

ANALISIS KEBUTUHAN TULANGAN UNTUK MUTU BETON 35 MPa PADA STUDI KASUS GEDUNG HUNIAN KOTA MAKASAR DENGAN TEKLA STRUKTURAL DESIGNER

Devonna Diva Kurniawan¹, Agustin Dita Lestari², Sugeng Riyanto³

Mahasiswa Program Studi D-IV Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang³

Email: monadevonna@gmail.com¹, agustinditalestari@polinema.ac.id², sugeng.riyanto@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara dengan tingkat aktivitas seismik tinggi sehingga perencanaan bangunan gedung harus memenuhi persyaratan ketahanan gempa sekaligus mempertimbangkan efisiensi biaya konstruksi. Perhitungan Quantity Take-Off (QTO) secara konvensional sering memerlukan waktu yang lama dan berpotensi menimbulkan kesalahan, terutama pada struktur beton bertulang dengan detailing daktilitas yang kompleks. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi hasil Quantity Take-Off dan menyusun estimasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) menggunakan perangkat lunak Tekla Structural Designer pada model gedung hunian enam lantai di Kota Makassar. Penelitian dilakukan dengan pendekatan kuantitatif berbasis simulasi numerik menggunakan metode elemen hingga. Model struktur dirancang sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dengan dimensi balok 65/35 cm, kolom 70/70 cm, mutu beton f_c 35 MPa, dan mutu tulangan BjTS 420B. Analisis struktur dilakukan menggunakan metode respons spektrum sesuai SNI 1726:2019 dan desain penulangan mengacu pada SNI 2847:2019. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh elemen struktur memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, dan stabilitas dengan status desain Pass. Ekstraksi Material Take-Off menghasilkan kebutuhan volume beton sebesar 1.006,60 m³, berat baja tulangan sebesar 168.949,15 kg, dan luas bekisting sebesar 7.107,60 m². Berdasarkan kuantitas tersebut, diperoleh estimasi total Rencana Anggaran Biaya pekerjaan struktur utama sebesar Rp 8.654.967.000,00. Komponen biaya terbesar berasal dari pekerjaan pembesian dengan proporsi sebesar 55% dari total biaya struktur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi analisis struktur, Quantity Take-Off, dan estimasi biaya dalam lingkungan Building Information Modeling mampu menghasilkan perhitungan kuantitas material yang konsisten dengan desain aktual serta mempercepat proses estimasi biaya tanpa mengabaikan persyaratan detailing struktur tahan gempa.

Kata kunci : Quantity Take-Off, Tekla Structural Designer, Rencana Anggaran Biaya, Struktur Tahan Gempa.

ABSTRACT

Indonesia is located in a seismically active region, requiring building structures to satisfy earthquake-resistant design criteria while maintaining cost efficiency. Conventional Quantity Take-Off (QTO) methods are often time-consuming and susceptible to human error, particularly in reinforced concrete structures with complex seismic detailing. This study aims to evaluate the Quantity Take-Off results and estimate the construction cost of a six-story residential building in Makassar using Tekla Structural Designer (TSD). A quantitative approach based on finite element simulation was employed. The structural model was designed as an Intermediate Moment Resisting Frame (IMRF) with concrete compressive strength of 35 MPa and BjTS 420B reinforcing steel. Structural analysis was performed using the Response Spectrum Method in accordance with SNI 1726:2019, while reinforcement design followed SNI 2847:2019. The analysis confirmed that all structural elements satisfied the required design criteria with a "Pass" status. The Material Take-Off process generated a total concrete volume of 1,006.60 m³, reinforcing steel weight of 168,949.15 kg, and formwork area of 7,107.60 m². Based on these quantities, the estimated total cost of the primary structural works was Rp 8,654,967,000.00. The results demonstrate that integrating structural analysis, Quantity Take-Off, and cost estimation within a Building Information Modeling environment can improve estimation efficiency while maintaining compliance with seismic design requirements.

