

Implementasi Building Information Modeling (BIM) Pada Proyek Perumahan

Indra Ramdani^{a,1,*}, Paikun^{a,2}, Ardin Rozandi^{a,3}, Dana Budiman^{a,4}, Kornienko Elena Vladimirovna^{b,5}

^a Universitas Nusa Putra, Jl. Raya Cibatu Cisaat No.21, Sukabumi dan 43152

^b Rostov State Transport University, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya Sq., 2, Rostov-on-Don, 344038

¹ indra.ramdani_ts18@nusaputra.ac.id; ² paikun@nusaputra.ac.id; ³ ardin.rozandi@nusaputra.ac.id; ⁴ dana.budiman@nusaputra.ac.id; ⁵ kornienkolena.rostov@rambler.ru;

* Corresponding Author : indra.ramdani_ts18@nusaputra.ac.id

Diterima 1 May 2022; diperbaiki 10 May 2022; disetujui 15 May 2022

ABSTRACT

Perkembangan industri konstruksi berubah dengan sangat cepat. Hal ini dibuktikan dengan banyaknya proyek konstruksi yang dibangun di Indonesia, seperti gedung, jalan, jembatan, dll. Akan tetapi, keterlambatan proses pembangunan masih menjadi kendala yang harus diselesaikan, diantara keterlambatan pembangunan tersebut salah satunya adalah terlambatnya proses desain, bahkan menurut penelitian sebelumnya keterlambatan berdasarkan proses shop drawing sebesar 22 %. Oleh karenanya, bagaimana cara mengatasi keterlambatan akibat proses shop drawing. Bisakah proses pembuatan shop drawing lebih efisien. Untuk meminimalisir keterlambatan yang diakibatkan oleh desain shop drawing, penulis akan melakukan penelitian untuk membuat desain dengan menggunakan aplikasi gambar. Dengan cara integrasi Building Information Modelling (BIM) beberapa aplikasi gambar yang kemudian akan digabungkan dengan data estimasi dan data penjadwalan proyek. Aplikasi-aplikasi tersebut banyak kita temukan di internet akan tetapi aplikasi integrasi yang akan penulis gunakan diantaranya adalah Vico Office untuk analisa 3D, 4D, dan 5D, Skethup untuk desain arsitektur, Autodesk Revit untuk desain elektrikal, Tekla Structure untuk desain struktur dan SAP2000 untuk analisa stuktur. Dapat disimpulkan dari penelitian ini bahwa dapat ditemukan efisiensi waktu dalam pembuatan desain proyek dan dapat meminimalisir keterlambatan yang diakibatkan oleh desain dan perencanaan sebesar 30% yang dibandingkan dengan hasil desain dan perencanaan yang tidak menggunakan konsep integrasi Building Information Modelling (BIM).

ABSTRACT

The development of the construction industry is changing very quickly. This is evidenced by the many construction projects being built in Indonesia, such as buildings, roads, bridges, etc. However, the delay in the development process is still an obstacle that must be resolved, one of which is the delay in the design process, even according to previous research, the delay based on the shop drawing process is 22%. Therefore, how to overcome delays due to the shop drawing process. Can the process of making shop drawings be more efficient? To minimize delays caused by the shop drawing design, the author will conduct research to create designs using drawing applications. By integrating Building Information Modeling (BIM) several image applications which will then be combined with estimation data and project scheduling data. Many of these applications are found on the internet, but the integration applications that I will use include Vico Office for 3D, 4D, and 5D analysis, Skethup for architectural design, Autodesk Revit for electrical design, Tekla Structure for structural design and SAP 2000 for structure analysis. It can be concluded from this study that time efficiency can be found in making project designs and can minimize delays caused by design and planning by 30% compared to the results of design and planning that do not use the concept of integration of Building Information Modeling (BIM).



KATA KUNCI

Building Information Modeling (BIM),
Proyek,
Integrasi

KEY WORD

Building Information Modeling (BIM),
Project,
Integration



This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license

1 Pendahuluan

Industri konstruksi di Indonesia merupakan salah satu industri yang telah mengalami kemajuan yang pesat terbukti dengan semakin banyaknya pembangunan di Indonesia. Dengan semakin banyaknya pembangunan fisik (infrastruktur) mendorong berbagai pelaksana jasa konstruksi untuk meningkatkan mutu proyek secara lebih efektif dan efisien [1]. Dalam keadaan persaingan dalam dunia jasa konstruksi sekarang ini, para pelaku konstruksi dituntut untuk menyelesaikan proyek konstruksi dalam waktu yang singkat, kualitas yang baik, serta biaya yang seminimal mungkin [2]. Untuk mewujudkan itu semua, diperlukan suatu konsep yang baik yang dapat mencakup semua bagian konstruksi mulai dari perencanaan, rancang-bangun, pengadaan dan pelaksanaan di lapangan. BIM merupakan suatu metode yang dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi pelaksanaan pekerjaan konstruksi [3].

Dalam proyek sering sekali terjadi permasalahan, baik itu perubahan desain maupun perubahan terhadap perencanaan logistik. Permasalahan proyek konstruksi yang timbul dapat meningkatkan biaya dan membutuhkan waktu yang cukup lama, sumber daya yang digunakan tidak efisien hingga dapat mengganggu aktivitas proses konstruksi selanjutnya [4]. Permasalahan pada proyek konstruksi dapat diminimalisir dengan adanya informasi teknologi terutama desain pada awal konsep konstruksi. Sumber daya manusia adalah merupakan aspek yang paling utama dalam kesuksesan sebuah proyek, karena untuk mencapai *triple constrain* (biaya, mutu, dan waktu) terkait pada faktor produktivitas, jumlah, dan kualitas tenaga kerja serta ketersediaan material sebelum proyek dilaksanakan [5]. Pesatnya perkembangan pembangunan di Indonesia menjadikan jalan bagi banyak pengusaha untuk terjun di bidang konstruksi, akan tetapi kenyatannya dalam pengerjaan proyek konstruksi banyak sekali kendala yang harus dihadapi diantaranya adalah keterlambatan pekerjaan, yang menyebabkan durasi pelaksanaan pekerjaan menjadi terlambat yang mengakibatkan bertambahnya biaya produksi dan kerugian baik moril maupun materil lainnya, banyak cara dan konsep yang sudah dilakukan untuk meminimisir keterlambatan penyelesaian pekerjaan untuk menghindari kerugian yang akan ditimbulkan [6]. Banyak kontraktor mengalami keterlambatan penyelesaian pekerjaan yang sebelumnya tidak mereka prediksi, yang mana keterlambatan tersebut dapat berasal dari *owner* atau kontaktor, dan apabila keterlambatan penyelesaian pekerjaan diakibatkan dari *owner* maka kerugian ditanggung oleh pihak *owner*, dan begitu pula sebaliknya. Dan untuk meminimalisir hal tersebut maka perlu sebuah konsep untuk menghindari kerugian tersebut [7].

