

Analisis Efektivitas Clash Detection Berbasis Building Information Modelling (BIM) dalam Pengurangan Risiko dan Konflik Konstruksi pada Proyek Jalan Tol

Firman Aziz¹, Kartono Wibowo², Juny Andry Sulisty³

^{1,2,3} Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung
Email Korespondensi : firmanazizstudi@yahoo.com

ABSTRACT

Toll road projects in Indonesia face high levels of design complexity and multidisciplinary coordination, potentially leading to design conflicts and rework during construction. This study aims to analyze the implementation process and effectiveness of Building Information Modelling (BIM)-based clash detection in identifying design conflicts and estimating potential rework cost avoidance within a toll road project case study. A quantitative case study approach was employed, using secondary data from Detailed Engineering Design (DED) documents and primary data from field observations. Autodesk Revit was used for modelling and Autodesk Navisworks for clash detection analysis. The results show that BIM can integrate multidisciplinary models and automatically detect design conflicts, including hard clashes and contextual soft clashes, before construction. Two main conflicts were identified within the study scope: a hard clash between a pile cap and an existing road, and a soft clash involving a planned embankment in a flood-prone area. The total potential avoidable rework cost was IDR 3,488,359,226, with BIM implementation costs of IDR 304,815,000, yielding a potential net avoided cost of IDR 3,183,544,226. The Risk Elimination Rate of Clash (RERC) of 100% applies only to the two conflicts identified and verified within the study scope, rather than to all possible conflicts. Implementation effectiveness was also influenced by the timing of clash detection and the level of model detail. The study highlights the importance of integrating BIM from the planning stage to improve efficiency, design accuracy, and more measurable construction risk mitigation.

Keywords: Building Information Modelling (BIM), clash detection, construction risk, toll road projects, cost-effectiveness, design coordination

ABSTRAK

Proyek jalan tol di Indonesia menghadapi kompleksitas desain dan koordinasi multidisiplin yang tinggi, sehingga berpotensi menimbulkan konflik desain dan pekerjaan ulang pada tahap konstruksi. Penelitian ini bertujuan menganalisis proses implementasi dan efektivitas *clash detection* berbasis *Building Information Modelling* (BIM) dalam mengidentifikasi konflik desain serta memperkirakan potensi penghindaran biaya rework pada lingkup studi kasus proyek jalan tol. Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan studi kasus, memanfaatkan data sekunder berupa *Detailed Engineering Design* (DED) dan data primer melalui observasi lapangan. Pemodelan dilakukan menggunakan Autodesk Revit dan Autodesk Navisworks untuk analisis *clash detection*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa BIM mampu mengintegrasikan model lintas disiplin dan mendeteksi konflik desain secara otomatis, baik berupa *hard clash* maupun *soft clash* kontekstual, sebelum tahap konstruksi. Dalam lingkup studi ini, teridentifikasi dua konflik utama, yaitu *hard clash* antara *pile cap* dan jalan eksisting serta *soft clash* pada rencana timbunan di area rawan genangan. Total potensi biaya rework yang dapat dihindari adalah Rp3.488.359.226, dengan biaya implementasi BIM sebesar Rp304.815.000, sehingga potensi *avoided cost* bersih mencapai Rp3.183.544.226. Nilai *Risk Elimination Rate of Clash* (RERC) sebesar 100% hanya berlaku untuk dua konflik yang teridentifikasi dan diverifikasi dalam lingkup studi, bukan untuk seluruh kemungkinan konflik yang ada. Efektivitas implementasi juga dipengaruhi oleh waktu pelaksanaan *clash detection* dan tingkat kedetailan model. Penelitian ini berimplikasi pada pentingnya integrasi BIM sejak tahap perencanaan untuk meningkatkan efisiensi, akurasi desain, dan mitigasi risiko konstruksi secara lebih terukur.

Kata kunci: Building Information Modelling (BIM), clash detection, risiko konstruksi, proyek jalan tol, efektivitas biaya, koordinasi desain

1. PENDAHULUAN

Proyek konstruksi infrastruktur di Indonesia, khususnya pembangunan jalan tol, dihadapkan pada tantangan kompleksitas desain, keterlibatan multi-disiplin, serta tekanan jadwal yang ketat. Kondisi ini menuntut tingkat koordinasi yang tinggi antar pemangku kepentingan agar pelaksanaan proyek berjalan efisien dan minim risiko. Salah satu contohnya adalah proyek jalan tol pada salah satu paket pekerjaan yang berada di kawasan akses pelabuhan utama dan masuk dalam kategori proyek strategis nasional, yang melibatkan berbagai disiplin pekerjaan, seperti pekerjaan tanah, struktur, dan utilitas. Kompleksitas tersebut meningkatkan potensi terjadinya konflik desain, terutama ketika integrasi antar elemen tidak dikelola secara optimal sejak tahap perencanaan.

Pendekatan konvensional berbasis gambar dua dimensi (2D) terbukti memiliki keterbatasan dalam mengidentifikasi konflik spasial antar elemen desain yang berbeda (Sacks et al., 2018). Dalam proyek infrastruktur skala besar, permasalahan yang sering muncul adalah clash atau tumpang tindih antar komponen konstruksi. Kesalahan koordinasi desain bahkan menjadi salah satu penyebab utama terjadinya pengerjaan ulang (rework), yang dapat meningkatkan biaya proyek sebesar 5% hingga 15% dari nilai kontrak (Han et al., 2013). Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan yang mampu mengintegrasikan data desain secara komprehensif sekaligus melakukan deteksi konflik secara otomatis sebelum tahap konstruksi dimulai.

Dalam konteks ini, Building Information Modelling (BIM) hadir sebagai solusi transformatif yang memungkinkan integrasi model tiga dimensi (3D) dari berbagai komponen dalam satu platform digital yang terkoordinasi. Salah satu fitur utama dalam BIM adalah clash detection, yaitu proses otomatis untuk mengidentifikasi tabrakan geometris antar komponen model sebelum pekerjaan fisik dilaksanakan. Dengan kemampuan ini, BIM tidak hanya meningkatkan kualitas visualisasi, tetapi juga memperkuat proses koordinasi lintas disiplin dan pengambilan keputusan berbasis data.