Keywords: Quantity Take-Off, Tekla Structural Designer, Cost Estimation, Earthquake-Resistant Structure.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat aktivitas seismik tertinggi di dunia karena berada pada pertemuan beberapa lempeng tektonik aktif. Kondisi tersebut menyebabkan sebagian besar wilayah Indonesia memiliki potensi bahaya gempa yang signifikan sehingga perencanaan bangunan gedung harus memenuhi persyaratan ketahanan gempa yang ketat sesuai standar nasional. Kota Makassar sebagai lokasi studi termasuk wilayah yang memiliki karakteristik seismik yang mengharuskan struktur bangunan dirancang sesuai ketentuan SNI 1726:2019. Berdasarkan parameter bahaya gempa dan klasifikasi bangunan yang digunakan, struktur gedung hunian bertingkat di wilayah ini termasuk dalam Kategori Desain Seismik (KDS) C sehingga diperlukan sistem struktur yang mampu menjamin keamanan, kekakuan, dan daktilitas yang memadai selama umur layan bangunan [1].

Pemenuhan syarat kekakuan dan kekuatan struktur dalam merespons gaya lateral gempa harus dapat diseimbangkan dengan efisiensi secara ekonomi. Praktik desain konvensional yang terlalu konservatif demi mencapai target daktilitas sering kali berakibat pada penulangan yang berlebihan, yang pada akhirnya memicu pembengkakan biaya konstruksi secara tidak efisien [2]. Sedangkan Li et al. (2025) menekankan pentingnya efisiensi desain dan keandalan struktur dalam menghasilkan konfigurasi penulangan yang optimal [3]. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada aspek perilaku struktur, kapasitas elemen, dan evaluasi keandalan desain. Kajian yang secara khusus memanfaatkan model struktur yang telah tervalidasi aman untuk menghasilkan Quantity Take-Off dan estimasi biaya secara otomatis menggunakan Tekla Structural Designer masih relatif terbatas, khususnya pada bangunan gedung bertingkat yang dirancang berdasarkan ketentuan gempa Indonesia. Oleh karena itu, perencana dituntut untuk menghasilkan produk desain yang mematuhi standar keamanan, seperti SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019, namun tetap rasional dan terukur dari segi Rencana Anggaran Biaya (RAB).

Dalam upaya mengendalikan aspek biaya tersebut, tahapan prakonstruksi yang sangat krusial adalah perhitungan volume material atau *Quantity Take-Off* (QTO). Metode estimasi dan perhitungan manual yang konvensional sering kali memakan waktu yang sangat lama dan rentan terhadap kesalahan manusia (*human error*). Risiko kesalahan ini meningkat secara signifikan pada perhitungan detail elemen beton bertulang yang menerapkan prinsip desain daktil, seperti perhitungan volume sengkang yang dirapatkan pada area sendi plastis, serta kerumitan variasi luasan tulangan tekan dan tarik pada daerah tumpuan maupun lapangan balok.

Menjawab inefisiensi tersebut, penerapan teknologi *Building Information Modeling* (BIM) diakui mampu memberikan solusi komprehensif [4]. Perangkat lunak analisis struktur berbasis BIM, seperti Tekla Structural Designer (TSD), memiliki kapabilitas tingkat lanjut untuk mengintegrasikan analisis kekuatan struktur dengan proses ekstraksi volume material secara langsung dan otomatis. Integrasi cerdas ini menjamin bahwa kuantitas yang dihitung secara presisi merepresentasikan dimensi elemen dan *detailing* tulangan daktil yang telah teruji kapasitas keamanannya terhadap beban gempa.

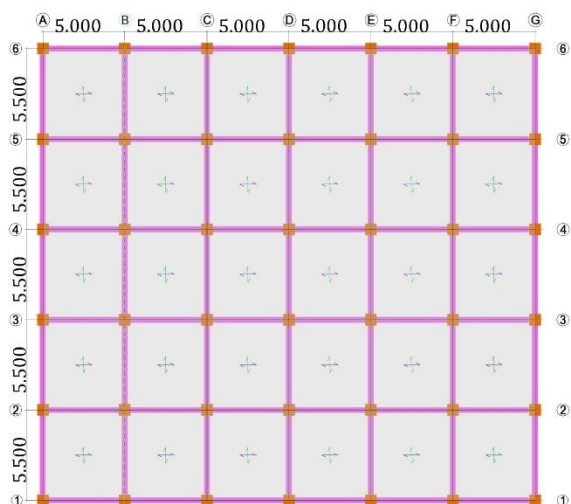
Penelitian dalam makalah ini disusun untuk mengevaluasi kapabilitas integrasi analisis struktur dan estimasi biaya yang ditawarkan oleh Tekla Structural Designer melalui pendekatan Building Information Modeling (BIM). Kajian difokuskan pada analisis kuantitas material dan penyusunan estimasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) berdasarkan sebuah model struktur gedung hunian enam lantai yang telah divalidasi memenuhi persyaratan keamanan struktural terhadap beban gravitasi dan gempa. Model yang digunakan merupakan konfigurasi struktur dengan rasio dimensi balok h/L sebesar $1/9$ dan mutu beton tinggi dengan kuat tekan f'_c 35 MPa yang sebelumnya terbukti mampu memenuhi kriteria kekakuan, kekuatan, dan simpangan antar lantai sesuai standar yang berlaku. Melalui model tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi serta mengidentifikasi pola hasil Quantity Take-Off berupa volume beton dan berat baja tulangan yang diekstraksi secara otomatis dari perangkat lunak, sekaligus menyusun estimasi RAB pekerjaan struktur utama yang meliputi balok dan kolom. Hasil penelitian diharapkan dapat menunjukkan efektivitas pemanfaatan Tekla Structural Designer dalam menghasilkan data kuantitas material dan estimasi biaya yang lebih cepat, konsisten, dan rasional dibandingkan pendekatan konvensional, serta memberikan referensi bagi praktisi maupun akademisi dalam mengoptimalkan penerapan BIM pada perencanaan struktur tahan gempa yang aman dan ekonomis.

2. METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis simulasi numerik dengan metode analisis elemen hingga (*Finite Element Method*) yang terintegrasi dengan analisis kuantitas material dan estimasi biaya konstruksi. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan evaluasi kuantitatif terhadap kebutuhan material struktur beton bertulang berdasarkan hasil desain otomatis yang dihasilkan oleh perangkat lunak Tekla Structural Designer (TSD). Penelitian difokuskan pada ekstraksi data Quantity Take-Off (QTO) dan penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dari model

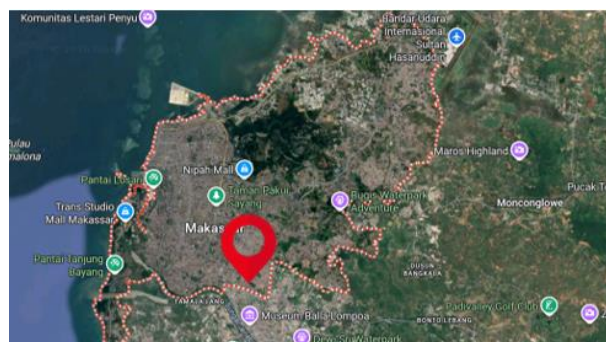
Bangunan memiliki dimensi denah $30 \text{ m} \times 27,5 \text{ m}$ dengan tinggi total bangunan $27,5 \text{ m}$. Sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dengan konfigurasi kolom simetris pada kedua arah utama bangunan. Material struktur yang digunakan terdiri atas beton dengan kuat tekan karakteristik sebesar 35 MPa dan baja tulangan BjTS 420B dengan kuat leleh nominal 420 MPa . Dimensi elemen primer yang dianalisis meliputi kolom berukuran $70 \text{ cm} \times 70 \text{ cm}$ dan balok utama berukuran $65 \text{ cm} \times 35 \text{ cm}$. Pemilihan spesifikasi tersebut didasarkan pada hasil analisis pendahuluan yang menunjukkan bahwa model telah memenuhi kriteria kekakuan, kekuatan, dan stabilitas yang dipersyaratkan untuk bangunan tahan gempa.



Sumber: Pemodelan pada Tekla Structural Designer

Parameter pembebanan yang diaplikasikan pada model mengacu secara ketat pada regulasi teknis. Beban mati dan beban hidup didistribusikan sesuai dengan standar pembebanan SNI 1727:2020 [5]. Beban mati tambahan untuk lantai 2 – 6 sebesar $2,267 \text{ kN/m}^2$ dan $0,777 \text{ kN/m}^2$ untuk beban mati tambahan atap, sedangkan untuk beban hidup sebesar $1,317 \text{ kN/m}^2$ dan $0,981 \text{ kN/m}^2$ untuk beban hidup atap. Beban lateral, struktur diasumsikan berada di Kota Makassar dengan kondisi tanah sedang (SD), sehingga beban gempa dianalisis menggunakan metode Analisis Spektrum Respons (*Response Spectrum Analysis*) yang disesuaikan

Sebelum dilakukan proses Quantity Take-Off, model struktur terlebih dahulu dianalisis dan didesain menggunakan Tekla Structural Designer untuk memastikan bahwa seluruh elemen memenuhi persyaratan keamanan struktur. Pemodelan dilakukan dengan mendefinisikan geometri bangunan, karakteristik material, kondisi tumpuan, serta pembebanan sesuai standar yang berlaku. Beban gravitasi yang terdiri atas beban mati dan beban hidup ditentukan berdasarkan ketentuan SNI 1727:2020 [5], sedangkan analisis gempa dilakukan menggunakan metode Respons Spektrum sesuai SNI 1726:2019 [6].



