

Penerapan *Building Information Modeling* pada Konstruksi Jembatan Cisolok Kabupaten Sukabumi

ILHAM YADI SYAM¹, MUHAMMAD SEPTA SOFYAN^{1*},
MULYADI YUSWANDORO¹, BENNY MUYANA SUKANDAR¹

¹ Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Indonesia
Email: muhammad.septa.tpjj20@polban.ac.id

ABSTRAK

Proyek penggantian Jembatan Cisolok dilakukan di ruas Jalan Raya Cisolok yang dimana menghubungkan Provinsi Jawa Barat dan Banten. Sehingga memerlukan penerapan BIM untuk perancangan jadwal dan biaya yang efektif dan efisien agar dapat meningkatkan produktivitas pekerjaan. Metode penerapan BIM diawali dengan pembuatan model 3D menggunakan software Tekla Structures dengan gambar acuan DED dari konsultan. Model 3D menghasilkan QTO dan gambar 2D yang akan dijadikan shop drawing dalam pelaksanaan di lapangan. Hasil dari QTO digunakan untuk merancang penjadwalan dan RAB yang akan diintegrasikan sehingga menghasilkan simulasi 4D dan 5D dengan menggunakan Naviswork. Animasi dan augmented reality dilakukan dengan bantuan Lumion, Unity 3D dan Vuforia Engine. Hasil pemodelan dari DED menggunakan Tekla Structures menghasilkan model 3D, shop drawing 2D, dan QTO. Hasil QTO digunakan untuk perancangan penjadwalan dan perhitungan RAB. Dari hasil penjadwalan menggunakan Microsoft Project didapat durasi pelaksanaan proyek Jembatan Cisolok 172 hari. Serta, RAB yang didapat dari hasil perhitungan sebesar Rp 8.900.820.032,- (delapan miliar sembilan ratus juta delapan ratus dua puluh ribu tiga puluh dua rupiah). Jadwal dan biaya yang telah dibuat diintegrasikan dengan model 3D sehingga menghasilkan simulasi 4D dan 5D; serta animasi metode pelaksanaan dengan format MP4 dan augmented reality.

Kata kunci: BIM, DED, model 3D, QTO, penjadwalan, RAB, simulasi 4D dan 5D, Augmented Reality

ABSTRACT

The Cisolok Bridge replacement project was carried out on the Cisolok Highway section which connects West Java and Banten Provinces. It requires the application of BIM for effective and efficient schedule and cost design in order to increase work productivity. The BIM application method begins with the creation of a 3D models using Tekla Structures software with a DED reference drawing from the consultant. The 3D models produce QTO and 2D drawings that will be used as shop drawings in the field. The result of the QTO is used to design scheduling and RAB that will be integrated to produces 4D and 5D simulations using Naviswork. Animation and augmented reality are done with the help of Lumion, Unity 3D and Vuforia Engine. The modeling results from DED using Tekla Structures produces 3D models, 2D shop drawing, and QTO. The QTO is used for scheduling design and calculation of RAB. From the scheduling using Microsoft Project, the duration of Cisolok Bridge Project implementation was obtained 172 days. As well as the RAB obtained from the calculation is Rp 8.900.820.032,- (eight billion nine hundred million eight hundred twenty thousand thirty two rupiah). The schedule and cost that have been created are integrated with the 3D models so as to produces 4D and 5D simulations, also an animation of the execution method is made in MP4 format and augmented reality.

Keywords: BIM, DED, 3D models, QTO, scheduling, RAB, 4D and 5D Simulations, Augmented Reality

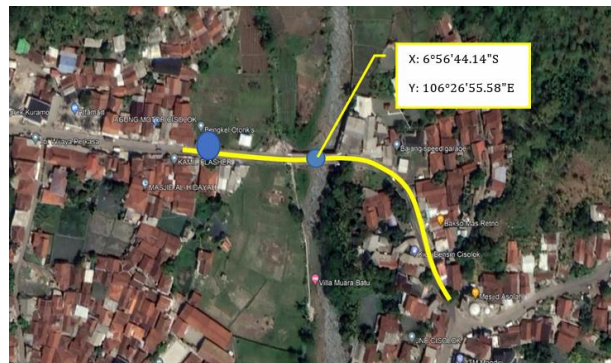
1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi konstruksi pada saat ini semakin pesat dan hal ini menjadi salah satu aspek yang mulai dikembangkan dalam dunia konstruksi melalui media teknologi atau digital. Salah satu metode yang saat ini dikembangkan melalui teknologi atau digitalisasi adalah metode *Building Information Modelling* (BIM). Indonesia sedang dalam tahap penerapan metode BIM pada setiap konstruksi pembangunan di berbagai daerah, walaupun penerapan BIM belum secara merata penggunaannya, namun seiring berjalannya waktu, pemerintah telah mengeluarkan peraturan mengenai BIM di Indonesia harus dikembangkan [7] [8] [10]. Peraturan tersebut yaitu, UU No. 2 Tahun 2017 tentang jasa konstruksi, seperti yang tercantum pada Pasal 5 ayat (5) yang berbunyi "Pemerintah pusat memiliki kewenangan mengembangkan standar materil dan peralatan konstruksi serta inovasi teknologi konstruksi". Dari bunyi pasal tersebut, diharapkan perusahaan jasa konstruksi dapat menggunakan teknologi konstruksi seperti BIM pada pelaksanaan pekerjaan konstruksi. BIM merupakan proses gabungan dari seluruh aspek proyek bangunan menjadi suatu model digital yang terintegrasi [3]. Model ini mencakup informasi tentang geometri bangunan, material, jadwal, biaya dan informasi relevan lainnya. Dengan demikian, BIM berperan agar terciptanya suatu representasi digital yang akurat dari sebuah bangunan yang akan dibangun. Dalam proses BIM, setiap elemen bangunan digambarkan sebagai objek 3D yang dapat diakses dan dikelola. Oleh karena itu, semua pihak yang terlibat dalam konstruksi dapat bekerja sama dengan efisien, menemukan potensi masalah dan bahaya, serta dapat membuat perubahan desain dengan cepat.