Beberapa penelitian terdahulu (e.g., Akponeware & Adamu, 2017; Chahrour et al., 2021; Tadeusz Daszczyński, 2022) menunjukkan bahwa penerapan BIM, khususnya dalam *clash detection*, mampu meningkatkan efisiensi koordinasi desain, mengurangi jumlah konflik, serta menekan potensi pemborosan biaya dan waktu proyek. Meski demikian, sebagian besar studi masih berfokus pada proyek bangunan gedung, sementara implementasi pada proyek infrastruktur jalan di Indonesia masih relatif terbatas. Keterbatasan tersebut tidak hanya terletak pada jumlah studi, tetapi juga pada belum

banyaknya penelitian yang secara simultan menguraikan proses implementasi, mengidentifikasi jenis konflik, dan mengukur efektivitas *clash detection* dengan dasar perhitungan yang transparan pada proyek jalan tol. Berangkat dari kesenjangan tersebut, penelitian ini tidak hanya difokuskan pada analisis proses implementasi *clash detection* berbasis BIM dalam mendeteksi konflik desain secara otomatis, tetapi juga pada identifikasi konflik desain untuk mengungkap potensi kesalahan kritis sebelum memasuki tahap pelaksanaan konstruksi. Secara konseptual, penelitian ini membangun alur analisis: *clash detection*, identifikasi konflik, evaluasi/resolusi desain, perkiraan potensi *rework* dan biaya yang dapat dihindari. Efektivitas dalam penelitian ini diukur melalui jumlah konflik yang teridentifikasi dalam lingkup studi, jenis konflik, serta potensi *avoided cost* yang dihitung dari data biaya yang tersedia. Penelitian ini juga mengkaji tingkat efektivitas penerapan *clash detection* berbasis BIM dalam meminimalkan potensi risiko dan konflik selama tahap konstruksi proyek jalan tol. Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi empiris bagi penguatan praktik implementasi BIM pada proyek infrastruktur, khususnya dalam meningkatkan efisiensi, ketepatan perencanaan, serta upaya mitigasi risiko konstruksi secara lebih terukur.

Perkembangan teknologi digital dalam industri konstruksi telah mendorong transformasi signifikan dalam proses perencanaan, desain, dan pelaksanaan proyek. Salah satu inovasi yang paling berpengaruh adalah Building Information Modelling (BIM), yang memungkinkan integrasi informasi geometris dan non-geometris dalam satu model digital berbasis tiga dimensi (3D) (Borrmann et al., 2015; Liu et al., 2019; Sacks et al., 2018; Zhu et al., 2018). BIM tidak hanya berfungsi sebagai alat visualisasi, tetapi juga sebagai platform kolaboratif yang mendukung koordinasi lintas disiplin secara lebih efektif (Azhar, 2011). Dengan kemampuan ini, BIM berperan penting dalam meningkatkan kualitas perencanaan serta mengurangi potensi kesalahan yang sering terjadi pada pendekatan konvensional berbasis gambar dua dimensi (2D) (Akponeware & Adamu, 2017). Salah satu fitur utama dalam BIM yang berkontribusi langsung terhadap peningkatan kualitas desain adalah deteksi benturan (*clash detection*). Fitur ini memungkinkan identifikasi otomatis terhadap konflik geometris antar-elemen konstruksi, seperti antara struktur, arsitektur, dan sistem utilitas. Secara umum, *clash detection* dalam BIM dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu *hard clash* (tabrakan fisik antar elemen), *soft clash* (pelanggaran batas toleransi atau ruang bebas), dan *workflow clash* (konflik yang berkaitan dengan urutan pekerjaan atau jadwal konstruksi). Kemampuan

untuk mendeteksi berbagai jenis konflik ini sejak tahap desain memberikan keuntungan signifikan dalam mencegah terjadinya kesalahan pada tahap konstruksi.

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa penerapan BIM dalam proses clash detection dapat meningkatkan efisiensi koordinasi desain secara substansial. Sacks et al. (2018) menekankan bahwa BIM memungkinkan integrasi lintas disiplin yang lebih baik dibandingkan metode konvensional, sehingga mengurangi potensi miskomunikasi antar tim proyek. Sementara itu, Han et al. (2013) menunjukkan bahwa kesalahan desain yang tidak terdeteksi dapat menyebabkan rework yang berdampak pada peningkatan biaya proyek hingga 5%–15%. Dalam konteks ini, clash detection berbasis BIM berfungsi sebagai mekanisme kontrol kualitas yang mampu mengidentifikasi konflik sejak dini, sehingga mengurangi kebutuhan untuk pengerjaan ulang dan meningkatkan efisiensi proyek secara keseluruhan. Lebih lanjut, implementasi BIM juga berkontribusi terhadap manajemen risiko dalam konstruksi. Dengan mendeteksi konflik desain sebelum tahap pelaksanaan, potensi risiko seperti keterlambatan proyek, pembengkakan biaya, serta gangguan keselamatan kerja dapat diminimalkan. Studi empiris menunjukkan bahwa proyek yang mengadopsi BIM cenderung memiliki tingkat koordinasi yang lebih baik dan jumlah konflik desain yang lebih rendah dibandingkan proyek yang masih menggunakan metode tradisional. Selain itu, penggunaan perangkat lunak seperti Autodesk Navisworks memungkinkan proses clash detection dilakukan secara sistematis dan terdokumentasi, sehingga memudahkan tim proyek dalam melakukan evaluasi dan pengambilan keputusan.