Karena banyaknya manfaat dari penggunaan aplikasi-aplikasi *Building Information Modeling* (BIM) dalam sebuah proyek. oleh karenanya, di Indonesia pun tidak mau ketinggalan untuk mengaplikasikan konsep tersebut ke dalam proyek-proyek yang sedang berlangsung baik itu proyek pemerintah maupun proyek swasta [8]. Salah satu perusahaan yang sedang menggunakan konsep *Building Information modelling* (BIM) adalah PT. Bumi Cipta Harapan Persada yang merupakan *developer* perumahan yang berada di Kota Sukabumi. Dalam proyek perancangan perumahan *Golden Town House* di daerah Kota Sukabumi yang merupakan perumahan 2 lantai yang mengusung arsitektur Eropa Timur dengan menggunakan struktur beton bertulang telah menggunakan konsep *Building Information Modeling* dalam perencanaan serta perancangannya.

Quantity Take-Off (QTO) diaplikasikan hampir di semua fase proyek konstruksi, oleh karena itu pekerjaan QTO harus dilakukan secara akurat dan konsisten [9]. Biasanya pekerjaan QTO di proyek ini dilakukan secara manual, yaitu dengan cara menghitung dimensi dari elemen-elemen bangunan seperti luas, volume, panjang dan lain-lain. QTO yang dikerjakan secara manual seringkali menimbulkan kesalahan-kesalahan seperti kesalahan pembacaan dimensi, penginputan data dan lain-lain. Kesalahan pada waktu menghitung bisa saja terjadi seperti: kesalahan aritmatik, pembagian, angka dibelakang koma, lupa memasukan jenis material, dan lain sebagainya [10].

Selain itu, pekerjaan QTO yang dikerjakan secara *manual* juga sangat menyita waktu. Proses QTO bisa memakan waktu sekitar 50-80% dari seluruh waktu yang digunakan untuk menghitung biaya pelaksanaan proyek [11]. Oleh karena itu dibutuhkan teknologi yang dapat melakukan pekerjaan QTO secara akurat dan efisien, untuk mengatasi kesulitan dalam hal tersebut sehingga penelitian ini sangat penting untuk dilakukan.

Berdasarkan permasalahan yang sudah diuraikan diatas, maka penelitian ini penting bertujuan untuk mengetahui perbedaan *quantity/volume* menggunakan metode konvensional dan metode BIM. Hasil penelitian *quantity/volume* ini diharapkan dapat berkontribusi bagi masyarakat atau tim perencana proyek dalam menentukan *quantity/volume* untuk kebutuhan rencana anggaran biaya (RAB), sehingga

dapat menggunakan metode yang tepat agar volume dapat ditentukan secara efisien berdasarkan mutu, waktu, dan biaya.

QTO secara akurat dan efisien, untuk mengatasi kesulitan dalam hal tersebut sehingga penelitian ini sangat penting untuk dilakukan.

Berdasarkan permasalahan yang sudah diuraikan diatas, maka penelitian ini penting bertujuan untuk mengetahui perbedaan *quantity/volume* menggunakan metode konvensional dan metode BIM. Hasil penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi bagi masyarakat atau tim perencana proyek dalam menentukan untuk kebutuhan rencana anggaran biaya (RAB), sehingga dapat menggunakan metode yang tepat agar volume dapat ditentukan secara efisien berdasarkan mutu, waktu, dan biaya.

2 Metode

Untuk mendapatkan hasil QTO akan digunakan *software Vico Office*, yang mana *software* ini dibuat dan dikembangkan sampai saat ini oleh perusahaan Amerika yaitu *Trimble*, *software* ini selain dapat menghasilkan QTO dari model, juga dapat mengintegrasikannya ke dalam estimasi (5D), dan penjadwalan proyek (4D). Karena di dalam aktivitas pembuatan penjadwalan proyek dapat ditemukan kendala-kendala tergantung dari kerumitan proyek tersebut, karena semakin kompleks proyek tersebut maka kendala yang akan dihadapi akan lebih banyak. Maka dari itu mutlak diperlukan sebuah *software* untuk membantu mengelola proyek tersebut untuk meningkatkan efisiensi dan efektifitas. Dengan berlakunya globalisasi di berbagai bidang termasuk dunia konstruksi sehingga pemakaian aplikasi program komputer (*software*) dalam pelaksanaan proyek konstruksi tidak dapat dihindari. Selain itu, untuk proyek-proyek berskala besar dengan aktivitas yang banyak sangat tidak mungkin dikendalikan secara manual untuk mendapatkan hasil yang optimum [12].

Pembuatan desain dan perencanaan perumahan ini menggunakan data primer yang berupa gambar denah struktur, arsitektur, dan MEP dan rencana anggaran biaya (RAB). Dari data primer tersebut maka dilakukanlah perancangan desain struktur dan analisa harga satuan yang diintegrasikan dengan konsep *Building Information Modelling* (BIM). Selain data primer, penulis juga menggunakan data sekunder berupa literatur dari berbagai referensi seperti jurnal, buku, makalah, dlsb. Langkah-langkah untuk melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

2.1 Observasi

Lokasi penelitian berada di perumahan *Golden Town House* yang beralamat di Selakaso, Jl. Pembangunan No.1, Babakan, Kec. Cibeureum, Kota Sukabumi, Jawa Barat 43142. Dalam pelaksanaan penelitian di perumahan *Golden Town House*, penulis mengadakan observasi guna inventarisasi keadaan lokasi. Mahasiswa mengamati secara langsung situasi dan kondisi perumahan serta melakukan dialog dengan pihak-pihak terkait di perumahan tersebut. Kegiatan observasi lapangan dimaksudkan agar penulis mempunyai gambaran yang jelas mengenai situasi dan kondisi baik menyangkut keadaan fisik maupun non fisik, norma dan kegiatan yang sedang berlangsung di perumahan tersebut. Hasil dari kegiatan observasi ini selanjutnya dijadikan sebagai pedoman untuk melaksanakan kegiatan penelitian. Dengan diadakan kegiatan observasi sebelum dilakukan penelitian agar penulis dapat lebih memahami masalah-masalah yang terjadi di lapangan serta dapat lebih memahami kondisi real di lapangan untuk menjadikan gambaran dalam melakukan pengolahan data.

2.2 Mengumpulkan Bahan Penelitian dan Pemodelan

Bahan penelitian yang didapatkan dari perusahaan adalah berupa gambar denah dan analisa harga satuan (AHS), setelah kita mendapatkan gambar denah arsitektur, struktur, dan MEP dalam bentuk PDF dari perusahaan selanjutnya untuk mempermudah proses integrasi model, gambar tersebut penulis buat dalam bentuk gambar teknik dengan menggunakan aplikasi *Autocad 2018*.

