

Redesain Jalan Akses Dermaga IHM Dengan Implementasi *Building Information Modelling*

*Muhammad Wardani & Almuntofa Purwanto

Jurusan/ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya

*)wardanidani208@gmail.com

Received: 19 Februari 2024, Revised: 25 Februari 2024, Accepted: 26 Februari 2024

Abstract

The rapid development of Indonesian construction, especially in the capital city of the Nusantara, which is undergoing intense development, requires all parties involved to work effectively and efficiently. A method is needed to face these challenges. The BIM method is considered superior in terms of effectiveness and efficiency compared to conventional methods. In the PT ITCI Hutani Manunggal dock access road construction package, the planning is still using conventional methods. So that the package is re-planned by implementing BIM. This research aims to redesign the horizontal and vertical alignment planning of roads located in Penajam Paser Utara Regency with the implementation of Building Information Modeling. In the research process, the data analysis technique uses the BIM method which consists of 4 stages, namely modeling of plan traces and profiles, horizontal alignment redesign, vertical alignment redesign, and 3D BIM visualization. This research uses secondary data, namely detailed engineering design drawings and lidar contours. The redesign results obtained 27 Intersect Points and 72 Vertical Intersect Points made road geometric adjustments in order to meet the minimum permitted standards. The implementation of BIM provides a clear initial picture of the form of road infrastructure that is built in an integrated manner.

Keywords: *Building Information Modelling, Implementation, Road redesign.*

Abstrak

Pesatnya perkembangan konstruksi Negara Indonesia, khususnya di Ibu Kota Nusantara yang sedang mengalami pembangunan yang intens mengharuskan semua pihak terlibat untuk bekerja secara efektif dan efisien. Diperlukan metode dalam menghadapi tantangan tersebut. Metode BIM dinilai lebih unggul dari segi efektivitas dan efisiensi dibandingkan metode konvensional. Pada paket pembangunan jalan akses dermaga PT. ITCI Hutani Manunggal, perencanaannya masih menggunakan metode konvensional. Sehingga paket tersebut direncanakan ulang dengan mengimplementasikan BIM. Penelitian ini bertujuan untuk redesign perencanaan alinyemen horizontal dan vertikal jalan yang berlokasi di Kabupaten Penajam Paser Utara dengan implementasi Building Information Modelling. Dalam proses penelitian, teknik analisis data menggunakan metode BIM yang terdiri dari 4 tahapan, yaitu permodelan trase dan profil rencana, redesign alinyemen horizontal, redesign alinyemen vertikal, dan visualisasi BIM 3D. Penelitian ini menggunakan data sekunder yaitu gambar detail engineering design dan kontur lidar. Hasil redesign diperoleh 27 Point Intersect dan 72 Point Vertical Intersect dilakukan penyesuaian geometrik jalan agar dapat memenuhi standar minimum yang diizinkan. Dengan Implementasi BIM memberikan gambaran awal yang jelas terhadap bentuk infrastruktur jalan yang terbangun secara terintegrasi.

Kata kunci: *Building Information Modelling, Implementasi, Redesain Jalan.*

Pendahuluan

Dalam riset Papadonikolaki et al. (2019) industri konstruksi saat ini sedang mengalami transformasi digital dikarenakan teknologi yang muncul. Hal

tersebut membuat perkembangan dunia konstruksi di Indonesia semakin maju khususnya dalam perkembangan dunia teknologi konstruksi yang dibuktikan dengan terbitnya sebuah surat edaran nomor 11 tahun 2021 tentang penerapan BIM pada

perencanaan teknis jalan di Direktorat Jendral Bina Marga yang bertujuan untuk mewujudkan transformasi digital dibidang konstruksi.

Dalam konteks pengembangan infrastruktur, jalan merupakan komponen penting dalam mengembangkan ekonomi dan peradaban suatu negara (Vijayakumar et al., 2023). Perencanaan jalan yang efisien dan akurat sangat penting untuk memastikan proyek infrastruktur berjalan dengan lancar, dan menghindari masalah yang mungkin muncul selama tahap konstruksi maupun operasional.