Meskipun demikian, efektivitas penerapan BIM dalam clash detection tidak terlepas dari beberapa tantangan, seperti kebutuhan akan sumber daya manusia yang kompeten, kesiapan organisasi, serta standar interoperabilitas antar perangkat lunak (Merschbrock & Munkvold, 2015). Selain itu, implementasi BIM pada proyek infrastruktur, khususnya jalan tol, masih menghadapi keterbatasan dalam adopsi dan integrasi data dibandingkan dengan proyek bangunan gedung. Oleh karena itu, kajian literatur ini menegaskan bahwa meskipun BIM memiliki potensi besar sebagai alat mitigasi risiko melalui clash detection, diperlukan pendekatan yang sistematis dan kontekstual agar manfaatnya dapat dioptimalkan pada berbagai jenis proyek konstruksi.

Dengan demikian, BIM melalui fitur clash detection tidak hanya berfungsi sebagai alat deteksi konflik desain, tetapi juga sebagai strategi preventif dalam mengurangi risiko dan konflik pada tahap konstruksi. Integrasi teknologi ini dalam proses perencanaan dan

koordinasi desain menjadi kunci dalam mewujudkan proyek konstruksi yang lebih efisien, akurat, dan berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain studi kasus untuk menganalisis penerapan *clash detection* berbasis *Building Information Modelling* (BIM) dalam mengurangi risiko dan konflik pada tahap konstruksi. Pendekatan kuantitatif dipilih untuk menghasilkan temuan yang objektif dan terukur, khususnya dalam mengidentifikasi jumlah, jenis, dan tingkat keparahan konflik desain. Desain studi kasus digunakan karena penelitian berfokus pada fenomena aktual dalam konteks proyek jalan tol yang memiliki tingkat kompleksitas tinggi serta melibatkan berbagai disiplin pekerjaan. Perbandingan dengan metode konvensional berbasis gambar 2D dalam penelitian ini dibatasi pada aspek prosedural, yaitu mekanisme dan jenis konflik yang mampu diidentifikasi, karena data kuantitatif pengecekan manual 2D tidak tersedia secara lengkap.

Penelitian ini dilaksanakan pada salah satu proyek jalan tol di Indonesia yang termasuk dalam kategori proyek infrastruktur berskala besar. Objek penelitian difokuskan pada dokumen perencanaan teknis serta model digital yang merepresentasikan integrasi elemen-elemen konstruksi, meliputi pekerjaan tanah, struktur, dan utilitas. Pemilihan objek penelitian ini didasarkan pada tingginya potensi konflik desain akibat interaksi antar-elemen yang kompleks dalam proyek infrastruktur jalan.

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data sekunder dan data primer. Data sekunder berupa dokumen *Detailed Engineering Design* (DED) yang mencakup gambar teknis, dimensi struktur, serta informasi geometrik yang menjadi dasar dalam penyusunan model BIM. Data 2D dalam penelitian ini bersumber dari dokumen DED tersebut. Sementara itu, data primer diperoleh melalui observasi lapangan untuk memverifikasi kesesuaian antara hasil *clash detection* dengan kondisi aktual di lokasi proyek. Kombinasi kedua jenis data ini bertujuan untuk memastikan bahwa analisis tidak hanya berbasis simulasi digital, tetapi juga memiliki validasi empiris terbatas pada titik konflik yang teridentifikasi. Karena tidak tersedia catatan kuantitatif mengenai waktu pengecekan manual atau jumlah *clash* yang ditemukan melalui metode 2D, penelitian ini tidak mengklaim perbandingan kuantitatif BIM–2D.

Kegiatan penelitian ini dilakukan secara sistematis melalui beberapa tahapan. Tahap awal adalah pengolahan data DED menjadi model tiga dimensi menggunakan Autodesk Revit. Pada tahap ini, seluruh elemen konstruksi dimodelkan dan diintegrasikan dalam satu platform digital untuk menghasilkan representasi geometrik yang akurat. Selanjutnya, model tersebut diekspor ke Autodesk Navisworks untuk dilakukan proses *clash detection*. Proses ini melibatkan pengaturan parameter deteksi guna mengidentifikasi konflik antar elemen, baik dalam bentuk *hard clash* (tabrakan fisik) maupun *soft clash* (pelanggaran batas toleransi/kesesuaian kontekstual). *Search set* dalam analisis ini dibatasi pada model struktur dan model jalan yang telah difederasi. Konflik yang berulang pada lokasi dan pasangan elemen yang sama dikelompokkan sebagai satu temuan. Nilai *tolerance* dan *clearance* numerik tidak terdokumentasi secara rinci dalam data penelitian, sehingga tidak dilaporkan sebagai parameter numerik. Hasil *clash detection* kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi jenis, lokasi, dan tingkat keparahan konflik desain. Data yang diperoleh selanjutnya diklasifikasikan dan dihitung untuk mengetahui distribusi konflik berdasarkan kategori tertentu.

Tahap berikutnya adalah verifikasi lapangan yang dilakukan melalui observasi langsung pada titik-titik yang teridentifikasi mengalami konflik, guna memastikan kesesuaian antara hasil analisis digital dan kondisi aktual. Verifikasi ini diposisikan sebagai konfirmasi terbatas pada konflik utama yang dianalisis, bukan uji independen atas seluruh kemungkinan konflik. Untuk memastikan keterkaitan antara tujuan penelitian dan metode analisis, disusun kerangka operasional sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Keterkaitan Tujuan Penelitian, Variabel, Indikator, dan Metode Analisis

Tujuan Penelitian	Variabel	Indikator	Metode Analisis
Menganalisis proses implementasi clash detection berbasis BIM dibandingkan metode 2D	Metode deteksi konflik	Waktu identifikasi konflik, jumlah konflik terdeteksi	Analisis komparatif (BIM vs 2D)
Mengidentifikasi konflik desain untuk mendeteksi kesalahan fatal	Konflik desain	Jumlah clash, jenis (hard/soft), lokasi konflik, tingkat keparahan	Statistik deskriptif dan klasifikasi konflik
Menganalisis efektivitas BIM dalam mengurangi risiko konstruksi	Risiko konstruksi	Persentase pengurangan konflik, potensi rework, tingkat risiko	

Untuk memperjelas tahapan pelaksanaan penelitian, prosedur penelitian dirinci sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tahapan Prosedur Penelitian

