

## NAVIGASI PARADIGMA DIGITAL: ANALISIS KOGNITIF PENGGUNAAN CAD, DESAIN PARAMETRIK, DAN AI DALAM PENDIDIKAN ARSITEKTUR

Nurfahmi Muchlis<sup>1,\*</sup>, Irvansyah<sup>2</sup>, Johanes Krisdianto<sup>3</sup>, Rabbani Kharismawan<sup>4</sup>

<sup>1234</sup>Arsitektur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

\* fahmi.muchlis@its.ac.id

Article Info: Received: 29 October 2025, Accepted: 30 December 2025, Published: 5 January 2026

### ABSTRACT.

*The evolution of digital design tools from CAD and parametric design to Artificial Intelligence (AI) demands a fundamental shift in architectural pedagogy. However, the understanding of how these three function as an integrated ecosystem influencing students' cognitive processes remains limited. This study aims to bridge this gap through a mixed-methods study of 35 architecture students at the Sepuluh Nopember Institute of Technology (ITS). Using a three-stage design task instrument based on the work of Peter Eisenman, the research analyzes student performance quantitatively (scores) and qualitatively (design artifacts). The results show that students' highest capabilities lie in parametric design, with 89% achieving high scores, indicating a strong mastery of logical-procedural thinking. Conversely, AI poses the greatest cognitive challenge, with only 46% achieving high scores, not due to a lack of technical proficiency, but rather the difficulty in translating spatial concepts into linguistic articulation (prompts). This study concludes that each tool has unique and complementary pedagogical roles: CAD as the foundation of formal language, parametric design as a trainer for generative logic, and AI as a stimulator for conceptual articulation. The implication is that architectural curricula must evolve beyond mere software training to consciously cultivate these three modes of thinking in an integrated manner.*

**Keywords:** architectural education; artificial intelligence; cognitive process; digital design; digital pedagogy

### ABSTRAK.

Perkembangan alat desain digital dari CAD, desain parametrik, hingga Kecerdasan Buatan (AI) menuntut perubahan mendasar dalam pedagogi arsitektur, namun pemahaman tentang bagaimana ketiganya berfungsi sebagai ekosistem terintegrasi dalam memengaruhi proses kognitif mahasiswa masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk menjembatani kesenjangan tersebut melalui studi metode campuran (*mixed-methods*) pada 35 mahasiswa arsitektur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Dengan menggunakan instrumen tugas desain tiga tahap yang berbasis pada karya Peter Eisenman, penelitian ini menganalisis kinerja mahasiswa secara kuantitatif (skor) dan kualitatif (artefak desain). Hasil menunjukkan bahwa kapabilitas tertinggi mahasiswa terletak pada desain parametrik (89% mencapai nilai tinggi), yang mengindikasikan penguasaan kuat pada pemikiran logis-prosedural. Sebaliknya, AI menjadi tantangan kognitif terbesar (hanya 46% yang mencapai nilai tinggi), bukan karena kurangnya kemahiran teknis, melainkan kesulitan dalam menerjemahkan konsep spasial ke dalam artikulasi linguistik (*prompt*). Studi ini menyimpulkan bahwa setiap alat memiliki peran pedagogis yang unik dan komplementer: CAD sebagai fondasi bahasa formal, desain parametrik sebagai pelatih logika generatif, dan AI sebagai stimulator artikulasi konseptual. Implikasinya, kurikulum arsitektur harus berevolusi melampaui pelatihan perangkat lunak untuk secara sadar membangun ketiga mode berpikir tersebut secara terintegrasi.

**Kata kunci:** desain digital; kecerdasan buatan; pedagogi digital; pendidikan arsitektur; proses kognitif

### PENDAHULUAN

#### Latar belakang

Teknologi digital telah membawa perubahan signifikan dalam dunia pendidikan arsitektur, khususnya dengan integrasi berbagai alat canggih untuk pemodelan dan memproses informasi

desain. Perkembangan alat desain dari *Computer-Aided Design* (CAD), parametrik, hingga *Artificial Intelligence* (AI) memang menunjukkan sebuah evolusi yang jelas menuju level abstraksi yang semakin tinggi. Setiap tahap, mulai dari menggambar bentuk langsung di CAD, mendefinisikan aturan di sistem parametrik, hingga mendeskripsikan gagasan pada AI, secara fundamental mengubah peran desainer dan menuntut pergeseran dari keahlian teknis ke pemikiran konseptual dan kritis. Alih-alih melihat perkembangan ini sebagai penggantian satu alat dengan yang lain, kita perlu mengantisipasi sebuah ekosistem kerja baru di mana ketiganya mungkin digunakan secara bersamaan. Karena pada dasarnya, ketiga alat ini tidak menggantikan sepenuhnya satu sama lain secara praktis. Kita dapat bayangkan sebuah proses di mana AI digunakan untuk eksplorasi konseptual awal, desain parametrik untuk mengoptimalkan dan merekayasa geometri yang kompleks, dan CAD untuk dokumentasi akhir. Namun, di balik evolusi ini terdapat tantangan, ini dapat didefinisikan sebagai 'kesenjangan penerjemahan kognitif', yaitu kesulitan dalam mengartikulasikan niat desain yang intuitif dan non-linear ke dalam logika formal dan sekuensial yang dituntut oleh sistem komputasi. Tantangan ini tidak hanya dirasakan oleh mahasiswa, tetapi juga memiliki implikasi pedagogis yang signifikan di tingkat institusional. Upaya untuk menjembatani kesenjangan ini sering kali terhambat oleh keengganan sebagian pendidik, baik karena keterbatasan kemahiran mereka sendiri maupun komitmen yang kuat terhadap metodologi tradisional (Pektaş & Erkip, 2006). Oleh karena itu, secara krusial, kurikulum arsitektur harus berevolusi untuk menyertakan pelatihan komprehensif yang memungkinkan mahasiswa bernavigasi dengan lancar antara lingkungan desain tradisional dan digital (Hsiao & Johnson, 2011).