Melihat pesatnya perkembangan konstruksi Negara Indonesia terutama di Ibu Kota Nusantara yang sekarang lagi gencar-gencarnya pembangunan, tentu perlu sebuah akses material konstruksi baik dari dalam pulau ataupun luar pulau yang berjumlah cukup besar pula. Dan untuk mewujudkan kelancaran pembangunan Ibu Kota Negara Nusantara diperlukan jalan akses material yang memadai. Oleh karena itu, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat mengadakan paket Pembangunan Jalan Akses Dermaga PT. ITCI Hutani Manunggal (IHM) guna melancarkan mobilisasi material untuk pembangunan konstruksi di Ibu Kota Nusantara. Salah-satu paket pembangunan Jalan Akses Dermaga PT. ITCI Hutani Manunggal dengan panjang total yaitu 8,7 Kilometer. Dalam perencanaan jalan ini masih menggunakan metode konvensional. Hal ini, akan menjadi sebuah tantangan atau pusat perhatian bagi para pelaku konstruksi. Tentu semua tantangan ini memerlukan sebuah strategi ataupun metode yang dapat menjawab masalah tersebut.

Sebelum berkembangnya metode *Building Information Modelling*, dalam perencanaan secara konvensional sering kali melibatkan banyak tahap yang manual. Seperti halnya di dalam riset Yang et al. (2022) tahapan yang sering kali terjadi dalam metode konvensional seperti perhitungan kuantitas secara manual dan estimasi biaya secara manual sehingga dapat mengakibatkan ketidaksielarasan informasi dan potensi terjadinya kesalahan.

Dengan mengetahui beberapa permasalahan tersebut perlunya sebuah perencanaan yang efektif dan efisien. Menurut Rizqy et al. (2021) penggunaan metode *Building Information Modelling* lebih unggul dari segi mutu dan waktu dibandingkan dengan metode konvensional. Teknologi *Building Information Modelling* juga sangat efektif untuk mendukung konstruksi ramping (Zhao et al., 2023). Kedua Pernyataan tersebut diperkuat juga oleh penelitian Rugas & Purwantoro (2023) yang menyatakan

pengimplementasian metode *Building Information Modelling* masih jarang digunakan pada proyek konstruksi.

Building Information Modelling adalah sebuah proses, yang sering disebut sebagai pendorong berbagai manfaat dalam bidang *architecture, engineering, and construction* (AEC), untuk menciptakan dan mengelola informasi aset-aset yang dibangun (Olofsson Hallén et al., 2023).

Keuntungan menggunakan BIM sangat banyak dan tidak hanya terbatas pada *real-time interaction* saja, namun inovasi ini juga mengurangi potensi kesalahan dan meningkatkan efektivitas desain dalam hal fungsionalitas dan biaya (Bongiorno et al., 2019).

Selain itu, menurut Lestari et al. (2021) terdapat beberapa kelebihan metode BIM di dalam perhitungan estimasi biaya seperti menghemat waktu, dapat revisi data dengan efisien, dan minim kesalahan perhitungan, lebih akurat dibandingkan dengan perhitungan konvensional. Bukan hanya dalam segi estimasi, di lansir dari Alasmari et al. (2022) metode *Buiding Information Modelling* juga memiliki kelebihan dalam manajemen data, metode ini menyediakan sumber informasi yang dapat digunakan di sepanjang siklus hidup proyek. Dengan meningkatkan akurasi desain dan perencanaan konstruksi, BIM dapat membantu mengurangi pemborosan material (Al-Sarafi et al., 2023).

Melihat dari beberapa penelitian keuntungan menggunakan metode BIM terdapat kategori tantangan utama dalam implementasinya yaitu Organisasi, teknis, regulasi, dan lingkungan (Umar, 2022). Selain itu adopsinya tetap menjadi tantangan bagi industri *Architecture, Engineering, Construction and Operation* (AECO) karena memerlukan pergeseran ke cara kerja yang baru (Charef et al., 2019).