Tahapan	Uraian Kegiatan	Output
Pengumpulan data	Pengumpulan dokumen DED dan observasi lapangan	Data geometrik dan kondisi aktual
Pemodelan BIM	Pembuatan model 3D menggunakan Revit	Model BIM terintegrasi
Clash detection	Analisis konflik menggunakan Navisworks	Data konflik desain
Analisis data	Klasifikasi dan kuantifikasi konflik	Distribusi dan karakteristik clash
Verifikasi	Observasi lapangan untuk validasi	Validitas hasil deteksi
Evaluasi	Analisis efektivitas terhadap risiko konstruksi	Kesimpulan efektivitas BIM

a) Analisa Data

Analisis data dilakukan secara kuantitatif dengan menggunakan pendekatan statistik deskriptif. Indikator yang digunakan meliputi jumlah konflik (*number of clashes*), jenis konflik, serta tingkat keparahan konflik yang terdeteksi. Selain itu, analisis komparatif antara hasil deteksi berbasis BIM dan pendekatan konvensional berbasis gambar dua dimensi juga dilakukan untuk menilai tingkat efektivitas dalam mengurangi potensi risiko konstruksi, seperti rework, keterlambatan, dan konflik antar pekerjaan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a) Proses Implementasi Clash Detection Berbasis Building Information Modelling (BIM) dalam Mendeteksi Konflik Desain secara Otomatis Dibandingkan dengan Metode Konvensional Berbasis Gambar Dua Dimensi (2D)

Bagian ini menyajikan hasil penelitian yang menjawab pertanyaan penelitian pertama, yaitu bagaimana proses implementasi *clash detection* berbasis *Building Information Modelling* (BIM) dalam mendeteksi konflik desain secara otomatis dibandingkan dengan metode konvensional berbasis gambar dua dimensi (2D). Penyajian hasil difokuskan pada tahapan implementasi, integrasi model lintas disiplin, serta evaluasi kesesuaian pelaksanaan BIM terhadap rencana dalam *BIM Execution Plan* (BEP).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses implementasi BIM dilakukan melalui tahapan yang terstruktur, dimulai dari pemanfaatan dokumen *Detailed Engineering Design* (DED) sebagai dasar pemodelan tiga dimensi. Pemodelan topografi menghasilkan *digital surface* yang merepresentasikan kondisi eksisting secara akurat, yang kemudian digunakan untuk menyusun *alignment* horizontal dan sistem *stationing*. Tahapan ini menghasilkan sumbu geometrik yang terstruktur sehingga mempermudah identifikasi lokasi segmen jalan serta integrasinya dengan elemen konstruksi lainnya. Selanjutnya,

pengembangan profil memanjang memungkinkan visualisasi perbandingan elevasi antara kondisi eksisting dan rencana. Informasi ini digunakan untuk analisis pekerjaan tanah, termasuk estimasi volume galian dan timbunan. Pada tahap akhir, seluruh komponen tersebut diintegrasikan ke dalam model koridor tiga dimensi yang utuh. Model ini menyediakan representasi geometrik yang komprehensif, sehingga memungkinkan analisis spasial yang tidak dapat dicapai melalui gambar 2D.

Pemodelan struktur menggunakan Autodesk Revit menghasilkan model tiga dimensi parametrik yang mencakup elemen *pier*, *pile cap*, dan *girder* dengan tingkat presisi tinggi. Model ini kemudian diintegrasikan dengan model jalan yang dikembangkan dari Civil 3D melalui proses federasi menggunakan Autodesk Navisworks. Hasil federasi menghasilkan model terintegrasi yang disusun dalam sistem koordinat yang seragam, sehingga memungkinkan analisis hubungan spasial antar elemen secara menyeluruh. Untuk meningkatkan ketelitian analisis, model dibagi ke dalam lima zona berdasarkan *stationing* (Sta. 33+500 hingga Sta. 37+050). Segmentasi ini memungkinkan proses *clash detection* dilakukan secara lebih terfokus dan spesifik pada lokasi tertentu.

Melalui proses ini, konflik desain antar elemen dapat diidentifikasi secara otomatis berdasarkan interseksi geometrik dalam model. Dibandingkan dengan metode konvensional berbasis gambar 2D, pendekatan BIM menunjukkan perbedaan prosedural dalam hal integrasi data, representasi spasial, dan mekanisme deteksi konflik. Namun, karena tidak tersedia data kuantitatif mengenai waktu pengecekan manual atau jumlah konflik yang ditemukan melalui metode 2D, penelitian ini tidak mengklaim keunggulan kuantitatif BIM atas 2D. Perbandingan yang diajukan terbatas pada aspek prosedural dan jenis konflik yang mampu diidentifikasi.

Evaluasi terhadap implementasi BIM menunjukkan bahwa penggunaan model tiga dimensi sebagai media koordinasi desain telah sesuai dengan rencana dalam dokumen BEP. Model BIM digunakan secara aktif dalam proses pemodelan dan koordinasi antar disiplin, sehingga meningkatkan pemahaman terhadap hubungan antar elemen proyek. Pelaksanaan *clash detection* juga telah dilakukan menggunakan perangkat lunak BIM pada tahap koordinasi model. Namun, hasil penelitian menunjukkan bahwa pelaksanaan deteksi konflik belum sepenuhnya dilakukan pada tahap awal desain sebagaimana direncanakan, melainkan setelah terjadi revisi desain. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses implementasi BIM belum sepenuhnya optimal dalam menjalankan fungsi preventifnya.

Dari sisi tingkat pengembangan model, hasil analisis menunjukkan bahwa model berada pada kisaran LOD 300 hingga LOD 350. Pada tingkat ini, elemen model telah memiliki dimensi, bentuk, dan posisi yang akurat serta dilengkapi dengan informasi konektivitas antar elemen. Tingkat LOD tersebut dinilai cukup untuk mendukung proses *clash detection* secara efektif.