Dengan diterapkannya BIM pada suatu proyek diharapkan dapat mengoptimalkan aspek biaya, mutu, dan waktu dari pekerjaan yang akan dilaksanakan. Kemajuan di dunia informasi dan teknologi diharapkan mampu mengatasi masalah koordinasi yang biasa terjadi dalam pelaksanaan proyek konstruksi guna memperbaiki produktivitas industri konstruksi yang rendah [6] [13]. Salah satu solusi digital yang paling menjanjikan di sektor konstruksi adalah BIM [2] [12]. Kehadiran teknologi digital berupa BIM dapat menyelesaikan permasalahan konstruksi selama bertahun-tahun lalu, hal ini perlu diterapkan guna menghasilkan kolaborasi, komunikasi, visualisasi konstruksi, peningkatan koordinasi, pendeteksian bentrokan, pengurangan biaya serta resiko, peningkatan penjadwalan, dan peningkatan produktivitas [5]. Maka, Dengan adanya penerapan dimensi BIM 3D, 4D, dan 5D suatu pekerjaan dapat diestimasi dari segi kebutuhan atau volume pekerjaan, biaya, dan waktu yang akan diterapkan pada saat proses pengerjaan konstruksi.

Salah satu proyek pemerintah yang sedang berjalan saat ini yaitu penggantian Jembatan Cisolok Sukabumi. Jembatan Cisolok terletak di Kecamatan Cikakak, Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat. Jembatan Cisolok memiliki bentang 41 meter dengan tipe struktur atas gelagar baja profil I dan struktur bawah yang memiliki 2 abutmen, dengan jenis fondasi yang digunakan pada Jembatan Cisolok yaitu fondasi sumuran. Jembatan ini sudah perlu diganti mengingat umur Jembatan Cisolok ini sudah melewati umur rencana, sehingga pemerintah menginginkan kualitas yang baik untuk Jembatan Cisolok sebagai penghubung antara wilayah Jawa Barat dan Banten yang disekat oleh sungai. Karena lokasi Jembatan Cisolok ini berada pada ruas jalan Raya Cisolok yang menghubungkan antara Provinsi Jawa Barat dan Provinsi Banten, sehingga hal tersebut membuat proyek membutuhkan produktivitas yang cukup untuk menunjang kebutuhan agar pelaksanaan dapat tercapai pada waktu yang telah ditentukan secara efisien dan efektif. Jembatan ini akan menjadi objek dalam penelitian ini. Tujuan Penelitian ini yaitu membuat pemodelan 3D untuk menghasilkan *Quantity Take-Off* (QTO) jembatan [1] [5] [14] dengan menggunakan *software* Tekla Structures, merancang

penjadwalan, menghitung rencana anggaran biaya (RAB), membuat kurva s, membuat simulasi 4D dan 5D, membuat animasi jembatan, dan membuat *Augmented Reality* (AR). Lokasi Jembatan Cisolok dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi jembatan Cisolok

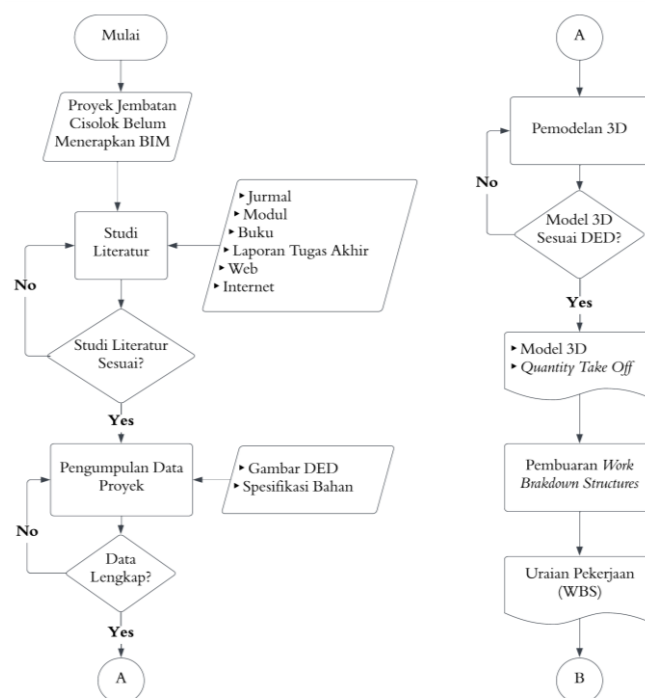
2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Deskripsi Objek Kajian