Sumber: Google Maps

Parameter gempa ditentukan berdasarkan lokasi Kota Makassar dengan mempertimbangkan kategori risiko bangunan, klasifikasi situs, serta parameter percepatan spektral desain yang diperoleh dari peta bahaya gempa Indonesia. Analisis respons spektrum digunakan untuk memperoleh gaya gempa rencana, distribusi gaya lateral, simpangan antar lantai (story drift), serta respons global struktur akibat pembebanan seismik. Hasil analisis kemudian dievaluasi terhadap batas simpangan yang diizinkan guna memastikan bahwa struktur memenuhi persyaratan kinerja layan dan stabilitas.

Tahap selanjutnya adalah proses desain elemen struktur beton bertulang berdasarkan ketentuan SNI 2847:2019 [7]. Proses desain mencakup penentuan kebutuhan tulangan lentur, tulangan geser, dan detailing elemen struktur sesuai persyaratan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). Verifikasi dilakukan melalui pemeriksaan status desain (design status) dan nilai utilization ratio pada setiap elemen struktur. Model hanya dinyatakan layak untuk tahap Quantity Take-Off apabila seluruh elemen memiliki status “Pass”, nilai utilization ratio tidak melebihi batas yang ditetapkan perangkat lunak, serta memenuhi persyaratan

kontrol simpangan antar lantai. Dengan demikian, data kuantitas material yang dihasilkan berasal dari model struktur yang telah terbukti aman secara struktural.

Metode Ekstraksi Data QTO dan Perhitungan RAB

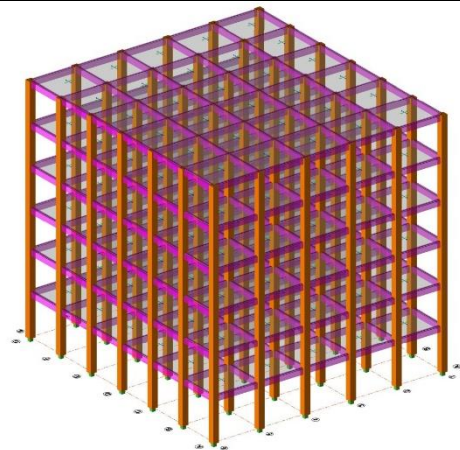
Tahap akhir dari metodologi ini adalah ekstraksi data *Quantity Take-Off* (QTO) dan kalkulasi biaya. Pengambilan data dilakukan secara langsung dengan memanfaatkan fitur *Material Listing* yang terintegrasi di dalam perangkat lunak Tekla Structural Designer. Algoritma perangkat lunak memproses *output* dari desain penulangan menjadi data kuantitatif berupa akumulasi volume beton (m^3) dan berat baja tulangan (kg). Langkah selanjutnya adalah penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan struktur utama (balok dan kolom). Estimasi biaya ini diperoleh dengan cara mengalikan volume material hasil ekstraksi BIM tersebut dengan Harga Satuan Pekerjaan (HSP) lokal yang berlaku, di mana komponen HSP telah memperhitungkan secara detail indeks harga material dasar, upah tenaga kerja, penggunaan alat, dan kebutuhan luasan bekisting.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menguraikan tahapan operasional mulai dari pemodelan fisik struktur 3D hingga ekstraksi data volume material (*Quantity Take-Off*) dan kalkulasi Rencana Anggaran Biaya (RAB). Seluruh proses dieksekusi secara terintegrasi menggunakan perangkat lunak Tekla Structural Designer (TSD).