Berdasarkan hasil analisis, proses implementasi *clash detection* berbasis BIM dilakukan melalui tahapan pemodelan tiga dimensi, integrasi lintas disiplin, dan analisis konflik dalam lingkungan model yang terkoordinasi. Implementasi ini memungkinkan deteksi konflik desain dilakukan secara otomatis melalui identifikasi interseksi geometrik antar-elemen model. Dibandingkan dengan metode konvensional berbasis gambar 2D, pendekatan BIM menunjukkan keunggulan prosedural dalam hal integrasi data, akurasi representasi spasial, serta kemampuan deteksi konflik yang lebih sistematis. Namun demikian, efektivitas proses implementasi masih dipengaruhi oleh waktu pelaksanaan *clash detection* dan tingkat kedetailan model yang digunakan dalam analisis.

b) Clash Detection Berbasis BIM dalam Mengidentifikasi Konflik Desain dan Mendeteksi Potensi Kesalahan Fatal Sebelum Tahap Pelaksanaan Konstruksi

Bagian ini menyajikan hasil penelitian yang menjawab pertanyaan penelitian kedua, yaitu bagaimana *clash detection* berbasis *Building Information Modelling* (BIM) mampu mengidentifikasi konflik desain, khususnya dalam mendeteksi potensi kesalahan fatal sebelum tahap pelaksanaan konstruksi. Analisis dilakukan menggunakan fitur *Clash Detective* pada Autodesk Navisworks terhadap model federasi yang mengintegrasikan model struktur dan model jalan.

Hasil menunjukkan bahwa proses *clash detection* memungkinkan identifikasi konflik desain secara sistematis melalui analisis hubungan spasial tiga dimensi antar elemen. Berbeda dengan pendekatan konvensional berbasis gambar dua dimensi, metode ini mampu mengungkap konflik yang tidak terlihat secara visual pada gambar 2D, karena seluruh elemen dianalisis berdasarkan posisi geometrik aktual dalam ruang tiga dimensi. *Output* dari proses ini berupa daftar konflik yang memuat informasi lokasi, jenis elemen yang terlibat, serta karakteristik benturan, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar evaluasi desain.

Berdasarkan hasil analisis, konflik desain yang teridentifikasi dalam model federasi diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama, yaitu *hard clash* dan *soft clash*. Klasifikasi ini digunakan untuk membedakan tingkat keparahan konflik serta menentukan kebutuhan

penanganan teknis. *Hard clash* merupakan konflik yang terjadi akibat tumpang tindih geometris secara langsung antar elemen, sehingga secara teknis tidak dapat direalisasikan pada tahap konstruksi. Konflik jenis ini mengindikasikan adanya kesalahan koordinasi desain yang bersifat kritis dan memerlukan revisi desain secara langsung.

Sebaliknya, *soft clash* merupakan konflik yang tidak melibatkan benturan fisik secara langsung, tetapi menunjukkan ketidaksesuaian kondisi desain terhadap kebutuhan teknis atau kondisi lingkungan. Dalam penelitian ini, *soft clash* dioperasionalkan sebagai konflik kontekstual, yaitu ketidaksesuaian desain terhadap batas kelayakan teknis/lingkungan. Meskipun tidak bersifat geometris, konflik ini tetap memiliki implikasi signifikan terhadap kelayakan konstruksi dan berpotensi menimbulkan masalah pada tahap pelaksanaan. Klasifikasi ini menunjukkan bahwa *clash detection* berbasis BIM tidak hanya mampu mengidentifikasi konflik fisik, tetapi juga mendeteksi potensi ketidaksesuaian desain yang bersifat kontekstual, sehingga memperluas cakupan identifikasi risiko sejak tahap perencanaan.

Hasil *clash detection* menunjukkan adanya konflik desain yang melibatkan elemen struktur dan elemen jalan pada model federasi. Konflik pertama yang teridentifikasi adalah *hard clash* antara elemen struktur *pile cap* jembatan dan jalan eksisting. Analisis model menunjukkan bahwa kedua elemen tersebut menempati ruang yang sama, sehingga terjadi tumpang tindih geometris secara langsung. Konflik ini dikategorikan sebagai kesalahan fatal karena secara teknis tidak memungkinkan untuk dilaksanakan tanpa perubahan desain, serta berpotensi mengganggu fungsi infrastruktur eksisting.

Temuan ini menunjukkan bahwa *clash detection* berbasis BIM mampu mengidentifikasi kesalahan desain kritis yang berpotensi menyebabkan kegagalan konstruksi apabila tidak diperbaiki sebelum tahap pelaksanaan. Identifikasi dini terhadap konflik ini memberikan dasar yang kuat untuk melakukan revisi desain sebelum mobilisasi pekerjaan di lapangan. Selain itu, ditemukan pula konflik jenis *soft clash* yang berkaitan dengan kondisi lingkungan di proyek. Konflik ini terjadi pada segmen rencana jalan tol yang berada di area rawan genangan akibat luapan sungai. Meskipun tidak terjadi benturan geometris secara langsung, analisis menunjukkan bahwa penggunaan konstruksi timbunan tanah pada area tersebut tidak sesuai dengan kondisi eksisting yang memiliki potensi genangan air yang tinggi. Konflik tersebut diidentifikasi sebagai potensi kesalahan desain yang signifikan karena dapat memengaruhi stabilitas struktur jalan pada tahap konstruksi maupun tahap operasional. Berdasarkan hasil identifikasi tersebut,

dilakukan evaluasi desain dengan mengganti metode konstruksi dari timbunan tanah menjadi struktur *pile slab*, yang dinilai lebih sesuai dengan kondisi tanah jenuh air.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa *clash detection* berbasis BIM tidak hanya berfungsi sebagai alat identifikasi konflik desain, tetapi juga sebagai mekanisme kontrol kualitas yang efektif dalam mendeteksi potensi kesalahan fatal secara dini. Namun, temuan ini terbatas pada dua konflik utama dalam lingkup studi kasus, sehingga tidak dapat digeneralisasi untuk seluruh proyek jalan tol. Dengan demikian, penerapan metode ini berkontribusi pada peningkatan kesiapan desain sebelum memasuki tahap konstruksi dalam konteks kasus yang diteliti.