Integrasi perangkat digital dalam pendidikan arsitektur secara mendasar membentuk kembali proses berpikir desain mahasiswa, memengaruhi kreativitas, eksplorasi konseptual, dan pembentukan ide. Meskipun banyak penelitian telah mengkaji dampak dari masing-masing teknologi, seperti CAD, desain parametrik, dan AI, secara terpisah, masih terdapat kesenjangan pengetahuan yang signifikan mengenai bagaimana ketiga perangkat ini berfungsi sebagai sebuah ekosistem yang terintegrasi dalam memengaruhi proses kognitif mahasiswa.

Penelitian ini bertujuan untuk menjembatani kesenjangan tersebut dengan menyintesis temuan-temuan kunci dari penelitian yang ada pada setiap kategori alat, sehingga meletakkan dasar untuk analisis kognitif yang lebih holistik dan terintegrasi pada konteks aktifitas pembelajaran di kampus. Oleh karena itu, pertanyaan krusial yang muncul bukanlah tentang keunggulan masing-masing alat secara terpisah, melainkan bagaimana interaksi ketiganya secara kolektif akan membentuk sebuah alur kerja desain yang sepenuhnya baru, serta bagaimana proses kognitif arsitek harus beradaptasi untuk menavigasi ketiganya secara efektif.

### **Evolusi Abstraksi dalam Alat Desain Digital**

Perkembangan alat desain dari *Computer-Aided Design* (CAD), desain parametrik, hingga *Artificial Intelligence* (AI) merepresentasikan sebuah lintasan evolusi yang jelas menuju tingkat abstraksi yang semakin tinggi. Pada tingkat dasar, CAD berfungsi sebagai alat digital fundamental yang meningkatkan produktivitas dan visualisasi konseptual. Penelitian menunjukkan bahwa CAD memungkinkan mahasiswa membuat prototipe dan melakukan iterasi konsep dengan kecepatan dan efisiensi yang lebih tinggi, memberdayakan mereka untuk mengeksplorasi konfigurasi geometris dan spasial yang kompleks guna meningkatkan kemampuan kreatif (Mohammedi & Arrouf, 2024; Qian & Li, 2024). Peralihan dari gambar manual ke digital ini juga menumbuhkan pola pikir berorientasi proses, mendorong keterlibatan yang lebih mendalam pada pertimbangan struktural dan estetika (Gerber & Flager, 2011).

Sebagai evolusi signifikan dari CAD, desain parametrik memperkenalkan tingkat abstraksi yang lebih tinggi melalui pemikiran algoritmik, yang memungkinkan mahasiswa mendefinisikan hubungan antar parameter desain (Pazini et al., 2020; Weissenböck & Werner, 2023). Pendekatan ini mengotomatiskan aspek-aspek proses desain, memungkinkan ekspansi transformatif dari kosakata desain mahasiswa dan meningkatkan kapasitas mereka untuk pemecahan masalah yang inovatif (Pazini et al., 2020; Putro & Pamungkas, 2019). Dengan memanipulasi parameter, mahasiswa dapat menghasilkan dan memahami spektrum hasil desain yang luas, sebuah proses eksplorasi cepat yang sangat bermanfaat selama fase konseptual awal (Sunarya et al., 2023; Vazquez, 2023). Seiring meningkatnya kemahiran, desain parametrik

menjadi alat instrumental untuk menciptakan bentuk-bentuk kompleks dan mengoptimalkan solusi, sehingga memajukan keterampilan kreatif dan analitis mereka (Bunt & Brown, 2023).

Pada tingkat abstraksi tertinggi, Kecerdasan Buatan (AI) semakin mengubah lanskap desain dengan mendukung langsung pembentukan ide dan konseptualisasi. Alat berbasis AI dapat mengotomatiskan tugas-tugas rutin, sehingga membebaskan sumber daya kognitif mahasiswa untuk fokus pada aspek desain yang lebih kritis dan kreatif (Cao et al., 2024). Dengan menganalisis kumpulan data yang luas, AI dapat memberikan wawasan dan saran yang mungkin tidak muncul dari metode tradisional, mendorong mahasiswa untuk mengeksplorasi konsep secara lebih menyeluruh dan memperkaya pengalaman pendidikan mereka (Cao et al., 2024).