2.2.1 Memodelkan Gambar Struktur

Langkah selanjutnya yang penulis lakukan adalah memodelkan gambar struktur dengan menggunakan aplikasi *Tekla Structure 2021* dengan menggunakan referensi dari file *Autocad 2018* untuk mempermudah pemodelan.

2.2.2 Memodelkan Gambar Arsitektur

Untuk memodelkan gambar arsitek penulis menggunakan aplikasi *Sketchup 2018* dengan referensi koordinat dari file model struktur agar model struktur dan arsitektur terhubung dengan koordinat yang sama.

2.2.3 Memodelkan Gambar MEP

Untuk memodelkan gambar MEP penulis menggunakan aplikasi *Autodesk Revit* dengan referensi koordinat dari file model arsitektur agar model struktur dan arsitektur dan MEP terhubung dengan koordinat yang sama.

2.3 Penggabungan dan Analisa Model

Setelah gambar arsitektur dan gambar struktur kita modelkan dengan menggunakan aplikasi *Sketchup* dan *Tekla Structure*, maka langkah selanjutnya adalah menggabungkan dan menganalisa model tersebut dengan menggunakan aplikasi *Vico Office R6.8 MRI Hotfix*.

2.4 Analisa Struktur

Setelah model-model tersebut digabungkan dan sudah sesuai dengan harapan, maka langkah selanjutnya yaitu dilakukan perhitungan analisa struktur dengan menggunakan aplikasi *SAP 2000*.

2.5 Analisa Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Kemudian langkah selanjutnya adalah analisa RAB sampai menjadi RAB, yang mana penulis mendapatkan Analisa Harga Satuan (AHS) dari perusahaan dalam bentuk *file Microsoft Excel*, kemudian file tersebut di Import ke dalam dalam aplikasi *Vico Office* untuk dianalisa lebih lanjut dengan *volume* yang didapatkan dari model yang sudah di *import* sebelumnya. Untuk menentukan *volume* dalam rangka pembuatan rencana anggaran biaya (RAB) digunakan model sebagai *reference*, sehingga kesalahan dapat diminimalisir sekecil mungkin.

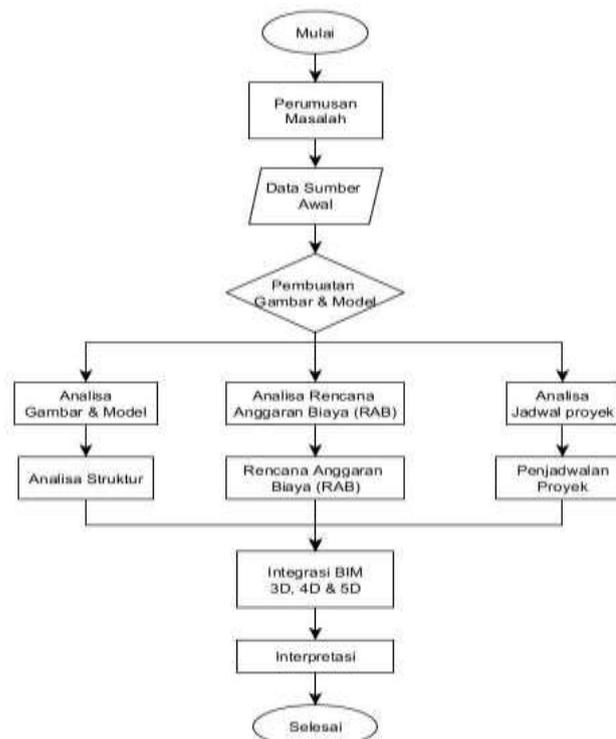
2.6 Analisa Jadwal Proyek

Kemudian langkah selanjutnya adalah membuat analisa jadwal proyek. *Vico Office* memiliki fasilitas untuk membuat analisa jadwal proyek seperti aplikasi *Microsoft Project* dan *Oracle Primavera*, bedanya di aplikasi *Vico Office* kita dapat langsung terhubung dengan model.

2.7 Integrasi BIM 3D, 4D, dan 5D

Setelah seluruh komponen yang diperlukan untuk analisa 3D, 4D, dan 5D sudah berada di dalam aplikasi *Vico Office*, kemudian secara otomatis akan terintegrasi dalam bentuk simulasi model yang memperlihatkan urutan model beserta waktu pelaksanaan pekerjaan.

Adapun metode dan tahapan penelitian ini secara ringkas dapat disampaikan dalam bentuk gambar alur penelitian pada [Gambar 1](#)



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

3 Hasil dan Pembahasan

Teknologi yang menjadi tren didunia AEC saat ini adalah *Building Information Modeling* (BIM) [13]. Salah satu pekerjaan yang dapat dikerjakan dengan BIM adalah pekerjaan *Quantity Take-Off* (QTO). Sebuah model yang berbasis BIM terdiri atas elemen-elemen bangunan yang berisi data geometri, sehingga dapat digunakan untuk pekerjaan QTO. Sebagian besar *software* yang berbasis BIM memiliki fitur untuk melakukan perhitungan quantity (*volume*) dari data geometri yang ada pada model tersebut. *Quantity Take-Off* (QTO) yang berbasis BIM memiliki keluaran (*output*) yang lebih sederhana, lebih akurat dan lebih detail daripada perhitungan QTO secara manual. Namun fitur ini cukup sulit digunakan dan hanya digunakan oleh yang sudah ahli [14].

Mengapa harus menggunakan aplikasi-aplikasi yang mengusung konsep BIM di dalam sebuah proyek? Pertanyaan-pertanyaan seperti ini sering muncul terkait manfaat yang dapat dihasilkan dari aplikasi-aplikasi BIM. Di bawah ini, penulis uraikan manfaat-manfaat yang dapat dihasilkan dengan menggunakan aplikasi-aplikasi BIM :