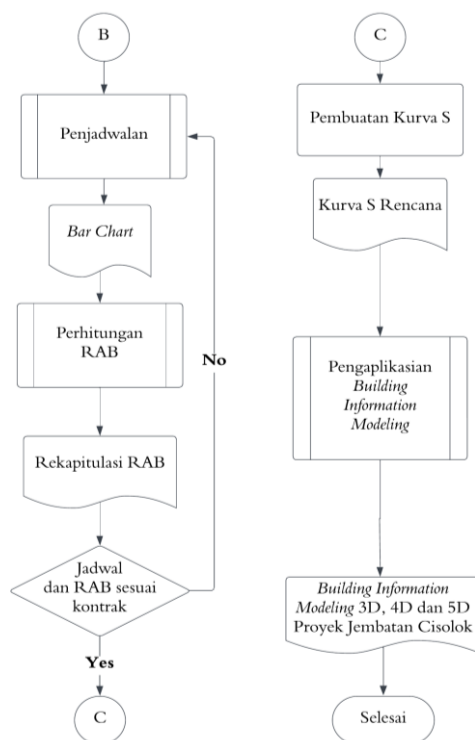
Objek kajian penelitian adalah jembatan dengan struktur bawah berupa beton bertulang dan struktur atas berupa *girder* baja. Jembatan ini terletak di Ruas Jalan Raya Cisolok, Kecamatan Cikakak, Kabupaten Sukabumi.

2.2 Deskripsi Langkah-langkah Pelaksanaan

Langkah-langkah pelaksanaan penerapan BIM pada konstruksi Jembatan Cisolok Kabupaten Sukabumi secara garis besar meliputi pembuatan model 3D struktur bawah dan struktur atas jembatan, pembuatan jadwal pekerjaan, perhitungan RAB, pembuatan kurva s, pembuatan simulasi 4D dan 5D pembuatan animasi, dan pembuatan *augmented reality*. Proses detail pengerjaan dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Diagram alir pengerjaan

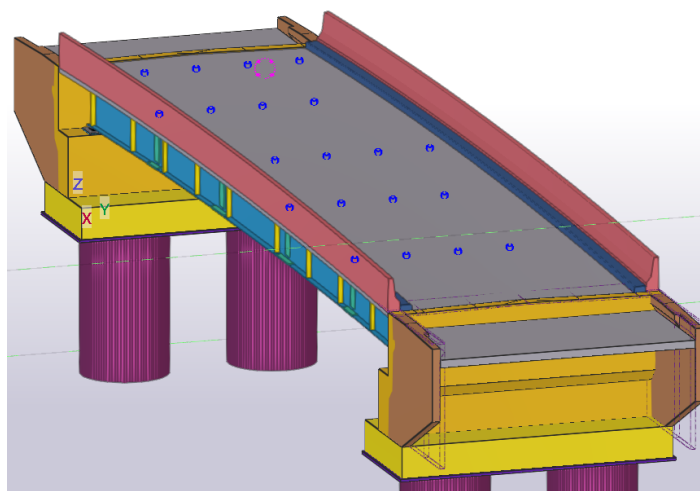


Gambar 2. Diagram alir pengerjaan lanjutan

3. HASIL PERHITUNGAN

3.1 Pemodelan 3D Tekla Structures

Pemodelan 3D Jembatan Cisolok Sukabumi meliputi struktur bawah dan struktur atas yang dibuat menggunakan *software* Tekla Structures [4] [15] untuk mendapatkan QTO. Berikut merupakan hasil pemodelan 3D Jembatan Cisolok yang dapat dilihat dari **Gambar 3**.



Gambar 3. Hasil pemodelan 3D jembatan Cisolok

Setelah dilakukan pemodelan, langkah selanjutnya yaitu menghasilkan data QTO yang mana akan digunakan untuk pembuatan jadwal, perhitungan RAB, dan pembuatan kurva s. Berikut merupakan data QTO dapat dilihat pada **Tabel 1**.