### **Tantangan Kognitif dalam Penerjemahan Desain**

Meskipun memiliki banyak manfaat, adopsi alat-alat digital ini menghadirkan tantangan kognitif yang signifikan. Pada level CAD, rintangan utama sering kali bukan bersifat teknis murni, melainkan psikologis, seperti kurangnya kepercayaan diri dan kemahiran yang dapat menyebabkan keraguan selama proses desain (Mohammedi & Arrouf, 2024). Keraguan ini, yang mungkin berakar pada transisi dari metode tradisional, dapat memperpanjang waktu pengerjaan proyek dan secara paradoksal menurunkan produktivitas kreatif (Abdalla et al., 2021). Kurva belajar yang curam juga memerlukan latihan terus-menerus dan pengembangan strategi pemecahan masalah yang spesifik (Muhsin & Rahadian, 2022).

Desain parametrik memperkenalkan serangkaian kesulitan yang berbeda, terutama terkait dengan pemikiran abstrak dan algoritmik yang dibutuhkannya. Banyak mahasiswa kesulitan dengan konsep-konsep dasar ini karena alat tersebut memerlukan pemahaman menyeluruh tentang proses algoritmik dan hubungan antar parameter (Ağırbaş, 2020). Beban kognitif ini dapat membuat mahasiswa merasa tidak siap dan kurang mampu mengeksplorasi solusi inovatif (Putro & Pamungkas, 2019). Masalah umum yang diidentifikasi adalah adanya kesenjangan antara pemahaman prinsip dan penerapannya dalam praktik, di mana banyak mahasiswa terjebak pada tahap pemodelan tanpa berhasil beralih ke aplikasi praktis (Pazini et al., 2020). Sementara itu, integrasi AI menimbulkan kekhawatiran

tentang ketergantungan yang berlebihan, yang berisiko menghambat pengembangan intuisi desain dan keterampilan berpikir kritis mahasiswa (Cao et al., 2024).

### **Strategi Pedagogis dalam Pendidikan Arsitektur Digital**

Untuk mengatasi tantangan-tantangan tersebut, literatur menyarankan beberapa strategi pedagogis yang bertujuan memastikan integrasi teknologi dapat menumbuhkan pemikiran kritis, reflektif, dan inovatif. Rekomendasi utamanya adalah untuk beralih dari sekadar pelatihan perangkat lunak ke fokus pada pemikiran komputasional dan prinsip desain yang mendasarinya. Bagi mahasiswa yang kesulitan dengan CAD, pendidik harus memberikan dukungan yang memadai sambil mendorong pengembangan keterampilan mandiri untuk membangun kompetensi dan kepercayaan diri (Muhsin & Rahadian, 2022). Untuk desain parametrik, pedagogi harus secara aktif menjembatani kesenjangan antara teori abstrak dan aplikasi praktis, memastikan mahasiswa dapat menerjemahkan konsep algoritmik menjadi hasil desain yang nyata (Pazini et al., 2020).

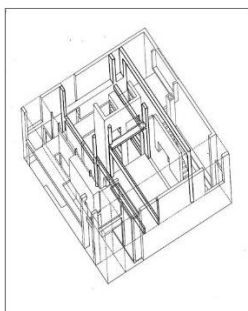
Salah satu kerangka kerja menyeluruh yang efektif adalah penerapan Pendidikan Berbasis Hasil (*Outcome-Based Education*). Di Indonesia, kurikulum *Outcome-Based Education* (OBE) yang diadopsi sejak 2015 secara konseptual tidak hanya mengubah konten, tetapi menata ekosistem pembelajaran untuk memastikan lulusan memenuhi kompetensi yang diharapkan (Kristianto et al., 2021). Pendekatan ini menekankan hasil pembelajaran yang terdefinisi dengan jelas, yang didukung oleh metode pengajaran dan penilaian yang selaras. Dengan berfokus pada apa yang harus dapat ditunjukkan oleh mahasiswa, seperti pemecahan masalah secara kreatif dan analisis mendalam, pendidik dapat memastikan bahwa teknologi berfungsi sebagai alat untuk inovasi, bukan hanya produksi (Zhang et al., 2023).