BIM telah memiliki dampak positif pada banyak aplikasi konstruksi, seperti standarisasi alur kerja, integrasi informasi, manajemen proyek, dan analisis data (Chen & Xue, 2023). BIM juga telah meningkatkan minat bagi pelaku konstruksi di industri konstruksi karena peluangnya yang lebih cepat dan lebih efisien dalam desain, perencanaan, konstruksi, operasi, dan manajemen fasilitas (Ozturk, 2020).

Oleh karena itu, penggunaan Metode BIM dalam penelitian ini dapat menjadi solusi yang potensial untuk mengatasi tantangan yang sedang terjadi di dalam dunia konstruksi.

Penelitian ini penting dilakukan dikarenakan menurut Tang et al. (2020) banyak penelitian hanya mengimplementasikan BIM pada proyek *architectural, construction or manufacturing projects*, sedangkan pada proyek infrastruktur jalan hampir tidak digunakan. Sehingga, Penulis bermaksud untuk memfokuskan penelitian ini pada proyek infrastruktur jalan dengan tujuan penelitian berupa redesign alinyemen horizontal dan alinyemen vertikal jalan dengan implementasi *Building Information Modelling* yang saling terintegrasi. Dengan implementasi BIM pada redesign jalan ini dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam pengerjaan dikarenakan dapat menghemat waktu dalam proses pembuatan gambar *Detail Engineering Design* yang akurat serta dapat membuat visualisasi model 3D yang mudah dipahami berbagai pihak.

Metode

Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada paket pembangunan jalan akses Dermaga PT. ITCI Hutani Manunggal, Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Data Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan data sekunder berupa gambar *Detail Engineering Design* dan data kontur *Lidar*.

Adapun perangkat dan *software* yang digunakan di dalam penelitian sebagai berikut.

a. Perangkat

Satu unit laptop Acer Nitro 5 dengan sistem operasi *Windows 11* 64-bit, Prosesor: Intel i5-12500H, *Graphics card*: NVIDIA GeForce RTX 3050

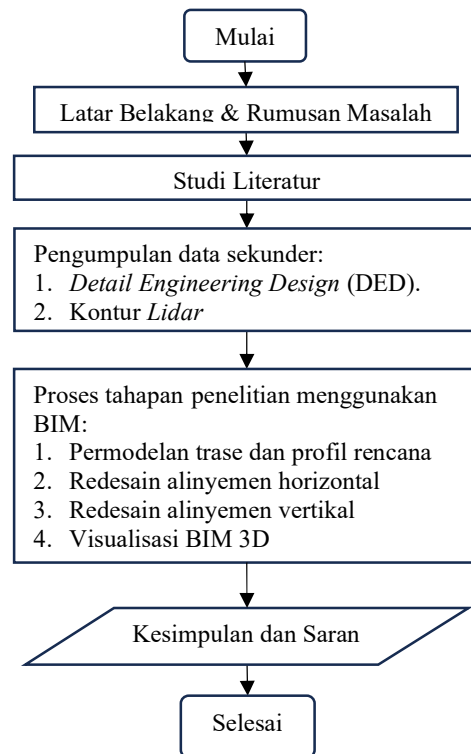
b. Software

Autodesk Civil 3D, *Infraworks* dan *Autodesk Revit*.

Teknik Analisis Data

Pada penelitian ini teknik analisis data menggunakan metode *Building Information Modelling* dengan bantuan perangkat lunak *Autodesk Civil 3D*, *Infraworks*, dan *Autodesk Revit*. Proses penelitian menggunakan metode BIM terdiri dari 4 tahapan, yaitu permodelan trase dan profil rencana, redesign alinyemen horizontal, redesign alinyemen vertikal, dan visualisasi BIM 3D.

Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Hasil Penelitian

Informasi proyek

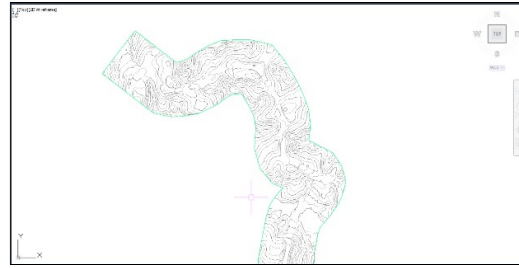
Penelitian menggunakan data sekunder perencanaan jalan Akses Dermaga PT. ITCI Hutani Manunggal. Adapun informasi jalan tersebut sebagai berikut.

1. Panjang total pekerjaan : 8.7 Km
2. Tipe jalan : 4 Lajur 2 Arah
3. Lebar badan jalan : 8 m
4. Lebar bahu jalan : 2 m
5. Kemiringan normal : -3%

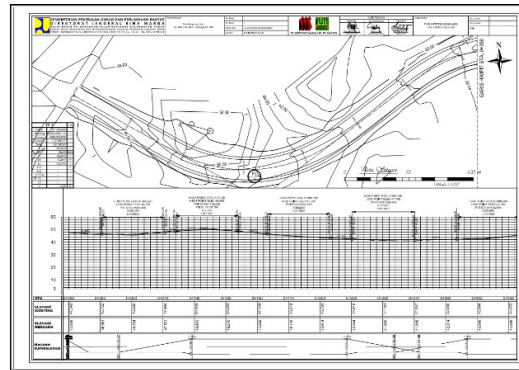
- 6. Lokasi proyek : Kab. Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur
- 7. Perkerasan Badan Jalan : Lapis Permukaan Tanpa Penutup Aspal, $t=10\text{cm}$; Lapis Fondasi Agregat Tanpa Penutup Aspal, $t=20\text{ cm}$
- 8. Perkerasan Bahu Jalan : Lapis Fondasi Agregat Kls S, $t = 15\text{ Cm}$, Timbunan Pilihan Dari Sumber Galian, $t = 15\text{ cm}$

Data Sekunder

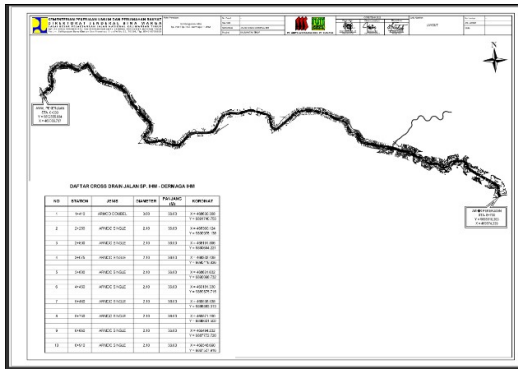
Data sekunder yang digunakan berupa gambar *Detail Engineering Design* dan kontur *Lidar* yang diperoleh dari konsultan perencana proyek pembangunan jalan akses Dermaga PT. ITCI Hutani Manunggal Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur bisa dilihat pada Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6.