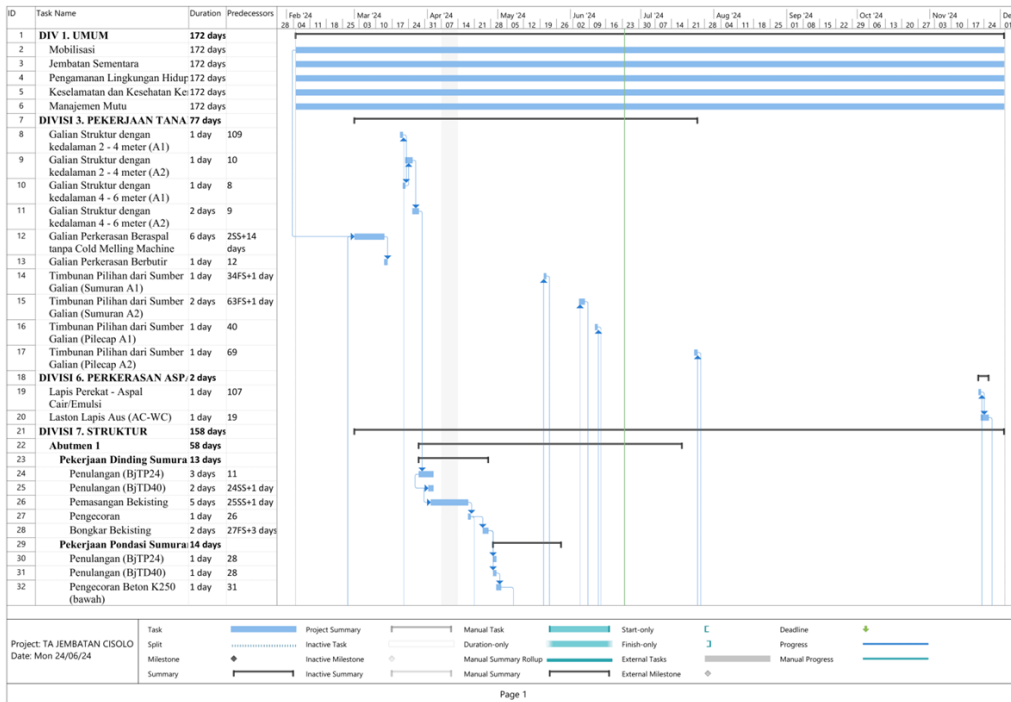
Tabel 1. Quantity Take-Off

No. Mata Pembayaran	Uraian	Satuan Pengukuran	Volume
DIV 1. UMUM			
1.2	Mobilisasi	ls	1
1.8.(2)	Jembatan Sementara	ls	1
1.17	Pengamanan Lingkungan Hidup	ls	1
1.19	Keselamatan dan Kesehatan Kerja	ls	1
1.21	Manajemen Mutu	ls	1
DIVISI 3. PEKERJAAN TANAH			
3.1.(5)	Galian Struktur dengan Kedalaman 2 - 4 meter	m ³	751,504
3.1.(6)	Galian Struktur dengan Kedalaman 4 - 6 meter	m ³	1.623,401
3.1.(8)	Galian Perkerasan Beraspal Tanpa <i>Cold Melting Machine</i>	m ³	35,980
3.1.(9)	Galian Perkerasan Berbutir	m ³	42,000
3.2.(2a)	Timbunan Pilihan dari Sumber Galian	m ³	2.374,905
DIVISI 6. PEKERJAAN ASPAL			
6.1.(2a)	Lapis Perekat - Aspal Cair/Emulsi	liter	273,835
6.3(5a)	Laston Lapis Aus (AC-WC)	ton	51,916
DIVISI 7. STRUKTUR			
7.1 (5a)	Beton Struktur, f'_c 30 MPa	m ³	433,706
	<i>Pile Cap</i> A1	m ³	63,300
	<i>Pile Cap</i> A2	m ³	63,300
	Badan <i>Abutment</i> A1	m ³	51,600
	Badan <i>Abutment</i> A2	m ³	51,600
	<i>Wing Wall</i> A1	m ³	13,400
	<i>Wing Wall</i> A2	m ³	13,400
	Pelat Injak A1	m ³	15,500
	Pelat Injak A2	m ³	15,500
	Slab	m ³	145,700
	Pedestal	m ³	0,406
7.1(7a)	Beton Struktur, f'_c 20 MPa	m ³	174,500
	Sumuran A1	m ³	67,800
	Sumuran A2	m ³	67,800
	Parapet	m ³	38,900
7.1	Beton Siklop f'_c 15 MPa	m ³	92,400
	Siklop A1	m ³	46,200
	Siklop A2	m ³	46,200
7.1(10)	Beton, f'_c 10 MPa	m ³	10,800
	LC A1	m ³	5,400
	LC A2	m ³	5,400
7.3	Baja Tulangan Polos BjTP24	kg	5.778,648
7.3	Baja Tulangan Deform BjTD40	kg	55.305,596
7.4.(1c)	Penyediaan Baja Struktur Grade 485 (Kuat Leleh 485 MPa)	kg	124.420,600
7.4 (5a)	Pemasangan Jembatan Rangka Baja yang Disediakan Pengguna Jasa	kg	107.042,660
7.4 (5b)	Pengangkutan Bahan Jembatan yang Disediakan Pengguna Jasa	kg	124.420,600
7.11 (1)	Sambungan Siar Muai Tipe Strip Seal	m'	22,000
7.12.(3)	Landasan Elastomerik Karet Sintetis Berlapis Baja (500x450x120)	buah	10,000
7.13. (1)	Papan Nama Jembatan	buah	2,000
7.15. (2)	Pembongkaran Beton	m ²	110,550
A.4.1.1.28	Pemasangan Bekisting 1 m ² Jembatan untuk Pengecoran Beton	m ²	2.283,353
	Bekisting Kayu	m ²	1.538,473
	Bekisting Bondek/Pelat <i>Deck</i>	m ²	744,880
B.18.b	Bongkar 1 m ² Bekisting Secara Hati-Hati	m ²	1.538,473
DIVISI 9. PEKERJAAN HARIAN & PEKERJAAN LAIN – LAIN			
10.2.(1)	Marka Jalan Termoplastik	m ²	23,085
10.2.(4a)	Rambu Jalan Tunggal dengan Pemantul <i>High Intensity Grade</i>	buah	2,000
10.2.(10a)	Kereb Pracetak Jenis 1 (Peninggi/ <i>Mountable</i>)	m'	82,252