Pemodelan dan Validasi Struktur

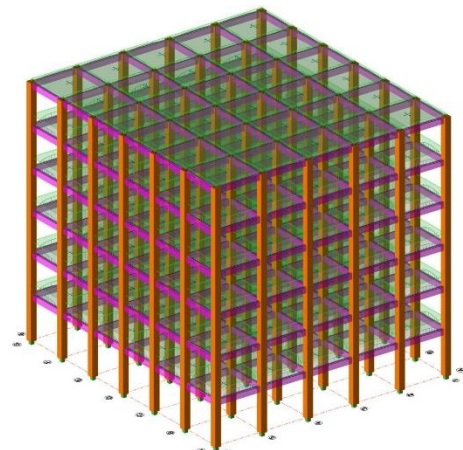
Proses pemodelan diawali dengan melakukan input grid struktural bangunan dengan dimensi memanjang 30 m dan melintang 27,5 m. Setelah grid terbentuk, elemen primer penyusun portal diplot ke dalam sistem. Penekanan utama pada tahap ini adalah penetapan spesifikasi material yang dilakukan secara terpusat pada *software*. *Grade* beton didefinisikan secara konstan pada $f'c$ 35 MPa, sementara mutu baja tulangan diatur menggunakan spesifikasi BjTS 420B untuk seluruh elemen struktural, baik balok maupun kolom.



Gambar 3. Hasil Pemodelan 3D TSD

Sumber: Hasil Pemodelan pada Tekla Structural Designer

Tahap berikutnya adalah pendefinisian pembebanan yang meliputi beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Beban gravitasi diaplikasikan pada pelat lantai sesuai luasan tributari masing-masing elemen struktur. Sementara itu, beban gempa dimodelkan menggunakan fitur *Seismic Wizard* dengan metode respons spektrum berdasarkan parameter kegempaan Kota Makassar. Bangunan dikategorikan sebagai Kategori Risiko II dengan kelas situs D dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). Seluruh parameter seismik yang digunakan menghasilkan Kategori Desain Seismik (KDS) C sehingga struktur wajib memenuhi ketentuan detailing daktilitas sesuai SNI 2847:2019.

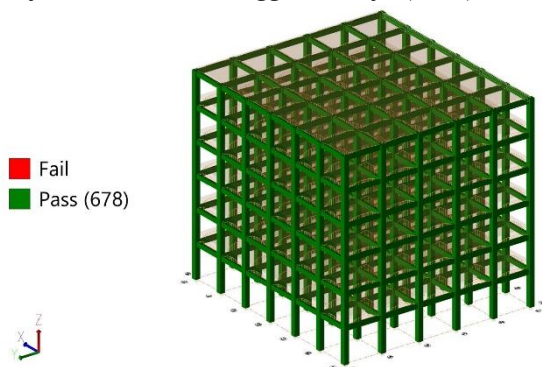


Gambar 4. Pembebanan Pada Pemodelan

Sumber: Hasil Pemodelan pada Tekla Structural Designer

Setelah seluruh parameter geometri, material, dan pembebanan selesai didefinisikan, dilakukan proses *Analyse All* dan *Design All* pada Tekla Structural Designer untuk mengevaluasi respons struktur terhadap kombinasi beban yang telah ditetapkan. Tahap ini mengubah model tiga dimensi menjadi model analitis yang mampu menghasilkan

kebutuhan desain aktual setiap elemen struktur. Berdasarkan hasil analisis, perangkat lunak secara otomatis menentukan konfigurasi tulangan balok dan kolom sesuai ketentuan daktilitas Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) sehingga kebutuhan material yang diperoleh merepresentasikan kondisi desain yang sesungguhnya. Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa seluruh elemen memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, dan stabilitas dengan status desain *Pass*. Oleh karena itu, model tersebut dinyatakan layak digunakan sebagai dasar ekstraksi Quantity Take-Off dan penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB).



