

ABSTRAK

Industri minyak dan gas memiliki berbagai mesin dengan struktur yang sangat kompleks. Pemahaman terhadap komponen internal mesin tersebut penting untuk mendukung kegiatan pemeliharaan dan pelatihan, namun proses pembongkaran mesin secara fisik berisiko merusak komponen serta memerlukan waktu dan tenaga yang besar. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem berbasis *digital twin* yang diimplementasikan pada lingkungan *Mixed Reality (MR)* guna menghadirkan interaksi realistis dengan model digital pada mesin kompleks tanpa perlu membongkar objek fisik. Berdasarkan tinjauan pustaka, metode *Design for Disassembly (DfD)* digunakan untuk menstrukturkan proses pembongkaran model 3D, namun penerapannya umumnya terbatas pada model 3D yang sederhana. Pendekatan lama yaitu *single-layer DfD* memiliki keterbatasan dalam pembongkaran yang terstruktur secara hierarki dan fleksibilitas penerapan pada model 3D yang kompleks. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan metode baru bernama *multi-layer DfD*. Metode ini menyusun proses pembongkaran secara hierarkis berdasarkan aturan sehingga dapat menangani model 3D kompleks dengan lebih terstruktur. Penelitian ini terdiri atas dua tahap, yaitu studi pengembangan dan studi komparatif. Pada tahap pengembangan, sistem berhasil diimplementasikan dan diterima oleh tiga ahli di industri melalui *User Acceptance Test (UAT)*, membuktikan kesesuaian sistem dengan kebutuhan industri. Pada tahap komparatif, sebanyak 33 partisipan melakukan pengujian terhadap dua sistem: *multi-layer DfD* (App A) dan *single-layer DfD* (App B). Pengujian statistik menggunakan *paired t-test*, *Wilcoxon Signed-Rank test*, *Confidence Interval (CI)*, dan *Bootstrap CI* menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kedua sistem, sedangkan pengukuran effect size melalui *Cohen's dz* dan *Rank-Biserial r* menunjukkan bahwa perbedaan tersebut memiliki dampak yang besar (*large effect*). Hasil analisis metrik menunjukkan bahwa App A memiliki performa yang lebih baik dalam efektivitas dan efisiensi dibanding App B. Dengan demikian, metode *multi-layer DfD* terbukti lebih efektif dan efisien untuk diterapkan pada berbagai model 3D kompleks dalam lingkungan MR.

Kata kunci—*Digital Twin, Mixed Reality, Design for Disassembly (DfD), Multi-layer Disassembly, Efektivitas, Efisiensi.*

ABSTRACT

The oil and gas industry consists of various machines with highly complex structures. Understanding the internal components of these machines is essential to support maintenance and training activities. However, dismantling real machines for learning purposes carries the risk of damaging components and requires significant time and effort. To address this issue, this research develops a digital twin based system implemented in a Mixed Reality (MR) environment to provide realistic interaction with digital representations of complex machines without physically disassembling them. Based on the literature review, the Design for Disassembly (DfD) method is commonly used to structure the disassembly process of 3D models, yet its application is generally limited to simple models. The two main approaches, single layer and step by step DfD, each have limitations in terms of structural hierarchical disassembly and flexibility when applied to complex models. Therefore, this study proposes a new method called multi layer DfD. This method organizes the disassembly process hierarchically according to predefined rules, enabling a more structured and scalable handling of complex models. The research consists of two stages: a development study and a comparative study. In the development phase, the system was successfully implemented and validated through a User Acceptance Test (UAT) involving three industry experts, confirming that the system met user requirements. In the comparative study, 33 participants tested two systems, multi layer DfD (App A) and single layer DfD (App B), to evaluate their effectiveness and efficiency. Statistical analyses using the paired t test, Wilcoxon Signed Rank test, Confidence Interval (CI), and Bootstrap CI revealed significant differences between the two systems, while effect size measurements using Cohen's d_z and Rank Biserial r indicated a large practical impact. The metric analysis showed that App A outperformed App B in both aspects. These findings demonstrate that the proposed multi layer DfD method is more effective and efficient for implementing complex machine models within a Mixed Reality (MR) environment.

Keywords—Digital Twin, Mixed Reality, Design for Disassembly (DfD), Multi-layer Disassembly, Effectiveness, Efficiency.