atau posisi objek tersebut berdasarkan revisinya.

Pada sisi lain, metode estimasi berbasis BIM memiliki fitur *marking system* dan visual 3 dimensi sehingga BIM *modeler* dapat melacak objek yang mengalami revisi dan mengubah pemodelan objek sesuai revisi. Tabel hasil estimasi secara otomatis diperbarui oleh program dan volume material dapat segera diketahui sebagaimana dijelaskan Eroğlu (2019) pada Subbab 2.5.1. Dengan demikian metode estimasi berbasis BIM lebih mampu merespon kebutuhan tersebut. Hasil perbandingan aspek waktu penyelesaian antara metode konvensional dan berbasis BIM dihitung menggunakan Persamaan 3.1. dengan rincian sebagai berikut :

a. Metode estimasi konvensional

Total waktu pengerjaan : 22,25 jam

Persentase waktu pengerjaan :  $\left(\frac{22,25 \text{ jam}}{29,50 \text{ jam}}\right) \times 100 \% = 75,42 \%$

b. Metode estimasi berbasis BIM

Total waktu pengerjaan : 29,50 jam

Persentase waktu pengerjaan :  $\left(\frac{29,50 \text{ jam}}{29,50 \text{ jam}}\right) \times 100 \% = 100 \%$

c. Perbandingan aspek waktu penyelesaian estimasi :

$(100 \%) - (75,42 \%) = 24,58 \%$



Berdasarkan hasil perbandingan aspek waktu penyelesaian estimasi pada Tabel 5.2. dan Tabel 5.3., diketahui bahwa durasi pengerjaan kedua metode memiliki selisih sekitar 7,25 jam atau 435 menit. Metode konvensional membutuhkan total waktu sekitar 22,25 jam atau 1.335 menit, sementara metode estimasi berbasis BIM membutuhkan total waktu sekitar 29,50 jam atau 1.770 menit. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa dalam aspek waktu penyelesaian estimasi, metode estimasi konvensional 24,58 % lebih cepat dibandingkan metode estimasi berbasis BIM.

### 5.1.3. Aspek volume hasil estimasi

Hasil perbandingan aspek volume hasil estimasi ditunjukkan pada Tabel 5.4. dan Tabel 5.5. berdasarkan rumus dari Persamaan 3.2. Berdasarkan Tabel 5.4. dan Tabel 5.5. diketahui bahwa volume baja tulangan metode berbasis BIM pada struktur pilar tunggal dan pilar ganda cenderung menghasilkan volume yang lebih kecil dari metode konvensional.

Tabel 5.4 Perbandingan Aspek Volume Hasil Estimasi Pilar Tunggal

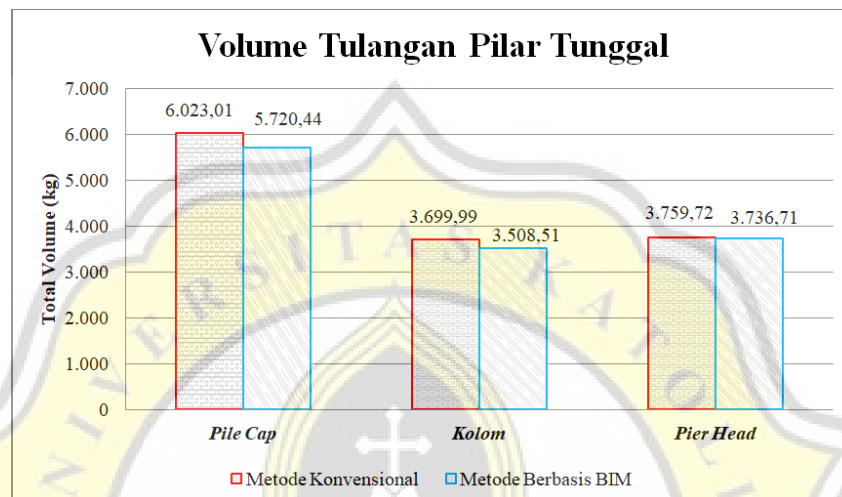
No.	Tipe Baja Tulangan	Metode Konvensional	Metode Berbasis BIM	Persentase Selisih Volume Tulangan (%)
		Berat (kg)	Berat (kg)	
I.	PILAR TUNGGAL			
A.	<i>Pile Cap</i>			
1.	D16 (Tulangan Pinggang)	2.170,31	2.055,86	5,02
2.	D25 (Tulangan Utama)	3.852,70	3.664,58	
Total Volume		6.023,01	5.720,44	
B.	Kolom			
1.	D13 (Tulangan Sengkang)	203,67	145,57	5,18
2.	D32 (Tulangan Utama)	3.496,32	3.362,94	
Total Volume		3.699,99	3.508,51	
C.	<i>Pier Head</i>			
1.	D13 (Tulangan Sengkang)	709,17	689,67	0,61
2.	D16 (Tulangan Pinggang)	101,45	110,29	
3.	D25 (Tulangan Utama)	2.949,10	2.936,75	
Total Volume		3.759,72	3.736,71	
Total Volume Pilar Tunggal		13.482,72	12.965,66	3,83
Rata-Rata Persentase Selisih Volume Tulangan				3,60