- A. Aplikasi-aplikasi BIM memiliki tampilan 3D yang memudahkan pemahaman terhadap rencana gambar yang akan dibangun [15].
- B. Menggunakan aplikasi-aplikasi BIM dapat memudahkan dalam menghitung volume pekerjaan secara cepat dan akurat [16].
- C. Aplikasi-aplikasi BIM dapat memberikan informasi terkait biaya atau RAB pada setiap komponen pekerjaan seperti balok, kolom, pelat, dan lain sebagainya sehingga kita dapat memprediksi dan menyimpulkan perkiraan biaya pada tiap-tiap komponen pekerjaan [17].
- D. Aplikasi-aplikasi BIM dapat menampilkan gambar 3D pada pekerjaan yang rumit sekalipun seperti tulangan pada struktur jembatan, dan lain sebagainya [18].
- E. Penggunaan aplikasi-aplikasi BIM tidak hanya sekedar menampilkan video animasi semata, akan tetapi manfaatnya lebih kepada *managing information* proyek secara menyeluruh [19].
- F. Penggunaan aplikasi-aplikasi BIM pada tahap awal pekerjaan dapat dijadikan sebagai acuan *clash detection*. Dan kita dapat mengetahui apakah gambar rencana 2D tersebut jika diaplikasikan di lapangan akan terjadi tabrakan antar komponen atau tidak terutama antara gambar struktur, arsitektur, dan MEP [20].
- G. Manfaat lain dari aplikasi-aplikasi BIM adalah memudahkan koordinasi antar *stake holder*, antara kontraktor dengan *owner/consultant* dapat berkoordinasi kapanpun dan dimanapun, dengan bantuan jaringan komputer semua pekerjaan, semua pekerjaan kontraktor di lapangan dapat di akses oleh *owner/consultant* secara real time atau dapat ditanggapi secara langsung di saat itu juga [21]

3.1.1. Perencanaan Bangunan

Dalam penelitian mengenai perencanaan, pemodelan dan analisis struktur perumahan *Golden Town House* menggunakan metode *Building Information Modeling* (BIM). Pembuatan model awal struktur



yang dibuat di aplikasi *Tekla Structure* dengan menggunakan konsep 3D merupakan langkah awal untuk integrasi antara aplikasi *Tekla Structure* dengan SAP2000, yang mana model tersebut berisi dimensi bangunan, jenis struktur, dll yang mana data tersebut diperlukan untuk analisa lebih lanjut di aplikasi SAP2000, kemudian data tersebut di integrasikan dengan aplikasi SAP2000 dengan cara *export*. Model 3D perumahan *Golden Town House* yang direncanakan strukturnya serta analisa 3D, 4D, dan 5D dapat dilihat pada [Gambar 2](#).

Gambar 2. Tampak Depan & Tampak Samping

3.2. Kriteria Perencanaan

Di dalam merencanakan bangunan ini dibutuhkan informasi-informasi data sebagai ketentuan perencanaan. Informasi yang dibutuhkan diantaranya adalah jumlah lantai, luas bangunan, tinggi lantai, atap, dan material. Sebagai informasi awal dalam perencanaan struktur selanjutnya dijelaskan pada [Tabel 1](#).

Tabel 1. Informasi Bangunan

Informasi Bangunan			
Spesifikasi Bangunan		Spesifikasi Bahan	
Fungsi bangunan	Perumahan	Mutu beton (fc)	24 Mpa
Luas bangunan	84 m ²	Mutu baja tulangan (fy) polos	240 Mpa
Jumlah lantai	2 lantai	Mutu baja tulangan (fy) ulir	300 Mpa
Tinggi tiap lantai	4 meter		
Konstruksi atap	Rangka kuda-kuda baja ringan		
Penutup atap	Genteng beton		

Berdasarkan informasi awal tentang bangunan sebagai dasar dalam perencanaan struktur, selanjutnya ditentukan detail spesifikasi dari bahan yang digunakan meliputi bahan untuk beton dan besi tulangan seperti yang dapat dilihat pada [Tabel 2](#).

Tabel 2. Informasi Detail Spesifikasi Bahan

Spesifikasi Bahan			
Material Beton		Material Besi Tulangan	
Modulus elastisitas (E)	23,025 Mpa (SNI 2847-2013)	Modulus elastisitas (E)	20000000 t/m ² (SNI-1729-2015)
Poisson Rasio (U)	0.2 (SNI 2847-2013)	Modulus geser (G)	7720000 t/m ² (SNI-1729-2015)
Koefisien pemuaian (α)	0.000012 ^o C (SNI 2847-2013)	Nisbah poisson (U)	0.3 (SNI-1729-2015)
		Koefisien pemuaian (A)	0.000012 (SNI-1729-2015)

3.3. Rencana Pembebanan

Struktur suatu gedung harus direncanakan kekuatannya terhadap pembebanan yang disebabkan oleh beban mati, hidup, serta beban akibat pengaruh alam (akibat angin dan gempa).

3.3.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut. Berat sendiri pada struktur dihitung otomatis oleh Program. Sedangkan elemen struktur lainnya yang terkena beban mati pada lantai adalah balok, yang dikarenakan pembebanan oleh pasangan dinding setengah bata.

1. Beban pada balok

Beban yang terjadi pada balok lantai adalah beban dinding setengah bata, rincian perhitungan beban dapat digunakan pada persamaan 1 sebagai berikut :

$$\text{Tinggi tembok (t)} = 4 \text{ m}$$

$$\text{Beban dinding } \frac{1}{2} \text{ bata (w)} = 0.25 \text{ t/m}^2 \text{ (ppurg '87)}$$

$$Wd = t \times w \tag{3.1}$$

$$Wd = 4 \times 0.25 = 1.00 \text{ t/m}$$

2. Beban pada pelat lantai

Berat sendiri pelat lantai dihitung sendiri oleh Program. Sedangkan beban *finishing* lantai seperti keramik dan spesi dihitung manual seperti tercantum pada Tabel 3.

Tabel 3. Daftar Beban Mati Pelat Lantai

No	Jenis Beban	Berat Jenis	Volume/Luas	Berat
1	Pelat lantai & Bordes			
	a. Keramik	0.024 t/m ²		0.024 t/m ²
	b. Spesi 2 cm	0.021 t/m ²	2	0.042 t/m ²
	Berat Total			0.066 t/m ²
2	Pelat anak tangga			
	a. Keramik	0.024 t/m ²		0.024 t/m ²
	b. Anak tangga	0.024 t/m ²	0.1	0.240 t/m ²
	c. Spesi 2 cm	0.021 t/m ²	2	0.042 t/m ²
Berat Total			0.306 t/m ²	

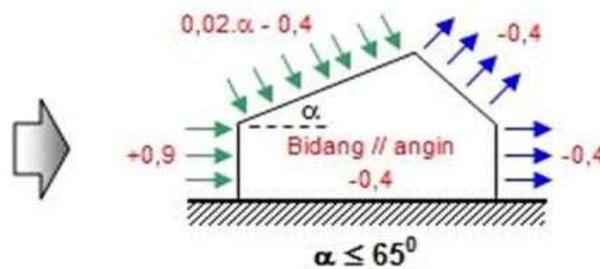
3.3.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan dari suatu gedung, termasuk beban-beban pada lantai yang dapat berpindah serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut. Beban hidup untuk plat bordes dan tangga, jika merujuk peraturan PPPURG'87 untuk lantai rumah tinggal adalah sebesar: 0.125 t/m², Sedangkan Beban hidup untuk plat lantai, jika merujuk peraturan PPPURG'87 untuk lantai rumah tinggal adalah sebesar: 0.125 t/m²

3.3.3 Beban Angin

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian yang disebabkan oleh selisih tekanan udara. Tekanan angin yang disyaratkan *minimum* 25 kg/m kecuali untuk daerah yang berjarak 5 km dari pantai diambil *minimum* 40 kg/m. Besarnya gaya angin tersebut dikalikan dengan nilai koefisien dinding *vertikal* yaitu +0,9 untuk angin tekan dan -0,4 untuk angin hisap.