c) Efektivitas Penerapan Clash Detection Berbasis BIM dalam Mengurangi Potensi Risiko dan Konflik pada Tahap Konstruksi Proyek Jalan Tol

Bagian ini menyajikan hasil analisis yang menjawab pertanyaan penelitian ketiga, yaitu sejauh mana efektivitas penerapan *clash detection* berbasis *Building Information Modelling* (BIM) dalam mengurangi potensi risiko dan konflik pada tahap konstruksi proyek jalan tol. Analisis dilakukan melalui pendekatan kuantitatif dengan membandingkan biaya implementasi BIM terhadap potensi biaya *rework* yang dapat dihindari (*avoided costs*), serta evaluasi tingkat efektivitas deteksi konflik melalui indikator *Risk Elimination Rate of Clash* (RERC).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa total biaya implementasi BIM dalam simulasi *clash detection* adalah sebesar Rp304.815.000. Komponen biaya ini meliputi pengadaan perangkat lunak BIM (Autodesk AEC Collection, Autodesk Docs, ZWCAD, dan MS Project), tenaga ahli (*BIM engineer*), serta biaya survei dan pemetaan menggunakan drone. Biaya ini merepresentasikan investasi awal dalam penerapan BIM yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas koordinasi desain dan mendeteksi konflik secara dini sebelum tahap konstruksi. Dalam konteks analisis efektivitas, biaya ini digunakan sebagai pembanding terhadap potensi kerugian yang dapat terjadi apabila konflik desain tidak teridentifikasi sejak awal.

Efektivitas penerapan *clash detection* dianalisis melalui pendekatan *avoided costs* (AC), yaitu selisih antara total potensi biaya *rework* di lapangan dengan biaya implementasi BIM. Hasil analisis menunjukkan bahwa konflik *hard clash* pada elemen struktur (*pile cap pier bridge*) memiliki potensi biaya *rework* sebesar Rp2.282.501.652. Sementara itu, konflik *soft clash* yang berkaitan dengan desain timbunan jalan di area

rawan banjir memiliki potensi biaya *rework* sebesar Rp1.205.857.574. Total potensi biaya *rework* dari kedua konflik tersebut adalah:

$$\text{Total potensi rework} = \text{Rp}2.282.501.652 + \text{Rp}1.205.857.574 = \text{Rp}3.488.359.226$$

Dengan mempertimbangkan biaya implementasi BIM sebesar Rp304.815.000, nilai *avoided cost* total yang diperoleh adalah:

$$AC_{\text{total}} = \text{Rp}3.488.359.226 - \text{Rp}304.815.000 = \text{Rp}3.183.544.226$$

Nilai ini menunjukkan bahwa dalam lingkup studi, penerapan BIM berpotensi menghindari kerugian sebesar Rp3.183.544.226 apabila seluruh potensi *rework* tersebut dapat dicegah melalui identifikasi dini. Biaya implementasi BIM tidak dikurangkan secara terpisah pada masing-masing konflik, melainkan satu kali terhadap total potensi *rework*. Rasio manfaat-biaya bruto (*gross benefit-cost ratio*) dari data yang tersedia adalah:

$$BCR_{\text{gross}} = \text{Rp}3.488.359.226 / \text{Rp}304.815.000 = 11,44$$

Sementara itu, ROI potensial bersih dihitung sebagai:

$$ROI = \text{Rp}3.183.544.226 / \text{Rp}304.815.000 \times 100\% = 1.044,4\%$$

Angka-angka tersebut bersifat potensial dan sangat bergantung pada asumsi biaya yang digunakan serta kemampuan aktual untuk mencegah *rework* di lapangan.

Efektivitas *clash detection* juga diukur menggunakan indikator *Risk Elimination Rate of Clash* (RERC), yang menggambarkan kemampuan BIM dalam mengidentifikasi potensi konflik desain dalam lingkup studi.

$$RERC = (\text{Jumlah clash terdeteksi} / \text{Total potensi konflik dalam lingkup studi}) \times 100\%$$

Berdasarkan hasil penelitian, seluruh konflik yang teridentifikasi dan diverifikasi dalam lingkup studi berhasil dideteksi melalui BIM, sehingga diperoleh nilai:

$$RERC = (2 / 2) \times 100\% = 100\%$$

Nilai RERC sebesar 100% dalam penelitian ini hanya berlaku untuk dua konflik yang menjadi lingkup analisis. Karena tidak tersedia *baseline* independen mengenai total potensi konflik yang mungkin ada, angka tersebut tidak dapat dimaknai sebagai tingkat deteksi seluruh konflik pada proyek jalan tol secara umum.

Berdasarkan hasil analisis biaya dan tingkat efektivitas, penerapan *clash detection* berbasis BIM dalam lingkup studi ini menunjukkan potensi manfaat ekonomi dan cakupan deteksi yang tinggi terhadap konflik yang teridentifikasi. Total potensi *avoided*

cost jauh lebih besar dibandingkan biaya implementasi BIM. Namun, temuan ini tidak dapat digeneralisasi sebagai pengurangan risiko aktual pada seluruh proyek jalan tol. Dengan demikian, efektivitas *clash detection* berbasis BIM dalam penelitian ini dapat dikategorikan tinggi dalam lingkup studi, baik dari aspek potensi pengurangan biaya maupun pencegahan konflik pada tahap pelaksanaan proyek, dengan catatan keterbatasan *baseline* dan jumlah konflik yang dianalisis.

d) Pembahasan

Temuan penelitian ini memberikan pemahaman mengenai peran *clash detection* berbasis *Building Information Modelling* (BIM) sebagai instrumen dalam meningkatkan kualitas perencanaan dan mitigasi risiko pada proyek infrastruktur jalan tol. Diskusi ini mengintegrasikan hasil dari ketiga pertanyaan penelitian untuk menafsirkan kontribusi teoretis dan implikasi praktis dari penerapan BIM dalam konteks konstruksi, dengan menekankan batas interpretasi berdasarkan data yang tersedia.