Temuan ini memiliki kesamaan dengan penelitian Pratoom dan Tangwiboonpanich (2016) yang menyatakan metode estimasi berbasis BIM





cenderung memiliki hasil lebih kecil dibanding metode konvensional. Penyebab dari kecenderungan ini adalah metode konvensional menggunakan dimensi perkiraan baja tulangan, sedangkan metode berbasis BIM menggunakan dimensi aktual baja tulangan sehingga hasil estimasi metode berbasis BIM lebih realistis.



Gambar 5.2 Perbandingan Volume Estimasi Tulangan Pilar Tunggal

Berdasarkan Tabel 5.4., diketahui bahwa volume baja tulangan pilar tunggal pada struktur *pile cap*, antara metode konvensional dan metode berbasis BIM memiliki persentase selisih 5,02 %. Selisih tersebut disebabkan oleh perbedaan panjang per satu batang baja tulangan antara kedua metode. Sebagai contoh, pada bentuk tulangan F1 panjang per satu batangnya adalah 7,85 m pada metode konvensional sementara pada metode berbasis BIM adalah 7,42 m. Hal ini juga terjadi pada seluruh bentuk tulangan struktur *pile cap* dengan kecenderungan yang sama yaitu panjang per satu batang tulangan pada metode konvensional lebih besar dari metode berbasis BIM. Kecenderungan ini disebabkan oleh perbedaan metode *input*. Estimasi konvensional menggunakan panjang baja tulangan dalam proses *input*, sementara estimasi berbasis BIM (*Allplan Engineering 2021*) tidak menggunakan panjang baja tulangan tersebut, namun menggunakan tebal selimut beton *pile cap* sebagai acuan estimasi. Pada struktur kolom dan struktur *pier head* pilar tunggal, ditemukan selisih volume tulangan yang disebabkan oleh perbedaan jumlah tulangan pada hasil metode estimasi. Perbedaan jumlah tulangan ini disebabkan metode berbasis BIM menggunakan jarak antar tulangan sementara



metode konvensional menggunakan jumlah kebutuhan tulangan. Persentase selisih volume dapat dilihat pada Tabel 5.4., diketahui bahwa volume baja tulangan pada struktur kolom antara kedua metode estimasi memiliki persentase selisih 5,18 %. Selisih pada struktur *pier head* antara metode konvensional dan metode berbasis BIM relatif kecil yaitu 0,61 %. Selisih tersebut disebabkan oleh jumlah tulangan pinggang pada estimasi konvensional 4 buah lebih sedikit dari estimasi berbasis BIM. Lebih lanjut, apabila dihitung berdasarkan total volume tulangan dalam satu pilar tunggal, didapatkan persentase selisih volume tulangan antara kedua metode sebesar 3,83 % serta rata-rata persentase selisih volume tulangan sebesar 3,60 %.

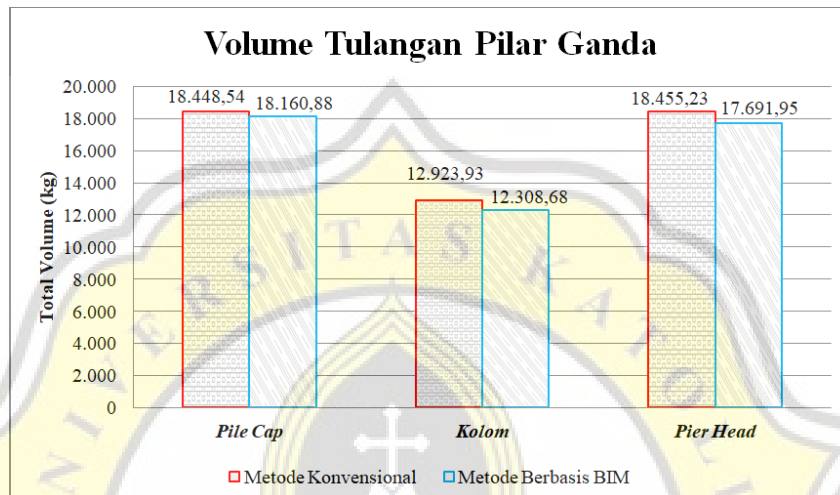
Tabel 5.5 Perbandingan Aspek Volume Hasil Estimasi Pilar Ganda