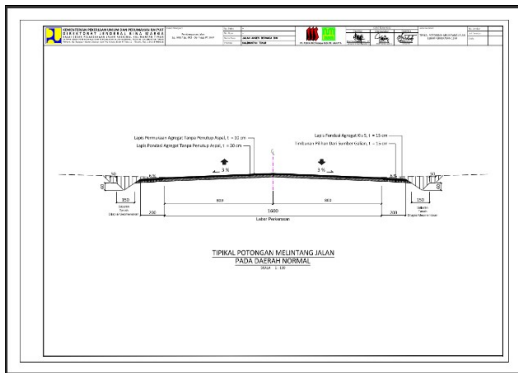
Gambar 5. Kontur Lidar



Gambar 6. Long Section Jalan



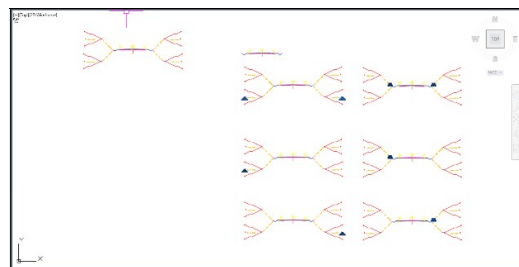
Gambar 3. Layout Jalan



Gambar 4. Cross Section Jalan

Pembuatan Assembly Jalan

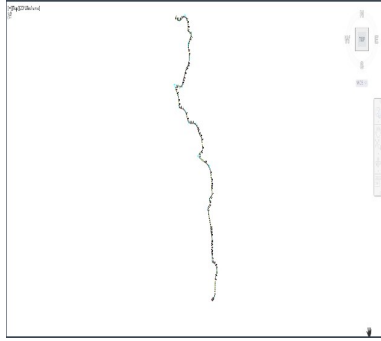
Sebelum melakukan pengolahan data di dalam *software Autodesk Civil 3D* penting dilakukan pembuatan *Assembly* jalan untuk digunakan sebagai *corridor* trase rencana dan profil rencana jalan tersebut. Adapun hasil pembuatan *assembly* jalan bisa dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Assembly Jalan

Permodelan trase rencana (Alignment)

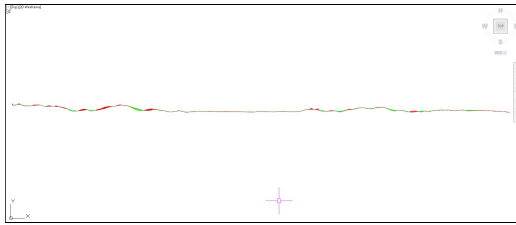
Dalam tahapan pembuatan trase rencana bertujuan agar menghasilkan desain jalan yang aman, efisien, dan optimal. Hasil pembuatan trase rencana bisa dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Trase rencana

Permodelan profil rencana (long-section)

Dalam tahapan pembuatan profil rencana bertujuan untuk menentukan tingkat kesesuaian antara jalan dengan kondisi medan. Hasil pembuatan profil rencana bisa dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Profil rencana

Redesain Alinyemen Horizontal

Alignment Design Criteria Verification Report	
Date: 24/02/2024 13:00:09	
Alignment Name: Alignment - Jalan Akses Dermaga Logistik IHM IKN	
Description: Station Range: Start: 0+000.00, End: 8+717.48	
Client:	Prepared by:
1 Tangent	
Start Station:	0+000.00
End Station:	0+065.88
Length:	65.878m
Design Speed:	40
Design Checks:	
2 Tangent	
Start Station:	0+252.24
End Station:	0+296.76
Length:	44.523m
Design Speed:	40
Design Checks:	
3 Tangent	
Start Station:	0+534.45
End Station:	0+586.20
Length:	51.748m
Design Speed:	40
Design Checks:	
4 Tangent	
Start Station:	0+718.51
End Station:	0+739.83
Length:	21.321m
Design Speed:	40
Design Checks:	
5 Tangent	
Start Station:	0+853.69
End Station:	0+884.83
Length:	31.144m
Design Speed:	40
Design Checks:	

Gambar 10. Hasil Redesain Alinyemen Horizontal

Dalam redesain alinyemen horizontal dilakukan beberapa penyesuaian terhadap data alinyemen horizontal desain sebelumnya. Hasil redesain yang terlihat pada Gambar 10 tidak terdapat simbol *warning* yang menunjukkan bahwa desain memenuhi syarat batas minimum geometrik jalan. Adapun jumlah *Point Intersect* yang dilakukan perubahan atau redesain ada pada 27 PI yang terdiri dari tipe tikungan S-C-S yaitu 8 tikungan, tipe tikungan FC yaitu 12 tikungan, dan tipe tikungan SS yaitu 7 tikungan.