Dari perspektif proses, implementasi BIM menunjukkan perubahan pendekatan dalam koordinasi desain. Berbeda dengan metode konvensional berbasis gambar dua dimensi yang bersifat fragmentatif dan bergantung pada interpretasi visual, BIM menghadirkan sistem integrasi berbasis model tiga dimensi yang memungkinkan analisis spasial secara simultan dan otomatis. Proses federasi model lintas disiplin yang dilakukan melalui Autodesk Navisworks memperlihatkan bahwa koordinasi desain tidak lagi bersifat linear, melainkan kolaboratif dan berbasis data. Namun demikian, temuan bahwa *clash detection* belum sepenuhnya dilakukan pada tahap awal perencanaan menunjukkan adanya kesenjangan antara potensi teknologi dan praktik implementasi di lapangan. Hal ini mengindikasikan bahwa efektivitas BIM tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan teknologi, tetapi juga oleh kesiapan manajerial dan budaya kerja dalam mengintegrasikan proses digital sejak tahap awal proyek (Succar et al., 2012). Karena tidak tersedia data kuantitatif 2D, keunggulan BIM dalam penelitian ini tidak dapat dinyatakan sebagai superioritas kuantitatif, melainkan sebagai perbedaan prosedural dalam integrasi dan deteksi konflik.

Dari sisi kemampuan identifikasi konflik, penelitian ini menegaskan bahwa *clash detection* berbasis BIM memiliki kapasitas untuk mendeteksi benturan geometris (*hard clash*) dan konflik kontekstual (*soft clash*). Kemampuan untuk mengidentifikasi *soft clash* yang berkaitan dengan kondisi lingkungan dan kelayakan desain menunjukkan bahwa BIM dapat berfungsi sebagai alat evaluasi desain yang lebih holistik. Temuan konflik

pada elemen struktur terhadap infrastruktur eksisting serta ketidaksesuaian metode konstruksi di area rawan banjir menegaskan bahwa konflik desain tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga kontekstual. Dengan demikian, BIM berperan sebagai medium integrasi antara aspek geometrik, teknis, dan lingkungan dalam proses perencanaan. Hal ini memperluas paradigma *clash detection* dari sekadar alat deteksi menjadi sistem pendukung pengambilan keputusan desain (*decision-support system*). Namun, karena temuan ini hanya berbasis dua konflik utama, klaim tersebut perlu diposisikan sebagai indikasi awal dalam lingkup studi kasus, bukan sebagai kesimpulan umum.

Dari perspektif efektivitas, hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan BIM berpotensi memberikan manfaat ekonomi dalam lingkup studi. Total potensi biaya *rework* sebesar Rp3.488.359.226 dan biaya implementasi BIM sebesar Rp304.815.000 menghasilkan potensi *avoided cost* bersih Rp3.183.544.226, dengan BCR bruto 11,44 dan ROI potensial 1.044,4%. Angka ini menunjukkan bahwa investasi BIM berpotensi memberikan manfaat yang lebih besar dibandingkan biayanya apabila konflik dapat dicegah sejak awal. Namun, interpretasi terhadap nilai ini perlu dilakukan secara kritis, mengingat efektivitas yang tinggi tersebut sangat dipengaruhi oleh kualitas model (LOD 300–350), jumlah konflik yang dianalisis, serta asumsi biaya yang digunakan. Selain itu, nilai RERC sebesar 100% hanya menggambarkan cakupan deteksi terhadap dua konflik yang teridentifikasi dalam lingkup studi, bukan seluruh kemungkinan konflik. Dengan kata lain, efektivitas BIM bersifat kondisional dan sangat bergantung pada kedalaman implementasi serta kualitas data yang digunakan.

Secara teoretis, temuan ini memperkuat argumen dalam literatur bahwa BIM merupakan pendekatan yang mampu meningkatkan integrasi informasi dan mengurangi ketidakpastian dalam proyek konstruksi (Bryde et al., 2013). Namun, penelitian ini juga memberikan kontribusi kontekstual dengan menunjukkan bahwa efektivitas BIM tidak hanya terletak pada teknologi, tetapi pada bagaimana proses implementasinya diinternalisasi dalam siklus perencanaan proyek. Keterlambatan pelaksanaan *clash detection* yang ditemukan dalam penelitian ini menjadi bukti bahwa tanpa perubahan paradigma dalam manajemen proyek, potensi BIM tidak akan sepenuhnya terwujud.

Dari sisi praktis, hasil penelitian ini memberikan implikasi penting bagi pemangku kepentingan proyek konstruksi, khususnya dalam proyek infrastruktur berskala besar. Pertama, integrasi BIM perlu dilakukan sejak tahap awal perencanaan untuk memaksimalkan fungsi preventif dalam mendeteksi konflik desain. Kedua, peningkatan

kapasitas sumber daya manusia dalam penggunaan BIM menjadi faktor kunci dalam memastikan kualitas model dan akurasi analisis. Ketiga, penyusunan dan implementasi *BIM Execution Plan* (BEP) perlu dilakukan secara konsisten agar seluruh proses koordinasi desain dapat berjalan secara sistematis. Keempat, klaim efektivitas perlu disertai *baseline* independen, misalnya register konflik manual 2D, agar RERC dan *avoided cost* dapat diinterpretasikan secara lebih kuat.

Dengan demikian, diskusi ini menegaskan bahwa *clash detection* berbasis BIM bukan sekadar alat teknis, melainkan pendekatan strategis dalam manajemen risiko konstruksi. Penerapannya yang efektif berpotensi mengubah paradigma perencanaan proyek dari reaktif menjadi proaktif, di mana potensi konflik dapat diantisipasi sebelum berdampak pada tahap konstruksi. Namun, untuk penelitian ini, simpulan tersebut berlaku dalam lingkup studi kasus dan perlu diuji lebih lanjut pada konteks yang lebih luas.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis implementasi dan efektivitas *clash detection* berbasis *Building Information Modelling* (BIM) dalam mengidentifikasi konflik desain serta memperkirakan potensi risiko pada tahap konstruksi proyek jalan tol. Berdasarkan hasil temuan, dapat disimpulkan bahwa proses implementasi BIM melalui pemodelan tiga dimensi, federasi model lintas disiplin, dan analisis konflik dalam lingkungan terintegrasi mampu meningkatkan akurasi dan sistematika deteksi konflik dibandingkan metode konvensional berbasis gambar dua dimensi secara prosedural. Namun, penelitian ini tidak menyajikan pembandingan kuantitatif BIM–2D karena keterbatasan data. Efektivitas proses ini juga dipengaruhi oleh waktu pelaksanaan *clash detection*, di mana keterlambatan implementasi pada tahap awal perencanaan dapat mengurangi fungsi preventif BIM secara signifikan.