No.	Tipe Baja Tulangan	Metode Konvensional	Metode Berbasis BIM	Persentase Selisih Volume Tulangan (%)
		Berat (kg)	Berat (kg)	
II. PILAR GANDA				
A. <i>Pile Cap</i>				
1.	D16 (Tulangan Pinggang)	1.526,81	1.616,26	
2.	D19 (Tulangan Utama)	3.749,48	3.622,86	
3.	D32 (Tulangan Utama)	13.172,25	12.921,76	
Total Volume		18.448,54	18.160,88	1,56
B. Kolom				
1.	D16 (Tulangan Sengkang)	1.655,81	1.522,95	
2.	D32 (Tulangan Utama)	11.268,12	10.857,73	
Total Volume		12.923,93	12.380,68	
C. <i>Pier Head</i>				
1.	D16 (Tulangan Pinggang)	3.106,26	3.084,30	
2.	D32 (Tulangan Utama)	15.348,97	14.607,65	
Total Volume		18.455,23	17.691,95	
Total Volume Pilar Ganda		49.827,70	48.233,51	3,20
Rata-Rata Persentase Selisih Volume Tulangan				3,30

Berdasarkan Tabel 5.5., ditemukan sejumlah selisih volume tulangan yang disebabkan oleh perbedaan panjang per satu batang baja tulangan antara kedua metode. Selisih panjang batang tulangan ini disebabkan oleh perbedaan metode *input*, estimasi konvensional menggunakan panjang baja tulangan berdasarkan gambar rencana, sementara estimasi berbasis BIM (*Allplan Engineering 2021*) tidak menggunakan panjang baja tulangan tersebut, namun menggunakan tebal selimut beton *pile cap* sebagai acuan estimasi. Selisih tersebut dapat dilihat pada



Tabel 5.5., volume baja tulangan pilar ganda pada struktur *pile cap* antara kedua metode memiliki selisih 1,56 % dengan rincian tulangan utama D19 panjang per satu batangnya adalah 10,878 m pada metode konvensional sementara pada metode berbasis BIM lebih pendek 25,8 cm yaitu 10,620 m.



Gambar 5.3 Perbandingan Volume Estimasi Tulangan Pilar Ganda

Pada struktur kolom pilar ganda, volume baja tulangan antara kedua metode estimasi memiliki persentase selisih 4,20 %. Selisih tersebut disebabkan oleh panjang per batang tulangan sengkang pada estimasi konvensional 1,25 m lebih panjang dari estimasi berbasis BIM, sementara panjang per batang tulangan utama pada estimasi BIM 8,45 m lebih panjang dari estimasi konvensional. Pada struktur *pier head* pilar ganda, volume baja tulangan memiliki selisih 4,14 % yang disebabkan oleh panjang per batang tulangan utama pada estimasi berbasis BIM (*Allplan Engineering 2021*) 1,61 m lebih panjang dari estimasi konvensional. Lebih lanjut, apabila dihitung berdasarkan total volume tulangan dalam satu pilar ganda, didapatkan persentase selisih volume tulangan antara kedua metode sebesar 3,20 % serta rata-rata persentase selisih volume tulangan sebesar 3,30 %.

Berdasarkan analisis terhadap hasil volume estimasi, diketahui bahwa faktor utama yang menyebabkan adanya selisih volume antara metode konvensional dan metode berbasis BIM (*Allplan Engineering 2021*) adalah perbedaan kuantitas baja tulangan, serta adanya perbedaan metode *input* antara kedua metode. Perbedaan kuantitas baja tulangan disebabkan oleh perbedaan asumsi estimasi ketika



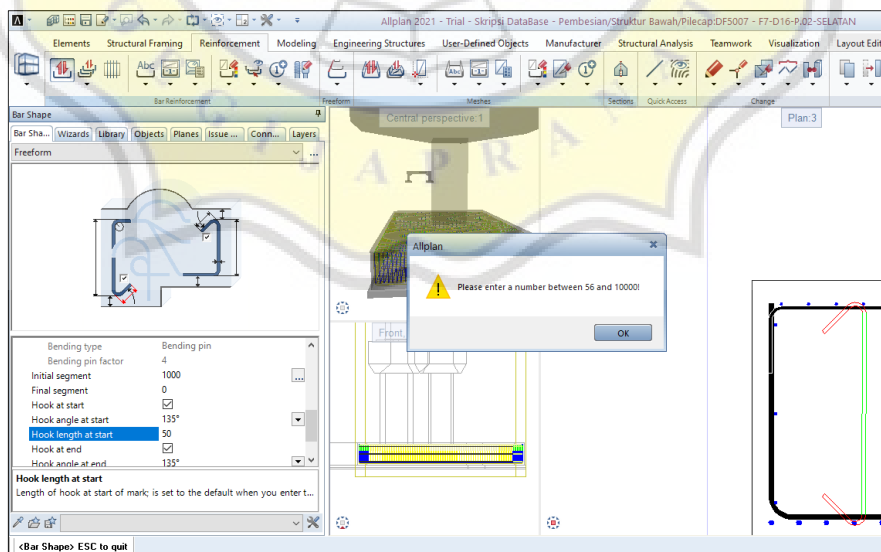
## Tugas Akhir

### Studi Perbandingan Estimasi *Bill of Quantity* pada Pekerjaan Penulangan *Pile Cap*, Pilar Tunggal dan Ganda Jalan Layang Antara Metode Konvensional dan BIM (*Building Information Modeling*)

menggunakan metode konvensional dan metode berbasis BIM. Lebih lanjut, perbedaan metode *input* yang dimaksud adalah dimensi panjang baja tulangan. Pada metode konvensional menggunakan panjang tulangan sesuai gambar rencana, sementara pada metode berbasis BIM dimensi baja tulangan yang dimodelkan tidak menggunakan ukuran panjang baja tulangan seperti pada metode konvensional, namun menggunakan tebal selimut beton.