Redesain Alinyemen Vertikal

Profile Design Criteria Verification Report	
Date: 24/02/2024 13:00:44	
Vertical Alignment: FG - Jalan Akses Dermaga Logistik IHM IKN	
Description: Station Range: Start: 0+000.00, End: 8+717.48	
Client:	Prepared by:
1 Sag Curve:Parabolic	
PVC Station:	0+045.23
PVI Station:	0+058.73
PVT Station:	0+072.23
Grade in(%):	2.00%
Grade out(%):	5.00%
Curve Length:	27.000m
K:	9.00
Design Speed:	40
Design Criteria:	
Minimum K for Headlight Sight Distance:	9.000m Violated
Design Checks:	
2 Crest Curve:Parabolic	
PVC Station:	0+090.50
PVI Station:	0+115.50
PVT Station:	0+140.50
Grade in(%):	5.00%
Grade out(%):	-7.00%
Curve Length:	50.000m
K:	4.17
Design Speed:	40
Design Criteria:	
Minimum K for Stopping Sight Distance:	4.000m Cleared
Minimum K for Passing Sight Distance:	23.000m Violated
Design Checks:	
3 Sag Curve:Parabolic	
PVC Station:	0+204.70
PVI Station:	0+232.20
PVT Station:	0+259.70
Grade in(%):	-7.00%
Grade out(%):	-0.91%
Curve Length:	55.000m
K:	9.04
Design Speed:	40
Design Criteria:	
Minimum K for Headlight Sight Distance:	9.000m Cleared
Design Checks:	

Gambar 11. Hasil Redesain Alinyemen Vertikal

Dalam redesain alinyemen vertikal penulis semaksimal mungkin melakukan iterasi untuk mendapatkan hasil desain alinyemen vertikal yang tetap bisa dilewati oleh pengemudi dan memperhatikan faktor keekonomisan dalam desain. Hasil redesain yang terlihat pada Gambar 11 terdapat beberapa tulisan *Violated* di stasiun tertentu yang artinya ada sesuatu yang tidak memenuhi standar izin minimum. Hal ini dikarenakan stasiun tersebut akan menimbulkan biaya yang besar jika tetap dirancang di atas batas

minimum, namun hal ini dapat ditoleransi dan teratasi dengan memberikan rambu larangan dan rambu peringatan sehingga desain tersebut tetap dalam batas aman jika dilalui oleh pengemudi. Adapun jumlah *Point Vertical Intersect* yang dilakukan perubahan atau redesain ada pada 72 PVI yang terdiri dari 31 lengkung cekung (*sag*) dan 41 lengkung cembung (*crest*).

Implementasi BIM 3D

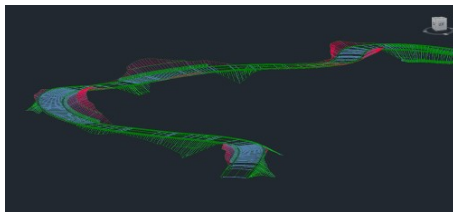
Implementasi BIM 3D pada perencanaan jalan yaitu untuk memperjelas gambaran awal tentang hasil yang akan terbangun di proyek tersebut. Adapun hasil visualisasi BIM bisa dilihat pada Gambar 12, Gambar 13, Gambar 14, Gambar 15, Gambar 16, dan Gambar 17. Serta dapat diakses dengan *barcode* pada Gambar 18.