Berdasarkan PPPURG'87 Beban angin dengan jarak 25 kg/m². Gambar 3 dibawah ini menunjukkan koefisien pembebanan untuk gedung dengan dinding tertutup dan kemiringan atap dibawah 65°



Gambar 3. Koefisien Pembebanan

Dari Gambar 3 dapat diketahui bahwa koefisien angin tekan adalah 0.9, koefisien angin hisap adalah 0.4, dan beban angin adalah 0.04 t/m², maka beban angin tekan dapat dihitung menggunakan persamaan 2, dan beban angin hisap dapat dihitung menggunakan persamaan 3 sebagai berikut:

Angin Tekan (Wtekan),

$$0.9 \cdot 0.04 = 0.036 \text{ t/m}^2$$

Angin Hisap (Whisap),

$$0.4 \cdot 0.04 = 0.016 \text{ t/m}^2$$

3.3.4 Beban Gempa

Menurut Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung (PPPURG'87), bahwa pengaruh komponen dari gerakan gempa dianggap ekuivalen dengan beban statik horizontal dan harus

ditinjau bekerja secara bersamaan pada tiap taraf lantai dan plat atap gedung.

Dari Peta gempa (SNI-1726-2002), Lokasi rumah termasuk kedalam wilayah gempa 4, Rumah direncanakan dikerjakan diatas tanah sedang, maka dari Grafik Respon Spectrum Rencana dapat dihitung menggunakan persamaan 4 dan 5 sebagai berikut :

Data (SNI-1726-2002)

I = Faktor Keutamaan untuk rumah hunian = 1

R = Faktor Reduksi untuk Beton Bertulang Biasa = 3.5

g = percepatan gravitasi = 9.8 m/s²

Data (PPURG)

Faktor Reduksi beban hidup untuk rumah tinggal adalah sebesar = 0.3

$$V = \frac{C \times I}{R} \times W_{total} \quad 3.2$$

Scale faktor,

$$\frac{I \times g}{R} = \frac{1 \times 9.8}{3.5} = 2.8 \quad 3.3$$

3.3.5 Beban Atap

Untuk melakukan perhitungan analisis struktur, pertama-pertama harus dihitung berat bangunan diatasnya. Kuda-kuda merupakan struktur paling atas yang harus diperhitungkan. Selain berat kuda-kuda sendiri terdapat pula beban angin, air hujan, dan gempa. Yang beban tersebut ikut tersalurkan terhadap kolom. Alat bantu *software* yang digunakan untuk menghitung reaksi tumpuan yang akan disalurkan ke kolom adalah dengan menggunakan software SAP2000. Untuk mendukung perhitungan analisis struktur dibutuhkan data-data penunjang seperti tertera pada Tabel 4 sebagai berikut :

Tabel 4. Informasi Teknis Atap

Spesifikasi Teknis Atap		Spesifikasi Bahan Baja Ringan	
Kemiringan kuda-kuda	45°	Baja ringan Type G 550 :	
Bj genteng metal	0.005 t/m ²	- Tegangan putus min (fu)	550 N/mm ²
Beban angin (Wa) < 5 km	0.040 t/m ² (ppurg '87)	- Tegangan leleh min (fy)	550 N/mm ²
Bj penutup & penggantung langit2	0.007 t/m ²		

Mengacu pada Gambar 3. Koefisien Pembebanan, untuk kemiringan atap kuda-kuda 45 derajat gedung tertutup maka dapat digunakan ketentuan berdasarkan PPPURG'87 Koefisien Tekan dapat dihitung menggunakan persamaan 5 sebagai berikut :

Koef. Tekan (Øt),

$$0.02 \alpha - 0.4 = 0.02 \times 45' - 0.4 = 0.5 \quad 3.4$$

Koef Tarik = 0.4

Beban Angin Tekan,

$$\text{Koefisien} \times \text{beban angin}(W_{tekan}) = 0.5 \times 0.04 \text{ t/m}^2 = 0.02 \text{ t/m}^2 \quad 3.5$$

Beban Angin Hisap,

$$\text{Koefisien} \times \text{beban angin}(W_{tekan}) = 0.4 \times 0.04 \text{ t/m}^2 = 0.016 \text{ t/m}^2 \quad 3.6$$

Angin Tekan,

- Vertikal

$$W_{tekan} \times \cos \alpha = 0.02 \times \cos 45 = 0.014 \text{ t/m}^2 \quad 3.7$$

- Horizontal

$$W_{tekan} \times \sin \alpha = 0.02 \times \sin 45 = 0.014 \text{ t/m}^2 \quad 3.8$$

Angin Hisap,

- Vertikal

$$W_{tekan} \times \cos \alpha = 0.016 \times \cos 45 = 0.011 \text{ t/m}^2 \quad 3.9$$

- Horizontal

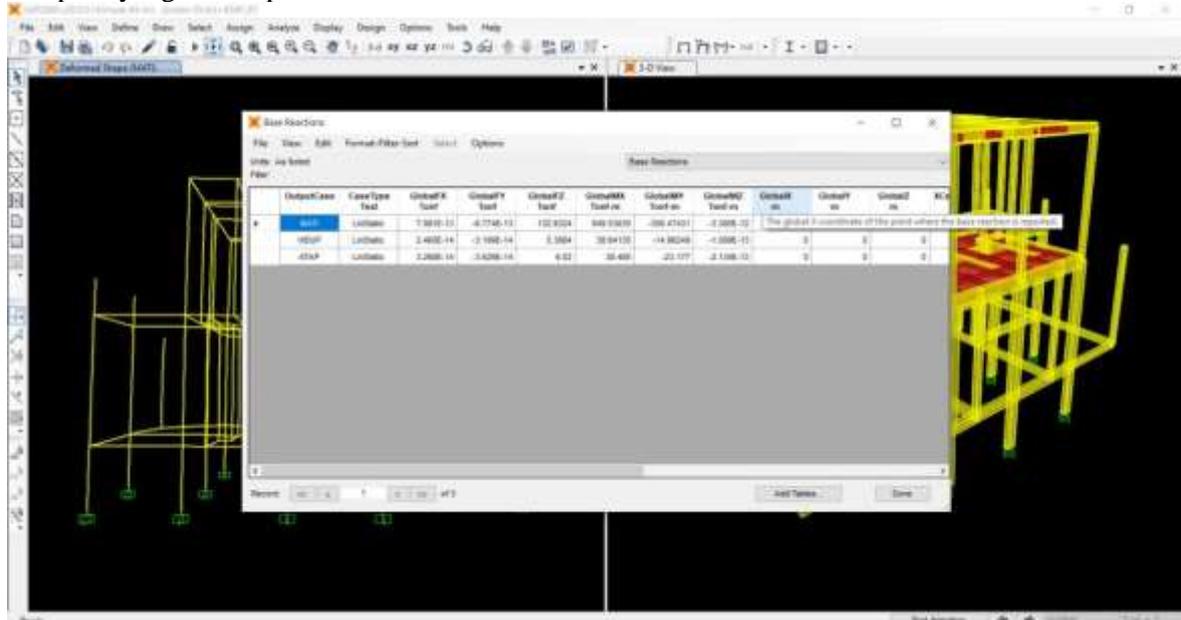
$$W_{tekan} \times \sin \alpha = 0.016 \times \sin 45 = 0.011 \text{ t/m}^2 \quad 3.10$$