Gambar 5. Hasil Design Otomatis pada TSD

Sumber: Hasil Pemodelan pada Tekla Structural Designer

Analisis Kebutuhan Tulangan

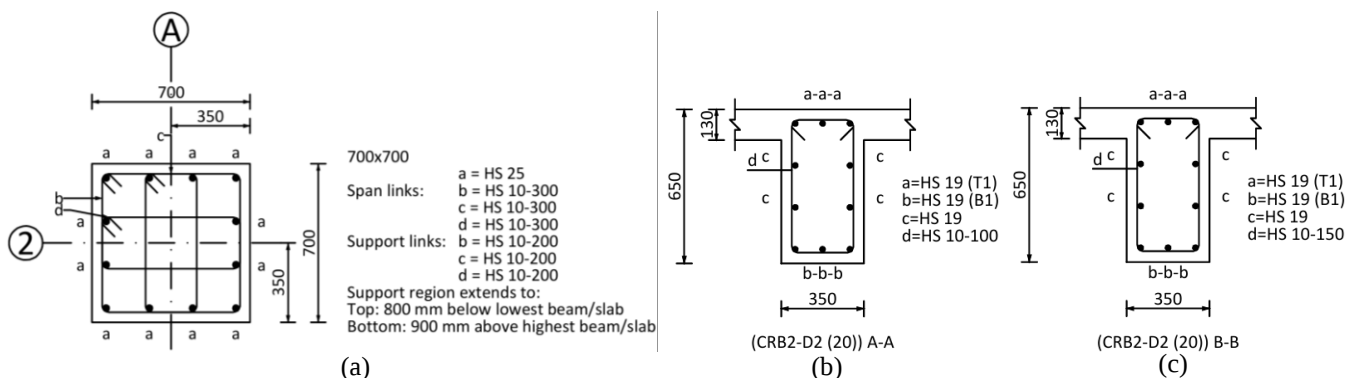
Desain penulangan dilakukan secara otomatis oleh *software Tekla Structural Designer* dengan tetap berpedoman pada SNI 2847:2019, khususnya terkait daktilitas elemen lentur pada Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). Untuk menahan momen terfaktor yang terjadi, luasan tulangan longitudinal (lentur) yang dibutuhkan pada daerah tumpuan adalah sebesar 671,28 mm², yang direpresentasikan dengan penggunaan tulangan 3D19. Pada daerah lapangan, luas tulangan tarik yang dibutuhkan adalah 688,92 mm² atau setara dengan 3D19. Pengecekan terhadap rasio tulangan tekan dan tarik pada tumpuan juga menunjukkan nilai 0,79 untuk tulangan tumpuan dan 0,34 pada tulangan lapangan, yang memenuhi kriteria desain daktil (R < 1).

Sementara itu, untuk mengantisipasi kegagalan geser yang bersifat getas, analisis menunjukkan kebutuhan tulangan transversal (seengkang) sebesar 1580 mm²/m pada daerah sendi plastis (tumpuan). Hal ini diakomodasi dengan pemasangan seengkang berdiameter D10 dengan jarak spasi 150 mm pada area lapangan dan 100 mm pada area tumpuan.

Tabel 1. Hasil Desain Tulangan Otomatis pada TSD

Elemen Struktur	Dimensi Penampang (mm)			Rasio Desain Maksimum	Tulangan Utama Digunakan		Side Bar / Tulangan Samping	Tulangan Sengkang Digunakan	
	b	x	h		Atas	Bawah		Tumpuan	Lapangan
Kolom	700	x	700	0.240	12D25		-	6D10-300	6D10-200
Balok Arah X	350	x	650	0.788	3D19	3D19	2D19	D10-100	D10-150
Balok Arah Y	350	x	650	0.665	4D19	4D19	2D19	D10-100	D10-100

Sumber: Hasil Pemodelan



Gambar 6. (a) Detail Penulangan Kolom; (b) Detail Penulangan Balok Arah X Area Tumpuan; (c) Detail Penulangan Balok Arah X Area Lapangan

Sumber: Hasil Pemodelan

Analisis Kuantitas Material (*Quantity Take-Off*)

Setelah model struktur dinyatakan memenuhi seluruh persyaratan desain, dilakukan ekstraksi data Material Take-

Off (MTO) menggunakan fitur *Material List* pada Tekla Structural Designer. Fitur ini memungkinkan perhitungan volume beton, berat baja tulangan, serta kebutuhan bekisting dilakukan secara otomatis berdasarkan geometri dan detailing tulangan hasil desain struktur.

Berdasarkan hasil *take-off* untuk konfigurasi pemodelan spesifik ini, total volume beton mutu tinggi ($f'c$ 35 MPa) yang dibutuhkan adalah sebesar 1006,6 m³ dengan rincian perlantainya sebagai berikut

Tabel 2. Hasil Quantity Take-Off Pengecoran Balok dan Kolom

Lantai	Volume (m ³)	Harga Satuan
Lantai 1	176.337	Rp 1,117,557
Lantai 2	166.047	Rp 1,117,557
Lantai 3	166.047	Rp 1,117,557
Lantai 4	166.047	Rp 1,117,557
Lantai 5	166.047	Rp 1,117,557
Lantai 6	166.047	Rp 1,117,557

Sumber: Output Material List TSD

Output *Material List* juga merekapitulasi total kebutuhan material baja tulangan secara otomatis, yang tercatat mencapai total berat sebesar 168.949,15 kg dengan rincian sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil Quantity Take-Off Pembesian Kolom dan Balok