Metode yang paling ideal ditentukan berdasarkan volume hasil estimasi paling realistis atau minimal antara kedua metode. Metode estimasi yang mampu mengimplementasikan standar acuan secara menyeluruh akan menghasilkan volume estimasi tulangan yang lebih akurat karena minim kesalahan. Semakin minim kesalahan selama proses estimasi maka volume tulangan tersebut cenderung lebih kecil ketika dibandingkan dengan metode lain yang kurang mampu mengimplementasikan acuan standar. Berdasarkan hasil perbandingan yang diperlihatkan pada Gambar 5.2 dan Gambar 5.3 metode berbasis BIM dinilai lebih ideal karena menghasilkan volume estimasi yang minimal.

Lebih lanjut, dilakukan pula analisis terhadap kemampuan setiap metode untuk mengakomodasi ketentuan perpanjangan lurus dan diameter tekukan baja tulangan sesuai standar acuan yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 5.4 Notifikasi *Allplan Engineering* Apabila Ukuran Perpanjangan Lurus Tulangan Tidak Sesuai Ketentuan Standar





Metode konvensional pada dasarnya tidak secara otomatis mampu mendeteksi kesesuaian ketentuan perpanjangan lurus dan diameter tekukan baja tulangan dengan aturan standar yang digunakan estimator. Dengan demikian estimator harus memeriksa setiap tipe tulangan secara manual untuk memastikan bahwa spesifikasinya sesuai dengan aturan standar. Pada sisi lain, metode berbasis BIM (*Allplan Engineering*) memiliki kemampuan dasar untuk mendeteksi kesesuaian ketentuan perpanjangan lurus dan diameter tekukan baja tulangan dengan aturan standar yang digunakan BIM *modeler*. Kemampuan ini diperlihatkan pada Gambar 5.4. Dengan demikian metode berbasis BIM lebih mampu mengakomodasi ketentuan standar secara menyeluruh sehingga hasil estimasi minim kesalahan.

#### 5.1.4. Uji hipotesis *t student* tipe 1 sisi dan tipe 2 sisi

Uji *t student* digunakan untuk mengetahui nilai kebenaran dari hipotesis satu dan hipotesis dua yang telah dimuat pada subbab 1.5. Pada hipotesis satu dilakukan uji hipotesis menggunakan uji *t student* tipe 2 sisi berdasarkan Persamaan 2.8. dan Persamaan 2.9. Variabel yang digunakan adalah hasil estimasi volume tulangan struktur *pile cap* dan kolom pada pilar tunggal dan pilar ganda. Proses pengujian hipotesis satu adalah sebagai berikut :

- a. Merekap hasil estimasi volume tulangan struktur *pile cap* dan kolom pada pilar tunggal dan pilar ganda : 6023,01 kg, 5720,44 kg, 3699,99 kg, 3508,51 kg, 18448,54 kg, 18160,88 kg, 12923,93 kg, dan 12380,68 kg.
- b. Menentukan parameter  $t_{hitung}$  berdasarkan Persamaan 2.8 sebagai berikut :
  - b.1.  $n$  (Jumlah sampel) : 8
  - b.2. Total nilai sampel :  $(6.023,01 \text{ kg} + 5.720,44 \text{ kg} + 3.699,99 \text{ kg} + 3.508,51 \text{ kg} + 18.448,54 \text{ kg} + 18.160,88 \text{ kg} + 12.923,93 \text{ kg} + 12.380,68 \text{ kg}) = 80.865,98 \text{ kg}$
  - b.3.  $X_{bar}$  (Rerata sampel) :  $(\frac{80.865,98 \text{ kg}}{8}) = 10.108,25 \text{ kg}$
  - b.4.  $(x_i - X_{bar})^2$  : 16.689.165,43 kg, 19.252.854,66 kg, 41.065.764,19 kg, 43.556.535,07 kg, 69.560.478,99 kg, 64.844.890,18 kg, 7.928.067,941 kg, dan 5.163.949,467 kg





b.5.  $\sum(x_i - X_{\text{bar}})^2$  : 268.061.705,917 kg

b.6. S (Standar deviasi) :  $\sqrt{\frac{(268.061.705,917 \text{ kg})}{8}} = 5.788,585 \text{ kg}$

b.7.  $t_{\text{hitung}}$  :  $\frac{(10.108,25 - (10.108,25 + (0,1 \times 10.108,25)))}{\frac{(5.788,585)}{\sqrt{8}}} = -0,49$

c. Menentukan parameter tabel distribusi t sebagai berikut :