Setelah seluruh beban telah diinput ke dalam program, didapat hasil reaksi tumpuan adalah sebesar 0.64 ton seperti [Gambar 4](#) dibawah ini, Selanjutnya Beban Atap berupa reaksi tumpuan tersebut disalurkan ke kolom.



Gambar 4. Beban Atap

Sedangkan total berat bangunan yang terdiri dari beban hidup, mati dan atap adalah sebesar 144.3408 ton seperti yang tertera pada [Gambar 5](#).



Gambar 5. Total berat bangunan

3.4 Penulangan

Setelah mendapatkan data-data yang diperlukan untuk keperluan penulangan seperti Gaya aksial akibat beban terfaktor, Momen arah X akibat beban terfaktor, dan Momen arah Y akibat beban terfaktor dari aplikasi SAP2000, langkah berikutnya adalah menghitung penulangan seperti pondasi, kolom, balok, plat, dan tangga dengan menggunakan format Microsoft Excel. Setelah semua perhitungan analisa struktur pada aplikasi SAP2000 selesai dilakukan, dan ukuran tulangan sudah ditentukan, maka langkah selanjutnya adalah memasukan tulangan-tulangan tersebut untuk item seperti pondasi, kolom, dll kedalam model yang berada di aplikasi Tekla Structure. Untuk luas tulangan tumpuan dan lapangan diambil dari data hasil SAP200 seperti tertera pada [Gambar 6](#).

Gambar 6. Data Luas Tulangan

Dari data-data diatas ditentukan tulangan tumpuan atau lapangan dengan menyaring dengan cara centang data pada sel location, untuk tumpuan sendiri ditentukan panjangnya ¼ bentang, sedangkan untuk tulangan lapangan ½ bentang, sedangkan pada sel FtopArea merupakan luas tulangan atas, sel FBotArea merupakan luas tulangan bawah, untuk tulangan beughel diambil pada sel Vrebar untuk menentukan luas tulangan beughel.

3.4.1 Penulangan Balok

Untuk penulangan balok dipilih frame yang membutuhkan penulangan yang paling besar, dari frame atau batang yang ada maka dapat dipilih tulangan yang disajikan dalam Tabel 5 sebagai berikut :

Tabel 5. Penulangan Balok

Dimensi Balok	Posisi	Jenis Tulangan	Luas Tul. Hasil mm ²	Diameter Besi mm	Jumlah Besi buah	Jarak Besi mm	Hasil
15 x 30	Tumpuan	Tul. bawah	435.49	12	4		4D12
		Tul. atas	203.53	12	2		2D12
		Tul. pinggang	122.76	10	2		2Ø10
		Tul. beughel	0.22	5		150	Ø5-150
	Lapangan	Tul. bawah	255.11	12	3		3D12
		Tul. atas	651.34	12	6		6D12
		Tul. pinggang	74.76	10	2		2Ø10
		Tul. beughel	0.44	6		100	Ø6-100

Uraian perhitungan Balok 15/30

- a. Tulangan pokok
 Tulangan perlu atas = 203.53 mm²
 Digunakan 2D12 = 2 x 113.04 mm² = 226.08 mm²
 Didapat tulangan perlu atas A = 226.08 mm² > 203.532 mm² (OK) 3.11
- b. Tulangan perlu bawah = 312.73 mm²
 Torsi= 491.03 mm², 1/4 Torsi = 122.76 mm²
 122.76 mm² + 312.73 mm² = 435.49 mm²
 Digunakan 4D12 = 4 x 113.04 mm² = 452.16 mm²
 Didapat tulangan perlu atas A = 452.16 mm² > 435.49 mm² (OK) 3.12
- c. Tulangan pinggang
 Torsi= 491.03 mm², 1/4 Torsi = 122.76 mm²
 Digunakan 2Ø10 = 2 x 78.5 mm² = 157.00 mm²

Didapat tulangan perlu atas $A = 157 \text{ mm}^2 > 122.75825 \text{ mm}^2$ (OK)	3.13
d. Tulangan geser	
Av/s perlu = $0.22 \text{ mm}^2/\text{mm}$	
Digunakan tulangan diameter 5.00 mm $Av = 39.25 \text{ mm}^2$ diambil jarak $s = 150.00 \text{ mm}$	
Av/s aktual = $39.25 / 150 = 0.262 \text{ mm}^2/\text{mm} > 0.22 \text{ mm}^2/\text{mm}$ (OK)	3.14
Maka digunakan tulangan geser $\emptyset 5-150$	

Setelah semua tulangan selesai dihitung kemudian dimodelkan di dalam aplikasi Tekla Structure, kemudian model tersebut di publish/export ke aplikasi Vico Office untuk dianalisa lebih jauh untuk keperluan Rencana Anggaran Biaya (RAB). Model analisa struktur kemudian di export juga ke dalam aplikasi Trimble Sketchup sebagai referensi untuk pembuatan model arsitektur. Untuk menentukan titik acuan melanjutkan model arsitektur, buka file struktur dari aplikasi Tekla Structure yang sebelumnya sudah di export ke dalam file Skethcup. Kemudian langkah selanjutnya adalah memodelkan elemen arsitektur seperti dinding, plafon, tangga, dll.

Langkah selanjutnya untuk menambahkan pekerjaan electrical, digunakan aplikasi Revit, yang mana sebagai acuan penempatan posisi accessories electrical, digunakan reference model arsitektur dari aplikasi Skethup, karena aplikasi Revit tidak bisa membaca file Sketchup, maka digunakan file IFC sebagai jembatan untuk membuka file tersebut di aplikasi Revit, IFC sendiri merupakan platform netral. Model data Industry Foundation Class (IFC) ini dimaksudkan untuk menjelaskan dan memberi gambaran jelas data dan pertukaran data pada industri arsitektur, bangunan dan konstruksi.