### **METODE PENELITIAN**

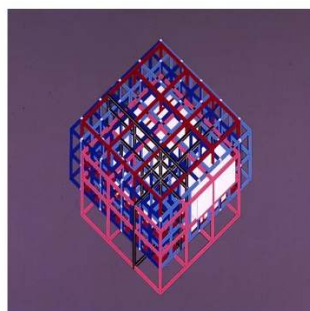
Penelitian ini mengadopsi desain metode campuran (*mixed-methods*), menggabungkan analisis kuantitatif dan kualitatif untuk memperoleh pemahaman mendalam tentang bagaimana mahasiswa arsitektur menerjemahkan konsep desain di antara tiga paradigma teknologi digital yang berbeda. Secara spesifik, penelitian

ini menganalisis korelasi antara skor tugas mahasiswa dengan tingkat kompleksitas kognitif dari setiap alat merancang yang digunakan. Studi ini dilaksanakan dalam konteks mata kuliah wajib Berpikir Merancang Digital di Departemen Arsitektur ITS, dengan partisipasi sebanyak 35 mahasiswa yang bekerja dalam kelompok. Mata kuliah ini sengaja dirancang sebagai respons kurikulum arsitektur terhadap perkembangan Revolusi Industri 4.0, sehingga artefak desain yang dihasilkan menjadi objek penelitian yang valid untuk mengukur performa dan proses kognitif mahasiswa.

Instrumen penelitian utama adalah tugas desain yang terbagi menjadi tiga tahap progresif, di mana setiap tahap memiliki substansi dan tingkat kesulitan kognitif yang berjenjang. Seluruh tugas didasarkan pada analisis House Series karya Peter Eisenman untuk menjaga konsistensi konseptual (Gambar 1). Tahap pertama (CAD) berfokus pada analisis aspek formal elemen arsitektur di ruang digital. Tahap kedua (pemodelan parametrik) memiliki kompleksitas yang lebih tinggi, karena menuntut mahasiswa untuk menguraikan logika transformasi di balik aspek formal tersebut. Tahap akhir (AI) menantang mahasiswa untuk menyintesis seluruh pemahaman dari tahap sebelumnya menjadi serangkaian perintah konseptual (*prompts*) untuk menghasilkan karya baru. Tugas ini secara keseluruhan dirancang untuk mengukur kemampuan kognitif mahasiswa dalam menerjemahkan prinsip desain ke platform digital, menjelaskan konteksnya, dan menguraikan prosedurnya.



House I, 1967



House VI, 1975

Gambar 1 House Series karya dari Peter Eisenman, gambar berikut menunjukkan bagian prosedur desain yang dieksplorasi melalui diagram. Gambar diadaptasi dari "House I 1968" and "House VI 1975," by Eisenman Architects, n.d., Eisenman Architects (<https://eisenmanarchitects.com/House-I-1968>)

; <https://eisenmanarchitects.com/House-VI-1975>). Hak Cipta oleh Eisenman Architects.

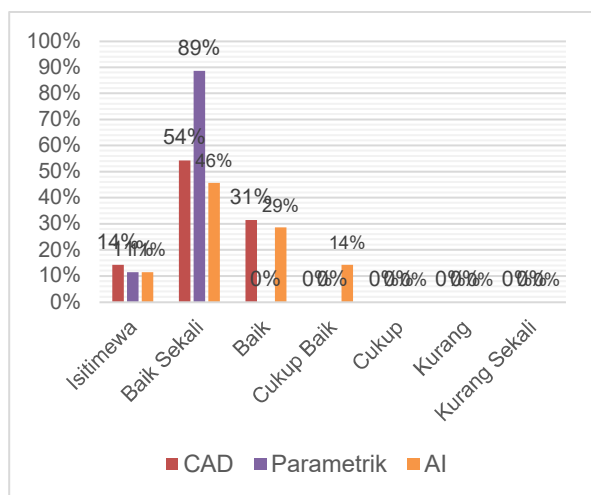
Analisis data dilakukan melalui dua jalur yang saling melengkapi. Secara kuantitatif, analisis berfokus pada skor tugas mahasiswa. Bobot skor disesuaikan untuk merefleksikan kompleksitas kognitif dan estimasi alokasi waktu pengerjaan yang dibutuhkan untuk setiap tahap, di mana desain parametrik dianggap sebagai tahap yang paling menuntut secara prosedural dan waktu. Skor dari setiap tahap (dengan bobot CAD 35%, parametrik 45%, AI 20%) dikelompokkan ke dalam kluster nilai huruf sesuai Peraturan Akademik ITS (Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2023) untuk mengidentifikasi pola performa dan korelasi statistik. Penilaian tugas ini menggunakan skala dari A hingga E. Mahasiswa yang mendapat skor 86 ke atas akan memperoleh nilai A (Istimewa). Nilai baik (B) berada di rentang skor 66-75, sedangkan nilai cukup (C) berada di rentang 56-60. Skor di bawah 56 akan mendapatkan nilai D (Kurang) atau E (Kurang Sekali). Untuk mendalami temuan kuantitatif, analisis kualitatif dilakukan melalui studi komparatif terhadap artefak desain dari kelompok dengan skor tertinggi dan terendah. Kualitas pekerjaan pada analisis ini dinilai berdasarkan empat indikator: kelengkapan, sistematika, keakuratan, dan kedalaman dalam mengomunikasikan konteks secara visual dan naratif. Pendekatan ganda ini memungkinkan penelitian untuk memvalidasi temuan kuantitatif dengan bukti kualitatif, sehingga dapat mengukur capaian mahasiswa sekaligus menjelaskan proses kognitif yang mendasarinya saat berinteraksi dengan setiap alat digital.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