Elemen	Volume (kg)	Harga Satuan
Besi D10 Kolom	18974.05	Rp 17,174
Besi D25 Kolom	66458.70	Rp 27,907
Besi D10 Balok	22648.10	Rp 17,174
Besi D19 Balok	60868.30	Rp 27,907

Sumber: Output Material List TSD

Berbeda dengan volume beton yang dipengaruhi oleh dimensi geometrik elemen, kebutuhan baja tulangan dipengaruhi secara langsung oleh hasil analisis gaya dalam dan detailing daktilitas. Berat tulangan yang diperoleh dari TSD bukan merupakan estimasi berdasarkan rasio tulangan rata-rata, melainkan hasil akumulasi seluruh kebutuhan tulangan longitudinal dan transversal pada setiap elemen. Perhitungan tersebut telah mencakup tulangan lentur pada daerah tumpuan dan lapangan, tulangan tekan, serta sengkang yang dirapatkan pada daerah sendi plastis sesuai ketentuan SRPMM. Oleh karena itu, hasil Quantity Take-Off yang diperoleh memiliki tingkat representasi yang lebih tinggi dibandingkan metode estimasi konvensional.

Selain volume beton dan berat tulangan, perangkat lunak juga menghasilkan estimasi luas bekisting yang diperlukan pada

pekerjaan balok dan kolom seluas 7107,6 m² dengan rincian volume bekisting balok dan kolom sebagai berikut.

Tabel 4. Hasil Quantity Take-Off Bekisting Kolom

Lantai	Volume (m ²)	Harga Satuan
Lantai 1	588	Rp 326,529
Lantai 2	529.2	Rp 326,529
Lantai 3	529.2	Rp 326,529
Lantai 4	529.2	Rp 326,529
Lantai 5	529.2	Rp 326,529
Lantai 6	529.2	Rp 326,529

Sumber: Output Material List TSD

Tabel 5. Hasil Quantity Take-Off Bekisting Balok

Lantai	Volume (m ²)	Harga Satuan
Lantai 1	645.6	Rp 330,096
Lantai 2	645.6	Rp 330,096
Lantai 3	645.6	Rp 330,096
Lantai 4	645.6	Rp 330,096
Lantai 5	645.6	Rp 330,096
Lantai 6	645.6	Rp 330,096

Sumber: Output Material List TSD

Data ini menjadi komponen penting dalam penyusunan RAB karena pekerjaan bekisting memberikan kontribusi biaya yang signifikan pada pekerjaan struktur beton bertulang.

Analisis Rencana Anggaran Biaya

Tahap selanjutnya adalah penyusunan Rencana Anggaran Biaya berdasarkan hasil Quantity Take-Off yang diperoleh dari Tekla Structural Designer. Perhitungan dilakukan dengan mengalikan volume pekerjaan terhadap Harga Satuan Pekerjaan (HSP) yang berlaku di Kota Makassar. Harga satuan yang digunakan telah mencakup biaya material, tenaga kerja, peralatan, dan pekerjaan bekisting sehingga dapat merepresentasikan biaya pelaksanaan konstruksi secara lebih komprehensif.

Perhitungan biaya dilakukan secara terpisah untuk pekerjaan beton, pembesian, dan bekisting pada elemen balok maupun kolom. Volume beton digunakan sebagai dasar perhitungan biaya pengecoran, sedangkan berat tulangan digunakan untuk menghitung biaya pekerjaan pembesian. Seluruh komponen biaya kemudian dijumlahkan untuk memperoleh total biaya pekerjaan struktur utama.

Secara keseluruhan, setelah mengkalkulasikan seluruh variabel biaya tersebut, estimasi total Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk pekerjaan struktur utama pada model ini mencapai Rp 8,654,967,000.00. (Terbilang Delapan Miliar Lima Ratus Sembilan Puluh Lima Juta Lima Ratus Sembilan

Puluh Ribu Rupiah) dengan rincian biaya tiap lantainya sebagai berikut.