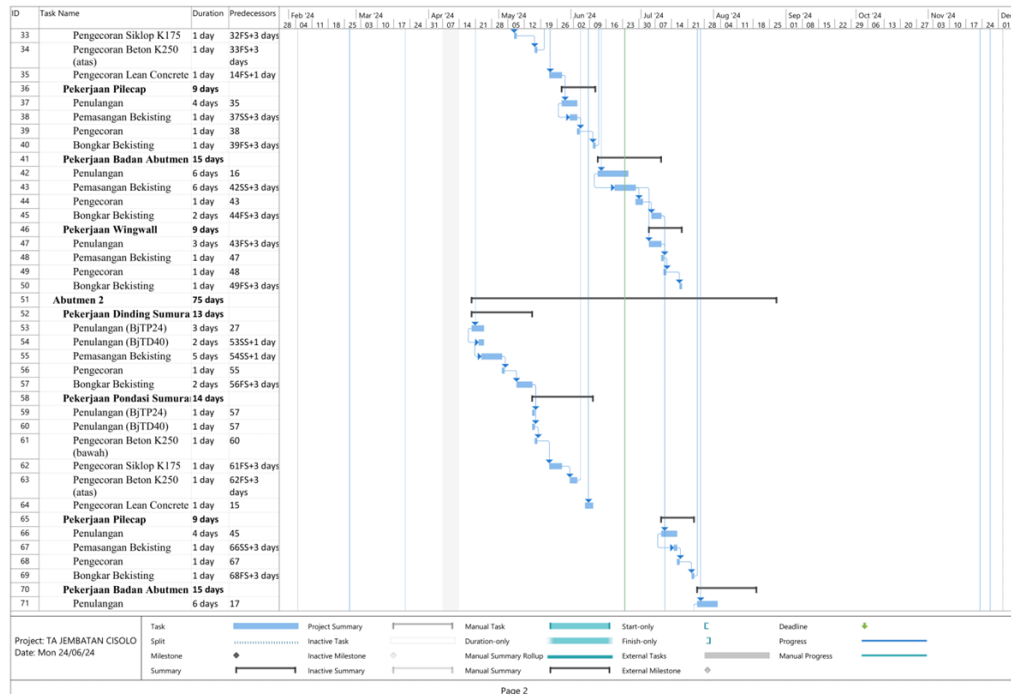
3.2 Penjadwalan

Penjadwalan pada proyek Jembatan Cisolok dibuat dalam bentuk *bar chart* atau diagram batang dengan menggunakan *software* Microsoft Project. Dengan menginput durasi pekerjaan dan hubungan antar pekerjaan ke dalam Microsoft Project akan didapatkan jumlah hari yang

dibutuhkan pada pelaksanaan pekerjaan. Dari hasil pengolahan data pada Microsoft Project didapatkan jumlah hari yang dibutuhkan selama 172 hari kerja, dimulai pada 5 Februari 2024 hingga 4 Desember 2024. Barchart atau diagram batang dapat dilihat pada **Gambar 4**.