Secara keseluruhan, mahasiswa menunjukkan tingkat kompetensi yang tinggi dalam mengerjakan tugas. Dari total 35 mahasiswa, mayoritas atau 74% memperoleh nilai akhir 'Baik Sekali' (AB), diikuti oleh 14% yang memperoleh nilai 'Baik' (B), dan 11% memperoleh nilai 'Istimewa' (A). Hasil ini mengindikasikan bahwa tidak ada mahasiswa yang berada di bawah level 'Baik', yang menunjukkan pemahaman dasar yang solid terhadap materi yang diajarkan. Meskipun nilai akhir secara umum tinggi, analisis lebih dalam menunjukkan adanya perbedaan kinerja yang signifikan saat mahasiswa menggunakan ketiga alat desain yang berbeda. Desain Parametrik menunjukkan tingkat

keberhasilan tertinggi, di mana 89% mahasiswa berhasil mencapai nilai 'Baik Sekali'. CAD menempati urutan kedua, dengan 54% mahasiswa mencapai nilai yang sama. AI menjadi alat yang paling menantang, dengan hanya 46% mahasiswa yang berhasil mencapai nilai 'Baik Sekali' (Gambar 2).



Gambar 2 Distribusi persentase capaian skor tiga alat desain yang diterapkan.

Perbedaan ini diperjelas melalui analisis kombinasi skor yang memetakan pola kemampuan mahasiswa ke dalam beberapa kelompok (lihat Tabel 1). Kelompok terbesar, yang mencakup 40% mahasiswa, adalah mereka yang mampu memperoleh nilai 'Baik Sekali' pada ketiga bagian tugas. Kelompok signifikan kedua, sebesar 29%, adalah mahasiswa yang berkinerja sangat baik pada tugas CAD dan Parametrik, namun mendapat nilai lebih rendah pada tugas AI. Terdapat pula kelompok sebesar 19% yang unggul pada tugas Parametrik dan AI, namun mendapat nilai lebih rendah pada tugas CAD. Pola ini menunjukkan bahwa tantangan terbesar yang dihadapi mahasiswa secara spesifik terletak pada penggunaan alat AI dalam konteks tugas perancangan.

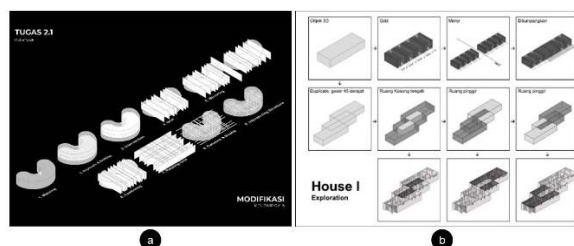
Tabel 1 Distribusi Kombinasi Kinerja Mahasiswa pada Tiga Alat Desain.

Kombinasi	Kombinasi Skor Tugas			Persentase
	CAD	Parametrik	AI	
1	$\geq 76$	$\geq 76$	$\geq 76$	40%
2	$\geq 76$	$\geq 76$	$< 76$	29%
3	$\geq 76$	$< 76$	$< 76$	-
4	$< 76$	$< 76$	$< 76$	-
5	$< 76$	$\geq 76$	$\geq 76$	19%

6	$< 76$	$< 76$	$\geq 76$	-
7	$< 76$	$\geq 76$	$< 76$	17%
8	$\geq 76$	$< 76$	$\geq 76$	-

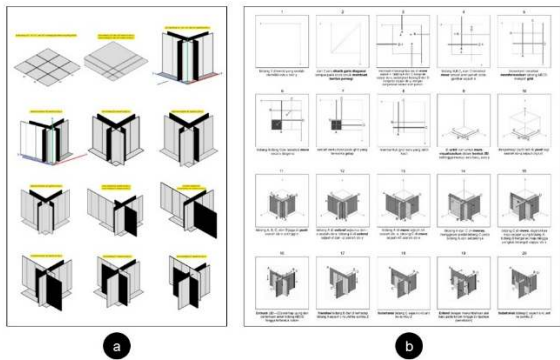
Sumber : Hasil analisis, 2025

Pada Gambar 3 ditunjukkan perbandingan antara dua kualitas yang berbeda pada tugas CAD yang memperoleh nilai dibawah 76 (Gambar 3a dan di atas 76 (Gambar 3b). Kedua hasil tersebut pada dasarnya memperlihatkan kualitas sistematis yang bagus sesuai dengan preseden yang diminta. Namun pada saat memberikan keakuratan maupun kedalaman aspek formal di bagian eksplorasinya, karya A menunjukkan kekurangan. Konsep aspek formal pada preseden sebenarnya menggunakan bentuk solid platonik yang memiliki struktural yang koheren, sementara objek yang dibuat tidak menunjukkan relevansi antara volumetrik dan struktur kerangka bangun volumetriknya. Pada karya B, sistematika tidak berbeda dengan preseden namun eksplorasi yang dilakukan adalah mengulangi langkah dalam prosedur pembentukan geometrinya, sehingga hasil akhirnya menunjukkan bentuk yang koheren seperti yang terlihat dalam presedennya.