Untuk membuat elemen electrical seperti stop kontak dan saklar, langsung diakses aksesoris yang sudah disediakan oleh Revit, Untuk membuat analisa harga satuan dan penjadwalan dengan menggunakan aplikasi Vico Office dibutuhkan model yang sudah dibuat pada aplikasi Authoring Tools (Tekla Structure, Autodesk Revit, dan Skethup).

Langkah-langkah untuk mendapatkan analisa harga satuan yang terintegrasi dengan model dengan menggunakan aplikasi Vico Office secara ringkas dapat dilihat dibawah ini :

A. Membuat Project Vico Office

Project merupakan tempat untuk mengelola dan menempatkan sebuah model yang akan di analisa menggunakan aplikasi Vico Office.

B. Integrasi dengan Vico Office

Integrasi antara Tekla Software dengan Vico Office menggunakan fitur publish sebagai Add-Ons yang akan muncul setelah aplikasi Vico Office di install pada komputer. jadi prosedur instalasinya adalah aplikasi Auothoring Tools (Tekla Structures & Revit) harus diinstal terlebih dahulu sebelum aplikasi Vico Office. Integrasi antara Sketchup dengan Vico Office bisa langsung dilakukan pada aplikasi Vico Office dikarenakan di dalam aplikasi tersebut sudah terdapat tool untuk import file Sketchup. Integrasi antara Revit dengan Vico Office menggunakan fitur publish sebagai Add-Ons yang akan muncul setelah aplikasi Vico Office di install pada computer, jadi prosedur instalasinya adalah aplikasi Auothoring Tools (Tekla Structures & Revit) harus diinstal terlebih dahulu sebelum aplikasi Vico Office.

C. Analisa Model 3D

- Perbandingan antar Model

Untuk analisa model 3D, diperbandingkan antara 2 model revision, antara model C9 (v6) dan model C9 (v7), untuk melakukan perbandingan, bisa melakukan dengan type slider dan highlight.

- Hybrid View

Vico Office dapat membandingkan gambar 2D dengan model 3D/BIM. Metode ini sangat penting bagi proyek untuk memastikan bahwa gambar 2D berisi kualitas, isi, dan tingkat detail yang sama dengan model 3D/BIM. Manfaat lainnya adalah untuk memeriksa apakah model sudah sesuai dengan denah gambar 2D atau potongan gambar 2D.

D. Analisa Harga Satuan (AHS)

- Import Data Excel

Analisa Harga Satuan (AHS) dapat dibuat manual langsung pada aplikasi Vico Office atau di import dari aplikasi Microsoft Excel. Untuk analisa harga satuan dari aplikasi Microsoft Excel yang akan diimport ke dalam aplikasi Vico Office.

- Activating Model

Untuk mendapatkan quantity/volume diharuskan untuk mengaktifkan model yang telah dimasukan ke dalam Vico Office. Kemudian selanjutnya dilakukan analisa volume untuk keperluan perhitungan RAB, berdasarkan permasalahan yang telah disebutkan diatas maka penelitian kali ini akan dilakukan analisa untuk melakukan TOQ menggunakan aplikasi Vico Office. Pemodelan yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan bangunan rumah 2 lantai, memiliki ukuran kolom 15x15 cm dan 15x30 cm dengan ketebalan plat 12 cm serta ukuran balok 15x30 cm. kemudian hasil volume dari Vico Office akan dibandingkan dengan hasil yang telah dihitung secara manual. Kemudian pada aplikasi Vico Office ditampilkan TOQ model tersebut yang selanjutnya volume yang didapatkan dari model tersebut dibandingkan dengan volume konvensional dari perusahaan yang sudah dihitung sebelumnya seperti yang terlihat pada Tabel 6 dibawah ini :

Tabel 6. Perbandingan Volume

Item	Perbandingan Volume Vico Office dan Konvensional		
	Vico Office (m ³)	Konvensional (m ³)	Selisih (m ³)
Pondasi (30x90)	3.16	3.4	0.24
Sloof (15x30)	2.16	2.23	0.07
Kolom (15x40)	2.65	2.86	0.21
Kolom (15x15)	1.55	1.73	0.18
Balok (15x30)	2.21	2.23	0.02
Pelat 12 cm	6.45	6.6	0.15

Pada tabel diatas dapat dilihat selisih dari perbandingan volume antara Vico Office dan perhitungan volume konvensional yang didapat dari perusahaan sekitar 5%. Kemungkinan selisih tersebut dikarenakan oleh perbedaan asumsi perhitungan volume antara volume Vico Office dengan konvensional, seperti kemungkinan adanya beberapa elemen yang dihitung dari as ke as sedangkan pada Vico Office menggunakan bentang bersih.

- Menghubungkan Quantity dengan Analisa Harga Satuan (AHS)

Untuk menghubungkan antara quantity/volume dari Takeoff Manger dengan Analisa Harga Satuan (AHS)/Cost Planner harus menghubungkan dengan cara drag dan drop volume dari Takeoff Manager ke Cost Planner sesuai dengan volume yang dibutuhkan pada setiap elemen Analisa Harga Satuan (AHS).

E. Analisa Jadwal Pekerjaan

- Menghubungkan Activity/Task dengan Quantity Model

Untuk membuat jadwal proyek, terlebih dahulu harus membuat task dan menghubungkannya dengan quantity hasil ekstraksi model.

- Gantt Chart

Salah satu kelebihan Vico Office adalah bahwa perencanaannya berbasis lokasi. Oleh karena itu, Perencana jadwal Vico Office berbeda dari alat perencanaan berbasis aktivitas lainnya. Perencanaan berbasis lokasi membawa banyak manfaat dan memperkuat pekerjaan di semua fase. Selain membagi jadwal secara efektif berdasarkan lokasi, dapat memvisualisasikan jadwal secara efisien.

- Simulasi

Mempersiapkan jadwal yang baik itu merupakan hal yang sangat penting. Ketika menghubungkan model 3D ke dalam jadwal di aplikasi Vico Office, maka didapatkan simulasi proyek 4D, juga dikenal sebagai 4D BIM. Simulasi 4D dianalogikan seperti film dengan time line/garis waktu di bagian atas layar yang memberikan gambaran visual tentang jadwal pekerjaan.

4 Kesimpulan

Dapat disimpulkan dari penelitian ini bahwa dapat ditemukan perbedaan volume sekitar 5 % untuk keperluan analisa harga satuan jika kita menggunakan konsep BIM, hal ini dapat meminimalisir biaya proyek.