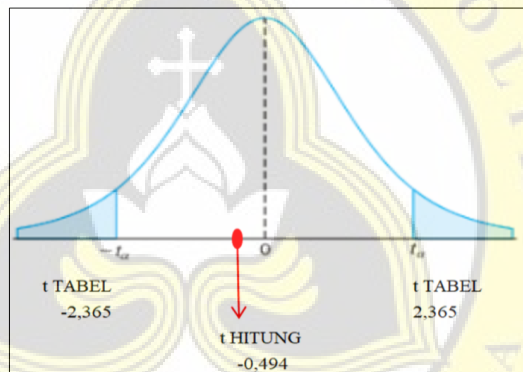
c.1.  $n - 1$  :  $(8-1) = 7$

c.2.  $\alpha$  (Alfa) :  $(5\%) = 0,05$

c.3.  $\alpha$  (Alfa) tipe uji dua sisi :  $(0,05 / 2) = 0,025$

c.4. Hasil  $t_{\text{tabel}}$  : 2,365

d. Melakukan perletakkan titik  $t_{\text{hitung}}$  dan  $t_{\text{tabel}}$  pada kurva uji hipotesis 2 sisi seperti diperlihatkan pada Gambar 5.5 berikut :



Gambar 5.5 Perletakkan Titik  $t_{\text{hitung}}$  dan  $t_{\text{tabel}}$  pada Kurva Uji Hipotesis 2 Sisi

e. Berdasarkan hasil uji hipotesis seperti diperlihatkan pada Gambar 5.5, diketahui bahwa  $t_{\text{hitung}}$  berada dalam daerah penerimaan hipotesis yaitu dalam rentang nilai -2,365 hingga 2,365. Dengan demikian, hipotesis satu bahwa hasil estimasi volume penulangan antara metode konvensional dan metode berbasis BIM relatif sama pada struktur yang memiliki bentuk simetris atau sederhana dianggap benar.

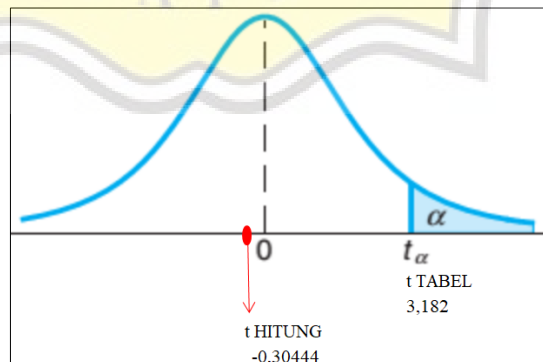
Lebih lanjut, pada hipotesis kedua dilakukan uji hipotesis menggunakan uji *t student* tipe 1 sisi berdasarkan Persamaan 2.8. dan Persamaan 2.9. Variabel yang digunakan adalah hasil estimasi volume tulangan struktur *pier head* pada pilar tunggal dan pilar ganda. Proses pengujian hipotesis dua adalah sebagai berikut :



Tugas Akhir

Studi Perbandingan Estimasi *Bill of Quantity* pada Pekerjaan Penulangan *Pile Cap*, Pilar Tunggal dan Ganda Jalan Layang Antara Metode Konvensional dan BIM (*Building Information Modeling*)

- a. Merekap hasil estimasi volume tulangan struktur *pier head* pada pilar tunggal dan pilar ganda dengan rincian 3.759,72 kg, 3.736,71 kg, 18.455,23 kg, dan 17.691,95 kg.
- b. Menentukan parameter  $t_{hitung}$  berdasarkan Persamaan 2.8. sebagai berikut :
- b.1.  $n$  (Jumlah sampel) : 4
- b.2. Total nilai sampel :  $(3.759,72 \text{ kg} + 3.736,71 \text{ kg} + 18.455,23 \text{ kg} + 17.691,95 \text{ kg}) = 43.643,61 \text{ kg}$
- b.3.  $X_{bar}$  (Rerata sampel) :  $(\frac{43.643,61 \text{ kg}}{4}) = 10.910,90 \text{ kg}$
- b.4.  $(x_i - X_{bar})^2$  : 51.139.411,15 kg, 51.469.038,03 kg, 56.916.877,43 kg, dan 45.982.605,20 kg
- b.5.  $\sum(x_i - X_{bar})^2$  : 205.507.931,80 kg
- b.6.  $S$  (Standar deviasi) :  $\sqrt{\frac{(205.507.931,80 \text{ kg})}{4}} = 7.167,77 \text{ kg}$
- b.7.  $t_{hitung}$  :  $\frac{(10.910,90 - (10.910,90 + (0,1 \times 10.910,90)))}{\frac{(7.167,77)}{\sqrt{4}}} = -0,304$
- c. Menentukan parameter tabel distribusi  $t$  sebagai berikut :
- c.1.  $n - 1$  :  $(4-1) = 3$
- c.2.  $\alpha$  (Alfa) :  $(5\%) = 0,05$
- c.3.  $\alpha$  (Alfa) tipe uji satu sisi :  $(0,05 / 1) = 0,05$
- c.4. Hasil  $t_{tabel}$  : 3,182
- d. Melakukan perletakkan titik  $t_{hitung}$  dan  $t_{tabel}$  pada kurva uji hipotesis 1 sisi seperti diperlihatkan pada Gambar 5.6 berikut :