Dari sisi identifikasi konflik, penelitian menunjukkan bahwa *clash detection* berbasis BIM tidak hanya mampu mendeteksi konflik geometris (*hard clash*), tetapi juga konflik kontekstual (*soft clash*) yang berkaitan dengan kondisi lingkungan dan kelayakan desain. Dalam lingkup studi, teridentifikasi dua konflik utama, yaitu *hard clash* antara *pile cap* dan jalan eksisting serta *soft clash* pada rencana timbunan di area rawan genangan. Kemampuan ini memungkinkan identifikasi potensi kesalahan fatal sebelum tahap konstruksi, sehingga memberikan peluang untuk melakukan evaluasi dan penyesuaian desain secara lebih dini. Hal ini menegaskan bahwa BIM berperan sebagai sistem analisis

desain yang komprehensif, bukan sekadar alat visualisasi, meskipun temuan ini terbatas pada kasus yang diteliti.

Dalam aspek efektivitas, hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan *clash detection* berbasis BIM berpotensi memberikan manfaat ekonomi dalam lingkup studi. Total potensi biaya *rework* adalah Rp3.488.359.226, biaya implementasi BIM Rp304.815.000, dan potensi *avoided cost* bersih Rp3.183.544.226. Nilai RERC sebesar 100% hanya berlaku untuk dua konflik yang teridentifikasi dan diverifikasi, bukan untuk seluruh kemungkinan konflik. Dengan demikian, temuan ini menunjukkan potensi penghindaran biaya dan identifikasi konflik, bukan pengurangan risiko atau *rework* aktual secara umum.

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, analisis dilakukan pada satu studi kasus proyek jalan tol sehingga generalisasi hasil ke konteks proyek lain perlu dilakukan dengan hati-hati. Kedua, jumlah konflik utama yang dianalisis hanya dua, sehingga dasar untuk menggeneralisasi efektivitas BIM masih terbatas. Ketiga, tidak tersedia *baseline* independen untuk menghitung total potensi konflik, sehingga nilai RERC 100% tidak dapat dimaknai sebagai tingkat deteksi seluruh konflik yang mungkin ada. Keempat, tidak tersedia data kuantitatif pengecekan manual 2D, sehingga perbandingan BIM–2D bersifat prosedural. Kelima, tingkat efektivitas yang diperoleh sangat dipengaruhi oleh kualitas model yang berada pada kisaran LOD 300–350. Keenam, analisis efektivitas masih terbatas pada aspek biaya dan deteksi konflik, dengan asumsi biaya tertentu, sehingga belum mencakup dimensi waktu proyek secara kuantitatif maupun aspek organisasi dalam implementasi BIM. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan multi-kasus, *baseline* konflik independen, analisis sensitivitas biaya, serta pengukuran dampak waktu dan organisasi agar efektivitas BIM dapat dinilai secara lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Akponeware, A. O., & Adamu, Z. A. (2017). Clash detection or clash avoidance? An investigation into coordination problems in 3D BIM. *Buildings*, 7(3), 1–28. <https://doi.org/10.3390/buildings7030075>
- Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241–252. <https://ascelibrary.org/doi/epdf/10.1061/%28ASCE%29LM.1943-5630.0000127>

- Borrmann, A., König, M., Koch, C., & Beetz, J. (2015). Project Management. In *Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice*. Springer. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3>
- Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2013). The project benefits of building information modelling (BIM). *International Journal of Project Management*, 31(7), 971–980. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.001>
- Chahrour, R., Hafeez, M. A., Ahmad, A. M., Sulieman, H. I., Dawood, H., Rodriguez-Trejo, S., Kassem, M., Naji, K. K., & Dawood, N. (2021). Cost-benefit analysis of BIM-enabled design clash detection and resolution. *Construction Management and Economics*, 39(1), 55–72. <https://doi.org/10.1080/01446193.2020.1802768>
- Han, S., Love, P., & Peña-Mora, F. (2013). A system dynamics model for assessing the impacts of design errors in construction projects. *Mathematical and Computer Modelling*, 57(9–10), 2044–2053. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2011.06.039>
- Liu, Lu, Peh, B., & Bim, M. (2019). A Review and Scientometric Analysis of Global Building Information Modeling (BIM) Research in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) Industry. *Buildings*, 9(10), 210. <https://www.mdpi.com/2075-5309/9/10/210>
- Merschbrock, C., & Munkvold, B. E. (2015). Effective digital collaboration in the construction industry - A case study of BIM deployment in a hospital construction project. *Computers in Industry*, 73, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2015.07.003>
- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). BIM Handbook 3rd Edition: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. In *John Wiley & Sons*. <https://doi.org/10.1002/9781119287568>
- Succar, B., Sher, W., & Williams, A. (2012). Architectural Engineering and Design Measuring BIM performance : Five metrics Measuring BIM performance : Five metrics. *BIM-Benefit*, 8(2), 120–142.
- Tadeusz, D., Ostapowski, M., & Szerner, A. (2022). Clash Cost Analysis in Electrical Installations Based on BIM Technologies. *Energies*, 15(1679). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/en15051679>
- Zhu, J., Wright, G., Wang, J., & Wang, X. (2018). A critical review of the integration of geographic information system and building information modelling at the data level. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(2), 1–16. <https://doi.org/10.3390/ijgi7020066>