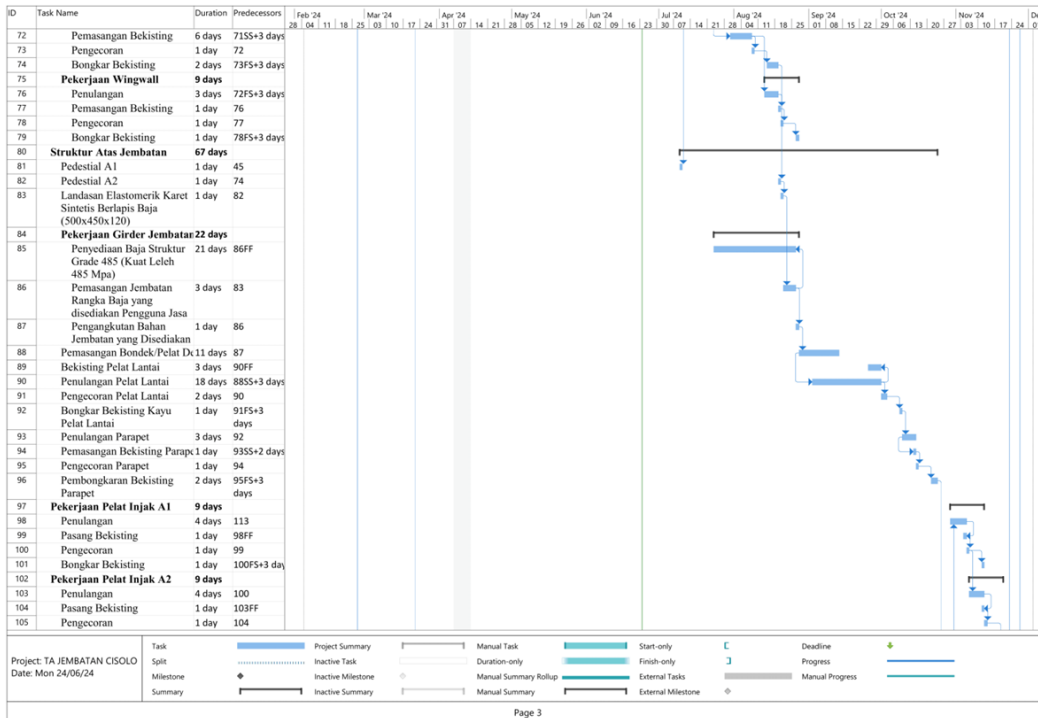


Gambar 4. Barchart

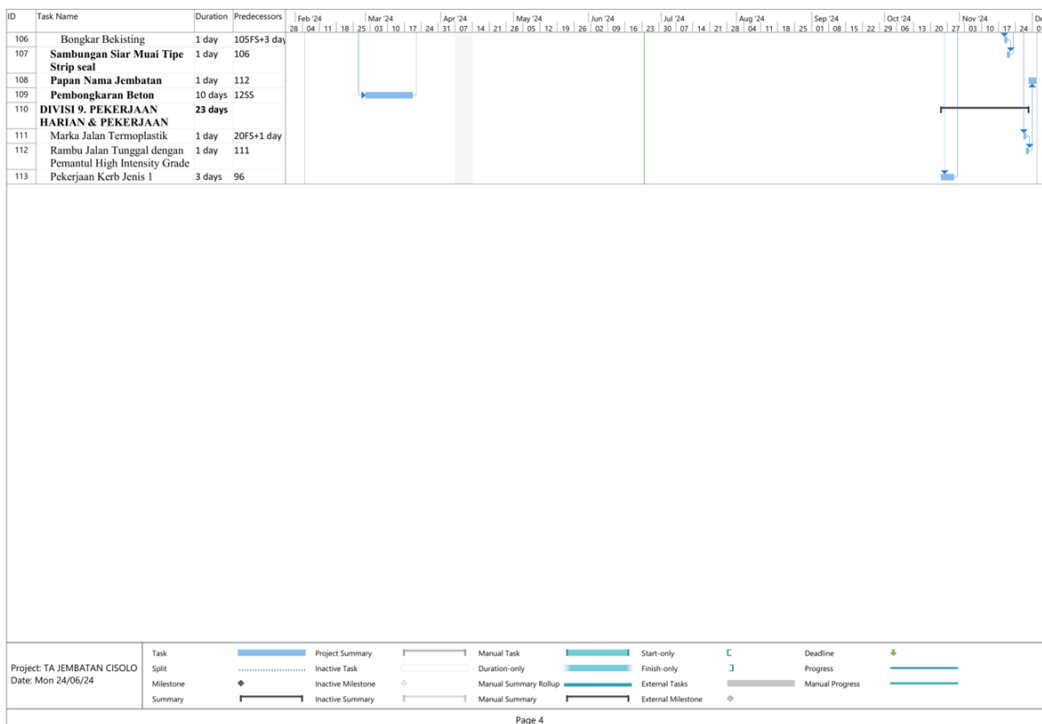


Gambar 4. Barchart lanjutan

Penerapan Building Information Modeling Pada Konstruksi Jembatan Cisolok Kabupaten Sukabumi



Gambar 4. Barchart lanjutan



Gambar 4. Barchart lanjutan

3.3 Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB) dihitung melalui beberapa tahapan untuk memastikan akurasi dalam membiayai kebutuhan selama pelaksanaan proyek [9] [11]. Dalam perhitungan RAB untuk Proyek Jembatan Cisolok, Daftar Harga Satuan (DHS) yang digunakan mengacu pada DHS Kabupaten Sukabumi terbaru. Hal ini dikarenakan proyek Jembatan Cisolok berlokasi di Kecamatan Cikakak, Kabupaten Sukabumi. DHS yang digunakan berasal dari Peraturan Wali

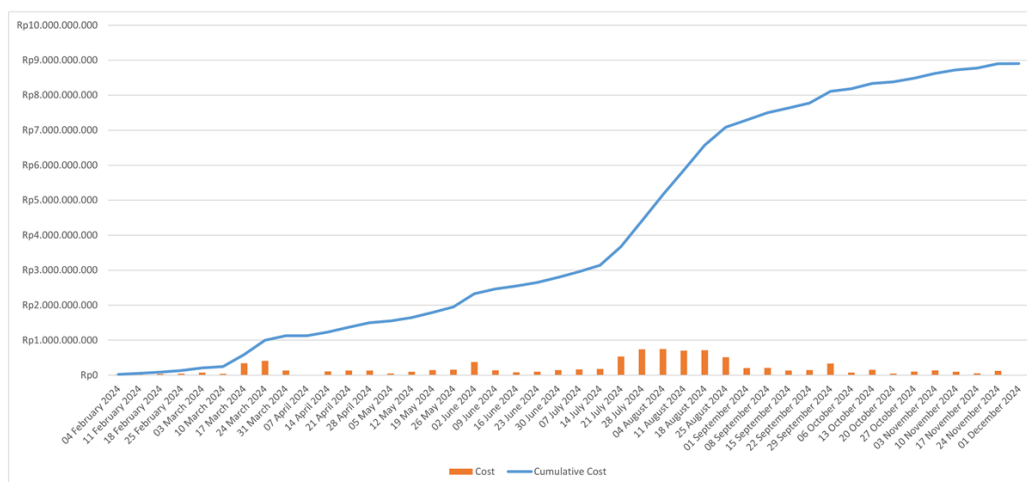
Kota Sukabumi Nomor. 14 Tahun 2022. DHS digunakan sebagai acuan dalam menyusun Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP). RAB disusun setelah proses pembuatan Harga Satuan Pekerjaan (HSP) selesai. Dalam penyusunan RAB, volume pekerjaan dikalikan dengan HSP yang telah dihitung sebelumnya. Berikut adalah RAB yang disusun untuk Proyek Jembatan Cisolok pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya

REKAPITULASI RENCANA ANGGARAN BIAYA			
No	Uraian Pekerjaan		Harga Total
1	DIV 1. UMUM	Rp	1.414.713.792
2	DIVISI 3. PEKERJAAN TANAH	Rp	1.125.189.763
3	DIVISI 6. PERKERASAN ASPAL	Rp	84.892.867
4	DIVISI 7. STRUKTUR	Rp	6.249.876.819
5	DIVISI 9. PEKERJAAN HARIAN & PEKERJAAN LAIN - LAIN	Rp	26.146.792
JUMLAH		Rp	8.900.820.032