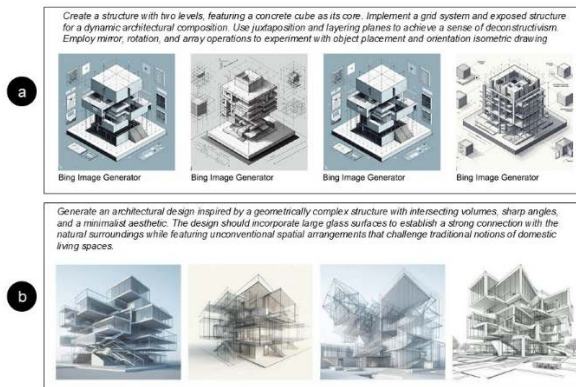
Gambar 3 Tugas CAD dengan kualitas (a) Baik; (b) Istimewa

Eksplorasi tugas parametrik meminta luaran urutan diagram beserta informasi langkah demi langkah. Hasil 'Baik' dan 'Istimewa' hanya berbeda pada instruksional yang informatif. Dalam Gambar 4a terlihat kurang komunikatif dibandingkan dengan Gambar 4b di mana terlihat prosedur disampaikan dengan sangat detail, menunjukkan perintah transformasi dengan parameter yang mempengaruhinya. Dalam penjelasannya, parameter juga memiliki ambang batas yang memperlihatkan bagaimana objek akan berubah. Urutan-urutan ini juga memperlihatkan kedalaman dalam berpikir secara digital, dengan menunjukkan anotasi dalam koordinat Cartesius.



Gambar 4 Detail tugas Parametrik dengan kualitas yang (a) Baik; (b) Istimewa

Pada tugas *AI-generated images* terlihat perbedaan dalam Gambar 5a dengan *prompt* yang masih menggunakan kosakata aspek formal yang terbatas menunjukkan hasil yang berbeda jauh dengan konsep kasusnya, sementara pada Gambar 5b menunjukkan *prompt* dengan kosakata yang lebih banyak menggunakan redaksi dari konsep arsiteknya menunjukkan hasil yang menunjukkan alternatif yang lebih menyerupai varian.



Gambar 5 Perbandingan antara tugas AI dengan kualitas (a) Cukup Baik dengan kualitas (b) Baik Sekali

Untuk memahami mengapa perbedaan kinerja tersebut terjadi, analisis kualitatif dilakukan pada hasil tugas mahasiswa. Pada Tugas CAD, perbedaan utama antara kualitas 'Istimewa' dan 'Baik' bukan terletak pada kemampuan teknis pemodelan, melainkan pada kedalaman pemahaman konseptual. Karya berkualitas tinggi mampu mengeksplorasi ulang prosedur pembentukan geometri studi kasus sehingga menghasilkan bentuk-bentuk yang koheren, sementara karya berkualitas rendah menunjukkan kekurangan relevansi antara volumetrik dan struktur kerangka. Pada Tugas Parametrik, kualitas 'Istimewa' ditandai oleh kemampuan

berpikir prosedural yang detail dan logis, di mana mahasiswa mampu menguraikan urutan transformasi secara rinci, lengkap dengan anotasi pada koordinat Kartesius. Pada Tugas AI, kualitas hasil secara langsung berkorelasi dengan kekayaan dan ketepatan kosakata dalam *prompt*. *Prompt* yang masih terbatas dan umum menghasilkan gambar yang terlalu eksploratif, sedangkan *prompt* yang menggunakan redaksi detail dari konsep arsiteknya mampu menghasilkan varian desain yang lebih relevan dan terkontrol.

### Pembahasan

Hasil penelitian secara umum menunjukkan tingkat kompetensi yang tinggi, di mana mayoritas mahasiswa (74%) memperoleh nilai 'Baik Sekali'. Namun, di balik keberhasilan kolektif ini, terungkap adanya perbedaan kinerja yang signifikan antar alat, yang mengindikasikan adanya tantangan kognitif yang berbeda-beda. Pembahasan ini akan menguraikan temuan-temuan tersebut dengan merujuk pada kerangka teoretis yang telah dipaparkan dalam tinjauan literatur.

### Kompetensi Dasar yang Solid dan Peran CAD sebagai Fondasi

Secara keseluruhan, tidak adanya mahasiswa yang memperoleh nilai di bawah 'Baik' mengonfirmasi bahwa kompetensi dasar dalam penggunaan alat digital telah tercapai. Tingginya penguasaan ini dapat diatribusikan pada peran CAD sebagai alat digital fundamental dalam pendidikan arsitektur, yang menurut literatur, secara efektif meningkatkan produktivitas dan kemampuan visualisasi konseptual (Mohammedi & Arrouf, 2024). Kemampuan 54% mahasiswa untuk mencapai nilai 'Baik Sekali' pada tugas CAD menunjukkan bahwa sebagian besar telah melampaui kurva pembelajaran awal yang sering kali menjadi tantangan, seperti kurangnya kepercayaan diri dan kebimbangan (Abdalla et al., 2021; Mohammedi & Arrouf, 2024).