Gambar 5.6 Perletakkan Titik  $t_{hitung}$  dan  $t_{tabel}$  pada Kurva Uji Hipotesis 1 Sisi



- e. Berdasarkan hasil uji hipotesis seperti diperlihatkan pada Gambar 5.6, diketahui bahwa  $t_{hitung}$  berada dalam daerah penerimaan hipotesis yaitu kurang dari nilai  $t_{tabel} = 3,182$ . Dengan demikian, hipotesis kedua bahwa hasil estimasi volume penulangan antara metode konvensional dan metode berbasis BIM memiliki selisih yang besar pada struktur dengan bentuk asimetris atau relatif rumit dianggap benar.

### 5.1.5. Tinjauan hasil penelitian terhadap hipotesis satu

Aspek volume hasil estimasi yang dimuat pada subbab 5.1.3 digunakan sebagai variabel untuk mengetahui apakah hipotesis satu sesuai dengan fakta penelitian yang didapatkan atau tidak. Hipotesis satu yang menyatakan bahwa hasil estimasi volume penulangan antara metode konvensional dan metode berbasis BIM relatif sama pada struktur yang memiliki bentuk simetris atau sederhana, telah diuji kebenarannya dalam subbab 5.1.4 menggunakan uji *t student*.

Berdasarkan tinjauan hasil penelitian terhadap hipotesis satu, diketahui bahwa persentase selisih volume tulangan untuk struktur berbentuk simetris (*Pile cap* dan kolom) pada pilar tunggal dan ganda adalah kurang dari 10%. Hasil tersebut diperlihatkan pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Rekap Aspek Volume Hasil Estimasi pada Struktur Simetris

No.	Tipe Struktur	Metode Konvensional	Metode Berbasis BIM	Persentase Selisih Volume Tulangan (%)
		Berat (kg)	Berat (kg)	
I.	PILAR TUNGGAL			
A.	<i>Pile Cap</i>			
	Total Volume	6023,01	5720,44	5,02
B.	Kolom			
	Total Volume	3699,99	3508,51	5,18
II.	PILAR GANDA			
A.	<i>Pile Cap</i>			
	Total Volume	18448,54	18160,88	1,56
B.	Kolom			
	Total Volume	12923,93	12380,68	4,20

Berdasarkan Tabel 5.6 selisih volume tulangan untuk struktur berbentuk simetris (*Pile cap* dan kolom) dianggap relatif sama karena kurang dari batas persentase 10% (Surat Edaran Nomor 04 / SE / Dr / 2019). Hasil penelitian ini berbanding



lurus dengan hipotesis satu yang menyatakan bahwa hasil estimasi volume penulangan antara metode konvensional dan metode berbasis BIM relatif sama pada struktur yang memiliki bentuk simetris atau sederhana. Dengan demikian hipotesis satu terbukti benar karena sesuai dengan fakta yang didapatkan dalam penelitian.

Lebih lanjut, terdapat sejumlah faktor yang menyebabkan adanya selisih volume tulangan pada struktur simetris (*Pile cap* dan kolom). Pada tulangan dengan bentuk seperti Gambar 5.7, panjang tulangan pada segmen  $a$  tidak berdasarkan aturan perpanjangan lurus pada standar *ACI 318M-14* yang menjadi acuan dalam penelitian ini, namun telah ditentukan oleh pihak perencana. Selain itu, pada metode konvensional panjang tulangan di segmen  $b$  sesuai dengan gambar kerja, namun pada metode berbasis BIM panjang segmen  $b$  menyesuaikan dengan tebal selimut beton. Hal ini disebabkan oleh perbedaan metode *input* antara kedua metode estimasi seperti telah dijelaskan pada Gambar 5.1. sebelumnya.



Gambar 5.7 Contoh Bentuk Tulangan yang Digunakan Dalam Penelitian

Faktor lain yang menyebabkan adanya selisih volume tulangan pada struktur simetris (*Pile cap* dan kolom) adalah perbedaan penentuan jumlah tulangan antara kedua metode estimasi. Pada metode konvensional jumlah tulangan ditentukan berdasarkan banyaknya objek tulangan yang digambarkan dalam gambar kerja. Pada sisi lain, metode berbasis BIM menggunakan rumus kebutuhan tulangan untuk menentukan jumlah tulangan yang dibutuhkan. Hal ini menyebabkan perbedaan jumlah tulangan pada struktur *pile cap* dan kolom yang berkontribusi dalam perbedaan volume estimasi secara keseluruhan.