3.4 Kurva S

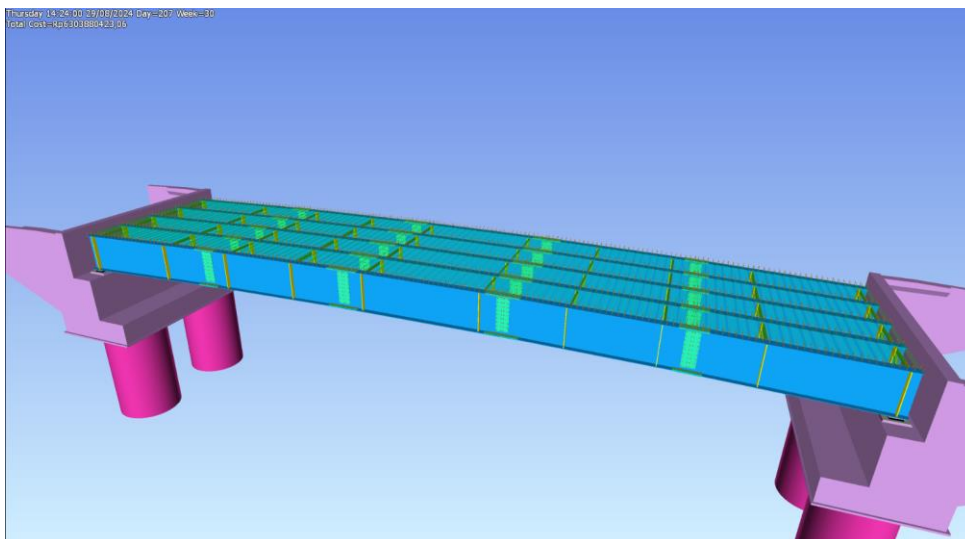
Kurva S dibuat menggunakan Microsoft Project dengan memasukan durasi dan biaya per pekerjaan. Metode ini menghasilkan grafik yang menggambarkan bobot pekerjaan, sehingga dapat menunjukkan progres setiap pekerjaan. Bobot pekerjaan dalam kurva S merupakan volume pekerjaan yang akan dikerjakan. Bobot ini dibagi sesuai dengan durasi yang telah diperhitungkan perharinya, sehingga diperoleh nilai bobot pekerjaan yang harus diselesaikan dalam rentang waktu per minggunya. Berikut adalah contoh kurva S yang disusun untuk Proyek Jembatan Cisolok dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 2. Kurva S

3.5 Simulasi 4D dan 5D

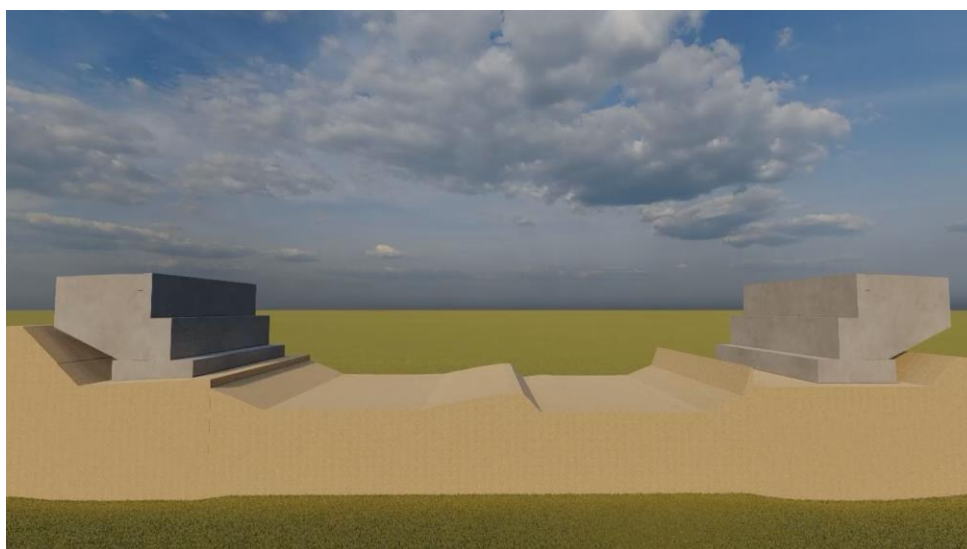
Pembuatan simulasi 4D dan 5D pada Jembatan Cisolok menggunakan bantuan *software* Autodesk Naviswork. *Input* jadwal yang sudah dibuat menggunakan Microsoft Project dan model 3D yang dibuat menggunakan Tekla Structures ke dalam Autodesk Naviswork dengan menintegrasikan bagian-bagian pada model jembatan. Dengan itu akan menghasilkan simulasi 4D yaitu berupa urutan pekerjaan dan 5D berupa estimasi biaya yang akan dikeluarkan pada setiap harinya. Berikut simulasi 4D dan 5D pada jembatan Cisolok dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Tampilan simulasi 4D dan 5D jembatan Cisolok

3.6 Animasi

Animasi Jembatan Cisolok dibuat menggunakan bantuan *software* Lumion, bahan yang digunakan untuk animasi yaitu model 3D yang telah dibuat menggunakan Tekla Structures. Model 3D jembatan yang telah dibuat di-*import* menggunakan Lumion agar tampilan jembatan terlihat lebih nyata. Dilakukan penambahan environment seperti pohon, kendaraan, dan orang agar suasana pada jembatan terlihat lebih nyata. Lalu menentukan posisi kamera yang akan dirender menjadi video dengan format MP4 dengan membuat *scene*. Animasi konstruksi Jembatan Cisolok dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Tampilan animasi jembatan Cisolok