Namun, temuan kualitatif dalam penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih dalam. Perbedaan antara kualitas 'Istimewa' dan 'Baik' pada tugas CAD bukan terletak pada kemahiran teknis, melainkan pada kedalaman pemahaman konseptual. Ini secara langsung mendukung argumen (Gerber & Flager, 2011) bahwa pergeseran ke digital menumbuhkan pola pikir berorientasi proses yang mendorong keterlibatan lebih mendalam pada pertimbangan struktural dan

estetika. Mahasiswa yang unggul tidak hanya mampu memodelkan, tetapi juga mampu berpikir melalui alat tersebut untuk mengeksplorasi ulang geometri preseden. Hal ini menegaskan bahwa pedagogi yang efektif harus melampaui sekadar pelatihan perangkat lunak dan lebih fokus pada pemikiran desain yang mendasarinya (Muhsin & Rahadian, 2022).

### **Keunggulan Desain Parametrik: Manifestasi Pemikiran Algoritmik**

Temuan yang paling menonjol adalah kinerja superior mahasiswa pada Desain Parametrik, di mana 89% berhasil mencapai nilai 'Baik Sekali'. Keberhasilan ini mengindikasikan bahwa mahasiswa dalam penelitian ini mampu mengatasi tantangan utama yang diidentifikasi dalam literatur, yaitu kesulitan dalam pemikiran abstrak dan algoritmik. ((Ağırbaş, 2020). Analisis kualitatif menunjukkan bahwa kualitas 'Istimewa' pada tugas ini ditandai oleh "kemampuan berpikir prosedural yang detail dan logis". Ini adalah bukti nyata dari penerapan pemikiran algoritmik yang berhasil, di mana mahasiswa mampu mendefinisikan hubungan antar parameter desain untuk menghasilkan bentuk yang kompleks dan terkontrol, sejalan dengan yang dijelaskan oleh (Weissenböck & Werner, 2023).

Keberhasilan ini menunjukkan bahwa mahasiswa tidak hanya terjebak pada tahap pemodelan, sebuah masalah umum yang diidentifikasi oleh (Pazini et al., 2020), tetapi berhasil menjembatani kesenjangan antara pemahaman prinsip dan aplikasi praktisnya. Kemampuan ini memungkinkan mereka untuk melakukan ekspansi transformatif pada kosakata desain mereka dan meningkatkan kapasitas pemecahan masalah yang inovatif (Putro & Pamungkas, 2019). Tingginya tingkat keberhasilan ini dapat menjadi indikasi bahwa kurikulum yang diterapkan telah berhasil menanamkan pola pikir komputasional yang menjadi prasyarat untuk menguasai alat parametrik secara efektif.

### **AI sebagai Batas Baru: Tantangan Konseptual-Linguistik**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa AI merupakan alat yang paling menantang bagi mahasiswa, yang tercermin dari hanya 46% partisipan yang mampu mencapai kategori nilai 'Baik Sekali'. Temuan ini signifikan karena menggarisbawahi pergeseran jenis kompetensi yang dituntut. Berbeda dengan CAD yang memerlukan kemahiran teknis-prosedural dan

Desain Parametrik yang menuntut logika algoritmik, AI secara fundamental membutuhkan kecakapan konseptual-linguistik.

Analisis kualitatif memperkuat temuan ini, menunjukkan adanya korelasi langsung antara kualitas artefak visual yang dihasilkan AI dengan kekayaan dan presisi kosakata yang digunakan dalam prompt. Hal ini memberikan perspektif baru terhadap literatur yang ada. Jika penelitian sebelumnya, seperti oleh Cao et al. (2024), berpendapat bahwa AI dapat membebaskan sumber daya kognitif, studi ini mengindikasikan bahwa pembebasan tersebut bersifat kondisional. Tanpa kemampuan mahasiswa untuk mengartikulasikan konsep arsitektural mereka ke dalam bahasa yang presisi, AI justru dapat meningkatkan beban kognitif akibat kebutuhan untuk menyaring luaran yang tidak relevan. Fenomena ini divalidasi lebih lanjut oleh data dari 29% mahasiswa yang berprestasi tinggi dalam tugas CAD dan parametrik namun menurun pada tugas AI. Kelompok ini diidentifikasi memiliki kompetensi teknis dan logis yang kuat, namun belum mampu menerjemahkan gagasan desain mereka ke dalam deskripsi tekstual yang efektif, yang menyoroti perlunya pengembangan intuisi desain yang tidak hanya visual tetapi juga verbal.