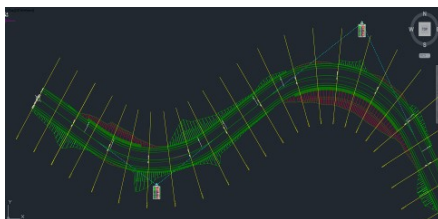
Gambar 12. *Output BIM 3D Infracworks* Jalan Akses Dermaga PT. ITCI Hutani Manunggal



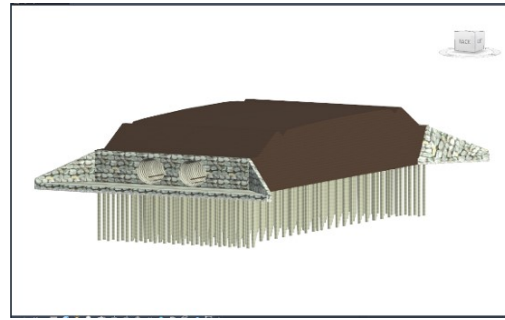
Gambar 13. *Output BIM 3D Infracworks* Jalan Akses Dermaga PT. ITCI Hutani Manunggal



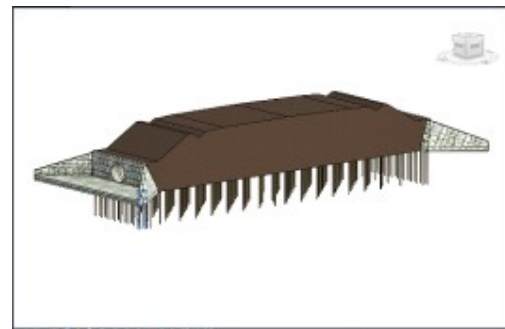
Gambar 14. *Output BIM Autodesk Civil 3D* Jalan Akses Dermaga PT. ITCI Hutani Manunggal



Gambar 15. *Output BIM Autodesk Civil 3D* Jalan Akses Dermaga PT. ITCI Hutani Manunggal



Gambar 16. *Output BIM 3D Autodesk Revit ARMCO 3M*



Gambar 17. *Output BIM 3D Autodesk Revit ARMCO 2.1M*



Gambar 18. *Barcode Akses Output BIM 3D* Jalan Akses Dermaga PT. ITCI Hutani Manunggal

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah hasil redesain alinyemen horizontal terdapat 27 PI dan redesain alinyemen vertikal terdapat 72 PVI yang dilakukan perubahan atau penyesuaian geometrik jalan agar memenuhi batas standar minimum yang diizinkan. Dengan

implementasi *Building Information Modelling* pada redesign alinyemen horizontal dan alinyemen vertikal jalan ini memberikan gambaran awal yang jelas tentang hasil yang akan terbangun di dalam proyek tersebut.

Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, penulis mengajukan saran kepada para pembaca atau peneliti berikutnya untuk terus menggali lebih dalam tentang topik ini. Terutama, diharapkan penelitian selanjutnya dapat lebih memperdalam implementasi metode *Building Information Modelling* pada berbagai jenis pekerjaan perkerasan, baik yang bersifat lentur (*flexible pavement*) maupun yang bersifat kaku (*rigid pavement*), guna meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan konstruksi infrastruktur. Selain itu, penting juga untuk menyelidiki berbagai objek infrastruktur lainnya seperti jembatan, fasilitas parkir, bandara, pelabuhan, serta jalur rel kereta api. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pandangan yang lebih holistik dan aplikatif dalam mengintegrasikan teknologi informasi untuk pengembangan infrastruktur yang lebih canggih dan efektif ke depannya.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini berhasil dilaksanakan berkat dukungan dari berbagai pihak, baik dalam bentuk dukungan dana maupun pengetahuan. Oleh karena itu, peneliti ingin mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia (Kemendikbudristek) melalui program Kartu Indonesia Pintar (KIP-KULIAH), serta kepada Dinas Pendidikan Provinsi Kalimantan Tengah melalui program Beasiswa Berkah (TABE), atas dukungan dan bantuannya dalam pembiayaan penelitian ini. Kesempatan ini merupakan sebuah kehormatan dan peluang yang sangat berharga bagi peneliti dalam mengejar impian dan mengembangkan pengetahuan. Terima kasih atas segala kesempatan yang diberikan.