Selain itu terdapat beberapa point untuk menjelaskan tentang manfaat dari konsep integrasi Building Information Modeling (BIM), diantaranya adalah :

1. Integrasi antara aplikasi Tekla Structure dengan aplikasi SAP2000 dapat membantu mempercepat proses analisa struktur karena penulis tidak harus membuat model lagi di aplikasi SAP2000 karena telah dibuat sebelumnya di aplikasi Tekla Structure.
2. Untuk proses integrasi antara Rencana Anggaran Biaya (RAB) dengan model dapat membantu mempercepat proses penentuan volume tiap-tiap item pekerjaan karena penulis dapat langsung mengambil volume dari model.
3. Integrasi aplikasi dapat memudahkan penulis untuk memilih aplikasi-aplikasi pembuatan model yang dianggap mudah oleh penulis dan menggabungkannya menjadi satu dalam satu aplikasi analisis 4D & 5D yaitu Vico Office.
4. Integrasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) dengan model membantu penulis untuk lebih memudahkan menjelaskan volume ke pihak kontraktor di lapangan.

Daftar Pustaka

- [1] T. Kadri and R. D. H. Sugara, "Estimated budget construction housing using linear regression model easy and fast solutions accurate," in 2017 International Conference on Computing, Engineering, and Design (ICCED), 2017, pp. 1–6. Available at : [Google Scholar](#)
- [2] S. Fauzi, C. Suhendi, and L. O. Nelfia, "Perencanaan struktur rangka batang menggunakan metode building information modeling (BIM) dan konvensional," J. TESLINK Tek. Sipil dan Lingkung., vol. 3, no. 2, pp. 62–73, 2021. Available at : [Google Scholar](#)
- [3] J. U. D. Hatmoko, M. A. Wibowo, F. Kristiani, R. R. Khasani, R. Fatmawati, and G. D. Sihaloho, "EDUKASI BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) PADA KONTRAKTOR KECIL," J. Pasopati Pengabd. Masy. dan Inov. Pengemb. Teknol., vol. 2, no. 3, 2020. Available at : [Google Scholar](#)
- [4] A. Huqban and C. Suhendi, "Analisis Keterlambatan Penyediaan Material Terhadap Ketepatan Waktu Pembangunan," J. TESLINK Tek. Sipil dan Lingkung., vol. 2, no. 1, pp. 35–43, 2020. Available at : [Google Scholar](#)
- [5] N. S. Nugroho, "Construction Time Determination Model, Automatically Detected Resource Needs Using Programs," Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng., vol. 9, no. 9, pp. 161–171, 2020, doi: 10.35940/ijitee.i7036.079920. Available at : [IJITEE](#)
- [6] D. F. Paikun, S. M. Sholihah, U. Faisal, and T. Kadri, "Conceptual Estimation of Cost Significant Model on Shop-Houses Construction," 2019. Available at : [Google Scholar](#)
- [7] A. Aprilia, M. R. Siddiq, R. E. Hamdani, N. S. Nugroho, and J. Jasmansyah, "Regression Model of Shop-house Construction Costs and Percentage of Building Component Costs," in 2019 5th International Conference on Computing Engineering and Design (ICCED), 2019, pp. 1–6. Available at : [Google Scholar](#)
- [8] R. Minawati, H. P. Chandra, and P. Nugraha, "Manfaat Penggunaan Software Tekla Building Information Modeling (Bim) Pada Proyek Design-Build," Dimens. Utama Tek. Sipil, vol. 4, no. 2, pp. 8–15, 2017. Available at : [Google Scholar](#)
- [9] M. S. Alshabab, A. Vysotskiy, M. Petrichenko, and T. Khalil, "BIM-Based Quantity Takeoff in Autodesk Revit and Navisworks Manage," Proc. ECE 2019 Energy, Environ. Constr. Eng., vol. 70, p. 413, 2020. Available at : [Google Scholar](#)
- [10] A. S. Sastraatmadja, "Analisa (cara modern) Anggaran Biaya Pelaksanaan," Nova. Jakarta, p. 1, 2002. Available at : [Google Scholar](#)
- [11] D. Olsen and J. M. Taylor, "Quantity take-off using building information modeling (BIM), and its limiting factors," Procedia Eng., vol. 196, pp. 1098–1105, 2017. Available at : [Google Scholar](#)
- [12] M. S. Alshabab, A. E. Vysotskiy, T. Khalil, and M. V. Petrochenko, "BIM-based quantity takeoff," Stroit. Unikal'nyh Zdanij i Sooruz., no. 4, p. 124, 2017. Available at : [Google Scholar](#)
- [13] H. Mattern, M. Scheffer, and M. König, "BIM-based quantity take-off," Build. Inf. Model. Technol. Found. Ind. Pract., vol. 4, no. 55, pp. 383–391, 2018, doi: 10.1007/978-3-319-92862-3_23. Available at : [Google Scholar](#)
- [14] L. I. Septiliandri, "PERENCANAAN HOTEL 7 LANTAI BERBASIS METODE BUILDING INFORMATION MODELLING MENGGUNAKAN SOFTWARE TEKLA STRUCTURES DAN TEKLA STRUCTURAL DESIGNER." Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, 2021. Available at : [Google Scholar](#)
- [15] B. W. Soemardi, "Studi Aplikasi Teknologi Building Information Modeling untuk Pra Konstruksi," 2014. Available at : [Google Scholar](#)
- [16] A. T. Baskoro, "Peran building information modeling (bim) dalam pengendalian biaya pada pelaksanaan proyek konstruksi bangunan gedung." Universitas Pelita Harapan, 2021. Available at : [Google Scholar](#)

- [17] A. Suwarni and B. Anondho, “Perbandingan Perhitungan Volume Kolom Beton Antara Building Information Modeling (Bim) Dengan Metode Konvensional,” *JUTEKS J. Tek. Sipil*, vol. 6, no. 2, pp. 75–83, 2021. Available at : [Google Scholar](#)
- [18] Y. Raflis and B. Endro, “Manfaat penggunaan Building Information Modelling (BIM) pada proyek konstruksi sebagai media komunikasi stakeholders,” *Constr. Eng. Sustain. Dev.*, vol. 1, no. 02, 2018. Available at : [Google Scholar](#)
- [19] R. APRIANSYAH, “Implementasi Konsep Building Information Modelling (BIM) Dalam Estimasi Quantity Take Off Material Pekerjaan Struktural,” 2021. Available at : [Google Scholar](#)
- [20] R. Rayshanda, “Manfaat Penggunaan Building Information Modelling (BIM) Pada Proyek Konstruksi Sebagai Media Komunikasi Stakeholders,” *Indones. J. Constr. Eng. Sustain. Dev.*, vol. 1, no. 2, pp. 62–66, 2019. Available at : [Google Scholar](#)
- [21] I. K. Octavia, E. C. Tandoyo, P. Nugraha, and S. Lukito, “Perbandingan Aplikasi Program Microsoft Project dan Primavera dalam Penjadwalan Proyek Konstruksi,” *J. Dimens. Pratama Tek. Sipil*, vol. 2, no. 2, 2013. Available at : [Google Scholar](#)