3.7 Augmented Reality

Pembuatan *augmented reality* pada Jembatan Cisolok menggunakan bantuan *software* Unity 3D dan Vuforia Engine untuk *tracking* gambar. Model 3D yang telah dibuat pada Tekla Structures di-*import* ke dalam Unity 3D. Tampilan *augmented reality* dibantu dengan perangkat keras berupa *smartphone* dalam format APK. Hasil *augmented reality* pada Jembatan Cisolok dapat dilihat pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Tampilan *augmented reality* jembatan Cisolok

4. KESIMPULAN

Proses pemodelan Jembatan Cisolok dengan menggunakan Tekla Structures menghasilkan model 3D Jembatan Cisolok dan QTO material yang digunakan pada Jembatan Cisolok.

Penjadwalan penggantian Jembatan Cisolok dengan Microsoft Project mendapatkan hasil berupa durasi pekerjaan selama 172 hari dimulai dari tanggal 5 Februari 2024 hingga 4 Desember 2024. Durasi pekerjaan ini hanya pekerjaan struktur bawah, struktur atas, dan bangunan pelengkap jembatan.

Rencana anggaran biaya pembangunan Jembatan Cisolok dari hasil perhitungan AHSP dan HSP didapat harga sebesar Rp 8.900.820.032,00. Harga tersebut hanya pekerjaan struktur bawah, struktur atas, dan bangunan pelengkap jembatan.

Kurva S Jembatan Cisolok dibuat menggunakan Microsoft Project dengan memasukan uraian pekerjaan, durasi, ketergantungan pekerjaan, dan harga per pekerjaan yang menghasilkan bobot pekerjaan setiap minggunya.

Simulasi 4D dan 5D dibuat dengan memasukan data model 3D Jembatan Cisolok, penjadwalan, dan rencana anggaran biaya ke dalam *software* Naviswrok yang menghasilkan integrasi ketigas data tersebut berupa progres pembangunan Jembatan Cisolok berbentuk MP4.

Animasi konstruksi Jembatan Cisolok dibuat dari hasil model 3D yang telah dibuat pada *software* Tekla Structures, lalu di-*render* menggunakan *software* Lumion yang menghasilkan video animasi konstruksi dengan format MP4.

Augmented Reality Jembatan Cisolok dibuat dari hasil model 3D yang di-*tracking* menggunakan Vuforia Engine lalu di-*export* menggunakan Unity 3D menghasilkan model 3D Jembatan Cisolok yang dapat dilihat pada situasi nyata melalui perangkat keras berupa laptop ataupun *smartphone*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andaria, F. (2023). *Penerapan Building Information Modeling pada Konstruksi Jembatan Proyek KPBU Penggantian Jembatan CH di Cimanuk. Tugas Akhir*. Bandung: Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung.
- [2] Azhar, S. (2012). Building Information Modeling (BIM): Now and Beyond. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 12(4), 15-28.
- [3] Fakhruddin, P. H. (2019). Sosialisasi Aplikasi Teknologi Building Information Modelling (BIM) pada Sektor Konstruksi Indonesia. *JURNAL TEPAT: Teknologi Terapan untuk Pengabdian Masyarakat*, 2(2), 112-119. doi:10.25042/jurnal_tepat.v2i2.82
- [4] Firoz, S. &. (June 2012). Modelling Concept of Sustainable Steel Building by Tekla Software. *International Journal of Engineering Research and Development*, 1(5), 18-24.
- [5] Herawati, A. &. (2023). *Perancangan Penjadwalan dan Biaya Pelaksanaan dengan Penerapan BIM pada Konstruksi Jembatan Promenade Taman Mini Indonesia Indah. Tugas Akhir*. Bandung: Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung.
- [6] Johnson, R. &. (2003). *Digital Innovation and Organizational Change in Design Practice*. CRS Center Working Paper 2, CRS Center: Texas A&M University. doi:10.52842/conf.acadia.2003.179
- [7] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2018). *Modul 3 Prinsip Dasar Sistem Teknologi BIM dan Implementasinya di Indonesia*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [8] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2021). *Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 11/SE/Db/2021 Penerapan Building Information Modelling Pada Perencanaan Teknis, Konstruksi dan Pemeliharaan Jalan dan Jembatan di Direktorat Jenderal Bina Marga*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [9] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2022). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 1 Tahun 2022 tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [10] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2023). *Pedoman Bidang Jalan No. 12/P/BM/2023 tentang Pedoman Implementasi Building Information Modelling (BIM) pada Lingkup Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [11] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2023). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 8 Tahun 2023 tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [12] Kymmell, W. (2008). *Building Information Modelling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations 1st Edition*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- [13] Pantiga, J. &. (Juni 2021). Kajian Implementasi Building Information Modeling (BIM) di Dunia Konstruksi Indonesia. *Rekayasa Sipil*, 15(2), 104-110. doi:10.21776/ub.rekayasasipil.2021.015.02.4
- [14] Sudrajat, A. &. (2022). *Simulasi Penerapan Building Information Modelling pada Jembatan Cinumpang Kabupaten Sukabumi. Tugas Akhir*. Bandung: Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung.
- [15] Trimble. (2017). *Tekla Structures Foundation Course*. Singapore: Trimble Solutions (SEA) Pte. Ltd.