Daftar Pustaka

- Alasmari, E., Martinez-Vazquez, P., & Baniotopoulos, C. (2022). A Systematic Literature Review of the Adoption of Building Information Modelling (BIM) on Life Cycle Cost (LCC). *Buildings*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/buildings12111829>
- Al-Sarafi, A. H., Alias, A. H., Jakarni, F. M., Shafri, H. Z. M., & Gamil, Y. (2023).

Building Information Modelling: Challenges, Benefits, and Prospects for Adoption in Developing Countries. In M. Al-Emran, M. A. Al-Sharafi, & K. Shaalan (Eds.), *International Conference on Information Systems and Intelligent Applications* (pp. 551–566). Springer International Publishing.

- Bongiorno, N., Bosurgi, G., Carbone, F., Pellegrino, O., & Sollazzo, G. (2019). Potentialities of a Highway Alignment Optimization Method in an I-BIM Environment. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 63(2), 352–361. <https://doi.org/10.3311/PPci.12220>
- Charef, R., Emmitt, S., Alaka, H., & Fouchal, F. (2019). Building Information Modelling adoption in the European Union: An overview. *Journal of Building Engineering*, 25, 100777. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.job.2019.100777>
- Chen, S.-H., & Xue, F. (2023). Automatic BIM detailing using deep features of 3D views. *Automation in Construction*, 148, 104780. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104780>
- Lestari, R. T., Yufriзал, A. H., & Andreas, A. (2021). Kelebihan Dan Kekurangan BIM Untuk Estimasi Biaya Berdasarkan Studi Literatur. *Density (Development Engineering of University) Journal*, 4(1), 1–6.
- Olofsson Hallén, K., Forsman, M., & Eriksson, A. (2023). Interactions between Human, Technology and Organization in Building Information Modelling (BIM) - A scoping review of critical factors for the individual user. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 97, 103480. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ergon.2023.103480>
- Ozturk, G. B. (2020). Interoperability in building information modeling for AECO/FM industry. *Automation in Construction*, 113, 103122. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103122>
- Papadonikolaki, E., van Oel, C., & Kagioglou, M. (2019). Organising and Managing boundaries: A structural view of collaboration with Building Information Modelling (BIM). *International Journal of Project Management*, 37(3), 378–394.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2019.01.010>
- Rizqy, R. M., Martina, N., & Purwanto, H. (2021). Perbandingan Metode Konvensional Dengan BIM Terhadap Efisiensi Biaya, Mutu, Waktu. In *Construction and Material Journal*. <http://jurnal.pnj.ac.id/index.php/cmj>
- Rugas, Z., & Purwanto, A. (2023). Perancangan Struktur Pada Bangunan Bertingkat Menggunakan Metode Building Information Modeling. *Jurnal Basement*, 1(2), 157–163.
- Tang, F., Ma, T., Zhang, J., Guan, Y., & Chen, L. (2020). Integrating three-dimensional road design and pavement structure analysis based on BIM. *Automation in Construction*, 113, 103152. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103152>
- Umar, T. (2022). Challenges of BIM implementation in GCC construction industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 29(3), 1139–1168. <https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2019-0608>
- Vijayakumar, A., Mahmood, M. N., Gurmu, A., Kamardeen, I., & Alam, S. (2023). Social sustainability assessment of road infrastructure: a systematic literature review. *Quality & Quantity*. <https://doi.org/10.1007/s11135-023-01683-y>
- Yang, S.-W., Moon, S.-W., Jang, H., Choo, S., & Kim, S.-A. (2022). Parametric Method and Building Information Modeling-Based Cost Estimation Model for Construction Cost Prediction in Architectural Planning. *Applied Sciences*, 12(19), 9553.
- Zhao, X., Chen, H., Liu, J., Liu, J., Zhang, M., Tao, Y., Li, J., & Wang, X. (2023). Research on Full-Element and Multi-Time-Scale Modeling Method of BIM for Lean Construction. *Sustainability*, 15(17). <https://doi.org/10.3390/su151712717>