Selain itu, faktor lain yang menyebabkan selisih volume tulangan adalah perbedaan perpanjangan lurus. Ukuran perpanjangan lurus terpendek sesuai dengan gambar rencana penulangan adalah 50 mm, ukuran ini dapat diakomodasi dalam metode estimasi konvensional. Namun, perpanjangan lurus pada metode berbasis BIM (*Allplan Engineering* 2021) minimal hanya 56 mm. Dengan demikian, ukuran lain yang lebih pendek dari 56 mm tidak dapat digunakan dan menyebabkan selisih hasil estimasi volume tulangan antara kedua metode. Sejumlah faktor penyebab yang telah dijelaskan berpotensi menimbulkan kecenderungan sebagai berikut :

- a. Volume tulangan yang dihasilkan metode estimasi konvensional dalam penelitian ini akan cenderung lebih besar dari volume tulangan aktual yang dihasilkan pihak perencana proyek.
- b. Volume tulangan yang dihasilkan metode berbasis BIM dalam penelitian ini cenderung lebih mendekati volume tulangan aktual yang dihasilkan pihak perencana proyek. Hal ini dikarenakan proses estimasi dalam metode berbasis BIM sepenuhnya mampu menyesuaikan standar khususnya *ACI 318M-14* yang menjadi acuan dalam penelitian ini.

#### **5.1.6. Tinjauan hasil penelitian terhadap hipotesis dua**

Sama halnya dengan subbab 5.1.5. pada subbab ini aspek volume hasil estimasi digunakan sebagai variabel untuk mengetahui apakah hipotesis dua sesuai dengan fakta penelitian yang didapatkan atau tidak. Hipotesis dua bahwa hasil estimasi volume penulangan antara metode konvensional dan metode berbasis BIM memiliki selisih yang besar pada struktur dengan bentuk asimetris atau relatif rumit, sebelumnya telah diuji kebenarannya dalam subbab 5.1.4 menggunakan uji *t student*.

Berdasarkan tinjauan hasil penelitian terhadap hipotesis dua, diketahui bahwa persentase selisih volume tulangan untuk struktur berbentuk asimetris (*Pier head*) pada pilar tunggal dan ganda adalah kurang dari 10%. Hasil tersebut diperlihatkan pada Tabel 5.7.





Tabel 5.7 Rekap Aspek Volume Hasil Estimasi pada Struktur Asimetris

No.	Tipe Struktur	Metode Konvensional	Metode Berbasis BIM	Persentase Selisih Volume Tulangan
		Berat (kg)	Berat (kg)	(%)
I.	PILAR TUNGGAL			
A.	<i>Pier Head</i>			
	Total Volume	3759,72	3736,71	0,61
II.	PILAR GANDA			
A.	<i>Pier Head</i>			
	Total Volume	18455,23	17691,95	4,14

Berdasarkan Tabel 5.7 selisih volume tulangan untuk struktur berbentuk asimetris (*Pier head*) dianggap relatif sama karena kurang dari batas persentase 10% (Surat Edaran Nomor 04 / SE / Dr / 2019). Hasil penelitian ini berlawanan dengan hipotesis dua yang menyatakan bahwa hasil estimasi volume penulangan antara metode konvensional dan metode berbasis BIM memiliki selisih yang besar pada struktur dengan bentuk asimetris atau relatif rumit. Dengan demikian hipotesis dua dianggap tidak terbukti karena tidak sesuai dengan fakta yang didapatkan dari penelitian. Hal ini disebabkan oleh adanya perlakuan khusus seperti dijelaskan pada subbab 4.2. yaitu pada konfigurasi penulangan dengan bentuk tidak simetris dilakukan perhitungan per batang tulangan yang ada agar hasilnya mampu mendekati kondisi sebenarnya.

Lebih lanjut, terdapat sejumlah faktor yang menyebabkan selisih volume tulangan pada struktur asimetris (*Pier head*) antara pilar tunggal dan ganda sangat berbeda. Pada struktur *Pier head* terdapat perbedaan jumlah tulangan antara kedua metode estimasi. Pada metode konvensional jumlah tulangan ditentukan berdasarkan banyaknya objek tulangan yang digambarkan dalam gambar kerja. Pada sisi lain, metode berbasis BIM menggunakan rumus kebutuhan tulangan untuk menentukan jumlah tulangan yang dibutuhkan. Hal ini menyebabkan perbedaan jumlah tulangan pada struktur *pier head* yang berkontribusi dalam perbedaan volume estimasi secara keseluruhan. Selain itu, volume kerja tulangan pada struktur *pile cap* pilar ganda lebih banyak dari pilar tunggal sehingga apabila terjadi kesalahan estimasi pada tipe tulangan tertentu akan terakumulasi dan memperbesar selisih hasil estimasi antara kedua metode.