Tabel 6. Rekapitulasi Harga Pekerjaan

NO.	URAIAN PEKERJAAN	TOTAL HARGA
A	Biaya Pekerjaan Struktur	
1	Pekerjaan Pengecoran	Rp 1,124,901,358.13
2	Pekerjaan Pembesian	Rp 4,268,094,695.79
3	Pekerjaan Bekisting	Rp 2,334,652,657.66
Jumlah		Rp 7,727,648,711.58
Pajak PPN 12%		Rp 927,317,845.39
Total Biaya		Rp 8,654,966,556.97
Dibulatkan		Rp 8,654,967,000.00

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan, komponen biaya terbesar berasal dari pekerjaan pembesian. Kondisi ini menunjukkan bahwa penerapan konsep daktilitas pada SRPMM memberikan konsekuensi terhadap peningkatan kebutuhan tulangan, khususnya pada daerah tumpuan balok dan sambungan balok-kolom yang memerlukan detailing khusus untuk menjamin kapasitas disipasi energi saat terjadi gempa. Sementara itu, biaya pekerjaan beton meskipun dipengaruhi oleh penggunaan mutu beton 35 MPa, masih memiliki proporsi yang lebih rendah dibandingkan pekerjaan pembesian. Temuan ini menunjukkan bahwa efisiensi desain struktur tahan gempa tidak hanya ditentukan oleh optimasi dimensi elemen, tetapi juga oleh pengendalian kebutuhan tulangan yang merupakan komponen biaya dominan pada struktur beton bertulang.



Gambar 7. Grafik Proporsi Biaya Pekerjaan Struktur

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil ini sekaligus menunjukkan bahwa integrasi antara analisis struktur dan Quantity Take-Off dalam lingkungan BIM mampu mempercepat proses estimasi biaya. Data volume pekerjaan yang diperoleh langsung dari model mengurangi risiko kesalahan perhitungan manual dan

menghasilkan estimasi biaya yang lebih konsisten dengan kondisi desain aktual.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis Quantity Take-Off dan estimasi Rencana Anggaran Biaya menggunakan Tekla Structural Designer pada model gedung hunian enam lantai di Kota Makassar, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil ekstraksi Quantity Take-Off dari model struktur yang telah memenuhi persyaratan desain menghasilkan kebutuhan material utama berupa volume beton sebesar 1.006,60 m³, berat baja tulangan sebesar 168.949,15 kg, dan luas bekisting sebesar 7.107,60 m². Kuantitas material tersebut diperoleh secara otomatis berdasarkan geometri elemen dan detailing tulangan hasil desain struktur yang telah memenuhi ketentuan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).
2. Berdasarkan hasil Quantity Take-Off dan Harga Satuan Pekerjaan yang berlaku, diperoleh estimasi total Rencana Anggaran Biaya pekerjaan struktur utama sebesar Rp 8.654.967.000,00. Komponen biaya terbesar berasal dari pekerjaan pembesian dengan kontribusi sekitar 55% terhadap total biaya struktur, diikuti pekerjaan bekisting sebesar 30% dan pekerjaan pengecoran sebesar 15%.
3. Penggunaan Tekla Structural Designer berbasis Building Information Modeling terbukti mampu mengintegrasikan proses analisis struktur, desain penulangan, ekstraksi kuantitas material, dan penyusunan estimasi biaya dalam satu lingkungan kerja yang terpadu. Pendekatan ini tidak hanya mempercepat proses perhitungan Quantity Take-Off dan RAB dibandingkan metode konvensional, tetapi juga menghasilkan data yang konsisten dengan kebutuhan detailing struktur tahan gempa sehingga dapat meningkatkan akurasi dan keandalan proses perencanaan konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. S. G. Nasional, "Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2021," Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Bandung, 2021.
- [2] G. Soekardjo *et al.*, "The application of high-grade steel to the road barrier design for the construction project cost efficiency," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1195, no. 1, 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1195/1/012035.
- [3] H. Li, J. Yao, and C. Li, "Reliability analysis of strong column-weak beam design for reinforced concrete frames based on design value method," *Struct. Concr.*, vol. 26, pp. 4834–4849, 2025, doi: 10.1002/suco.70058.
- [4] M. Sherif, K. Nassar, O. Hosny, S. Safar, and I. Abotaleb, "Automated BIM-based structural design

- and cost optimization model for reinforced concrete buildings,” *Sci. Rep.*, vol. 12, no. 1, 2022, doi: 10.1038/s41598-022-26146-6.
- [5] BSN, “SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain,” *Jakarta*, no. 8, pp. 1–336, 2020.
- [6] B. S. Nasional, “SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung,” BSN, Jakarta, 2019.
- [7] B. S. Nasional, “SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung,” BSN, Jakarta, 2019.