Berdasarkan hasil estimasi volume dalam penelitian ini, diketahui bahwa bentuk struktur asimetris tidak mempengaruhi besarnya selisih hasil estimasi dengan catatan bahwa metode konvensional sepenuhnya mengandalkan gambar kerja dengan asumsi bahwa gambar kerja adalah wewenang pihak perencana. Kondisi ini menyebabkan metode konvensional tidak dapat sepenuhnya mengacu pada standar acuan penelitian sehingga terjadi perbedaan volume hasil estimasi yang signifikan. Sejumlah faktor penyebab yang telah dijelaskan berpotensi menimbulkan kecenderungan yang sama dengan subbab 5.1.5. sebagai berikut :

- a. Volume tulangan yang dihasilkan metode estimasi konvensional dalam penelitian ini akan cenderung lebih besar dari volume tulangan aktual yang dihasilkan pihak perencana proyek.
- b. Volume tulangan yang dihasilkan metode berbasis BIM dalam penelitian ini cenderung lebih mendekati volume tulangan aktual yang dihasilkan pihak perencana proyek. Hal ini dikarenakan proses estimasi dalam metode berbasis BIM sepenuhnya mampu menyesuaikan standar khususnya *ACI 318M-14* yang menjadi acuan dalam penelitian ini.

#### **5.1.7. Tinjauan hasil penelitian terhadap hipotesis tiga**

Aspek waktu penyelesaian estimasi yang dimuat pada subbab 5.1.2 digunakan sebagai variabel untuk mengetahui apakah hipotesis tiga sesuai dengan fakta penelitian yang didapatkan atau tidak. Hipotesis tiga menyatakan bahwa metode estimasi berbasis BIM memiliki durasi pengerjaan yang lebih singkat dibanding metode estimasi konvensional. Berdasarkan tinjauan hasil penelitian terhadap hipotesis tiga, diketahui bahwa metode estimasi konvensional 24,58 % lebih cepat dibandingkan metode estimasi berbasis BIM. Hasil penelitian ini berlawanan dengan hipotesis tiga. Dengan demikian hipotesis tiga tidak dapat diterima karena tidak sesuai dengan fakta yang didapatkan dalam penelitian.

Sebagai catatan, metode estimasi konvensional dilakukan menggunakan gambar rencana dalam format *dwg/CAD* dan bukan dalam format cetak maupun pdf. Kondisi ini memungkinkan estimator untuk melakukan estimasi dengan lebih cepat karena visibilitas objek baja tulangan di dalam gambar rencana dapat



teridentifikasi dengan mudah. Pada sisi lain, BIM *modeler* membutuhkan waktu untuk memodelkan komponen tulangan sesuai gambar rencana. Semakin kompleks komponen tulangan maka durasi yang dibutuhkan akan semakin lama. Meskipun metode konvensional lebih cepat dari metode berbasis BIM di siklus awal estimasi, namun apabila terjadi revisi gambar maka metode konvensional justru membutuhkan durasi penyesuaian yang lebih lama. Hal ini karena proses melacak bagian yang mengalami revisi masih dilakukan secara manual dan bertahap, serta tidak adanya kemampuan *marking system* dan visualisasi 3D. Pada sisi lain, metode berbasis BIM (*Allplan Engineering 2021*) secara otomatis dapat melacak objek yang mengalami revisi sehingga pengguna dapat mengubah pemodelan objek dengan cepat. Lebih lanjut, tabel hasil estimasi secara otomatis akan diperbarui oleh program BIM dan volume material dapat segera diketahui.

#### **5.1.8. Tinjauan hasil penelitian terhadap hipotesis empat**

Aspek evaluasi metode estimasi yang dimuat pada subbab 5.1.1 digunakan sebagai variabel untuk mengetahui apakah hipotesis empat sesuai dengan fakta penelitian yang didapatkan atau tidak. Hipotesis empat menyatakan bahwa metode konvensional lebih transparan dibanding metode berbasis BIM karena alur estimasinya dapat dilacak atau ditelusuri. Berdasarkan hasil evaluasi pada Tabel 5.1 diketahui bahwa metode estimasi konvensional memenuhi lima dari sembilan fitur esensial. Pada sisi lain, metode estimasi berbasis BIM memenuhi tujuh dari sembilan fitur esensial. Salah satu fitur esensial yang mampu dipenuhi oleh metode konvensional adalah *quantity measurement* atau rumus estimasi yang dapat ditampilkan, sementara metode berbasis BIM tidak memiliki fitur ini. Berdasarkan hasil tinjauan ini, hipotesis empat dinyatakan dapat diterima karena sesuai dengan fakta penelitian.

Sebagai catatan, ada atau tidaknya fitur esensial ini akan berbeda untuk setiap program BIM. Penelitian ini hanya fokus pada program *Allplan Engineering 2021* sehingga hasil penelitian tidak dapat disamakan dengan program BIM lain di luar penelitian. Tidak menutup kemungkinan fitur esensial *quantity measurement* ini tersedia di program BIM lainnya.