### **Implikasi Pedagogis dan Kebutuhan Integrasi Kurikulum**

Analisis pola kemampuan mahasiswa (kelompok 40%, 29%, dan 19%) menunjukkan bahwa tidak ada jalur tunggal menuju penguasaan alat digital. Adanya kelompok yang unggul di parametrik dan AI tetapi lemah di CAD (19%) menandakan bahwa beberapa mahasiswa mungkin lebih mudah beradaptasi dengan pemikiran abstrak dan generatif dibandingkan dengan pemodelan geometris presisi tradisional.

Temuan ini secara kolektif memberikan dukungan kuat bagi strategi pedagogis yang diusulkan dalam literatur:

1. Melampaui Pelatihan Teknis: Hasil penelitian ini adalah argumen kuat untuk beralih dari pengajaran berbasis fitur perangkat lunak ke pengajaran yang berfokus pada pemikiran komputasional dan literasi konseptual.
2. Menjembatani Teori dan Praktik: Keberhasilan pada Desain Parametrik menunjukkan pentingnya pedagogi yang secara eksplisit menghubungkan konsep algoritmik abstrak dengan aplikasi desain

yang nyata, seperti yang disarankan oleh Pazini et al. (2020).

3. Mengintegrasikan Keterampilan Baru: Munculnya AI menuntut kurikulum untuk memasukkan "literasi prompt" sebagai kompetensi inti baru, yang mengintegrasikan kemampuan berbahasa, pemahaman konseptual arsitektur, dan penguasaan teknologi.
4. Penerapan Pendidikan Berbasis Hasil (OBE): Dengan berfokus pada hasil akhir seperti pemecahan masalah kreatif dan analisis kritis (Zhang et al., 2023), pendidik dapat merancang tugas yang memaksa mahasiswa untuk menggunakan ketiga alat ini secara sinergis sebagai sebuah ekosistem, bukan sebagai alat yang terisolasi. Hal ini secara langsung akan menjembatani kesenjangan penelitian yang diidentifikasi di awal.

Penelitian ini memiliki beberapa batasan yang penting untuk dipahami dalam menginterpretasi temuan. Studi ini secara spesifik hanya mengukur kemampuan kognitif mahasiswa dalam mengerjakan tugas dengan kriteria dan output yang telah ditentukan secara ketat. Populasi penelitian terbatas pada satu kelompok kelas yang terdiri dari 35 mahasiswa dalam satu angkatan, sehingga temuan mungkin tidak dapat digeneralisasi secara langsung ke konteks yang lebih luas. Keberhasilan pada tugas sangat mungkin dipengaruhi oleh penggunaan preseden yang bersifat logis dan prosedural, yang hasilnya bisa jadi berbeda jika dihadapkan pada masalah perancangan yang lebih terbuka. Selain itu, penelitian ini belum mencakup data persepsi atau pengalaman langsung dari mahasiswa, seperti melalui kuesioner atau wawancara, yang dapat memberikan pemahaman lebih dalam tentang proses berpikir mereka.

Berdasarkan batasan-batasan tersebut, beberapa arah penelitian lanjutan yang potensial untuk dikembangkan mencakup studi komparatif lintas institusi dan angkatan untuk menguji apakah pola temuan saat ini bersifat universal. Potensi lainnya adalah implementasi dalam konteks studio perancangan nyata untuk mengevaluasi bagaimana setiap alat memengaruhi proses kreatif dari awal hingga akhir. Penelitian kualitatif-fenomenologis melalui wawancara atau *Focused Group Discussion* juga dapat dilakukan untuk mengeksplorasi pengalaman subjektif mahasiswa. Terakhir, studi longitudinal dapat mengamati perkembangan kemampuan berpikir

desain digital sekelompok mahasiswa selama beberapa semester untuk melacak evolusi penguasaan mereka.

## KESIMPULAN

Temuan utama secara tegas menunjukkan bahwa kapabilitas tertinggi mahasiswa terletak pada desain parametrik, yang mengindikasikan kekuatan mereka dalam pemikiran logis dan prosedural. Sebaliknya, AI menjadi tantangan kognitif terbesar, bukan karena kurangnya kemahiran digital, melainkan karena adanya kesulitan spesifik dalam menerjemahkan konsep spasial-formal ke dalam prompt berbasis teks. Sementara itu, CAD berfungsi sebagai fondasi yang familiar, di mana keberhasilan tidak hanya ditentukan oleh penguasaan teknis, tetapi juga oleh kedalaman pemahaman konseptual awal. Sintesis dari temuan ini mengarah pada pemahaman bahwa setiap alat memiliki peran pedagogis yang unik dan komplementer. CAD berperan sebagai fondasi untuk menguasai bahasa formal, melatih mahasiswa menerjemahkan ide ke dunia digital dengan presisi. Desain Parametrik berfungsi sebagai arena untuk melatih logika generatif, yang mengubah komputer dari sekadar alat gambar menjadi "partner berpikir" dalam mengeksplorasi alternatif desain secara sistematis. Terakhir, AI bertindak sebagai stimulator konseptual, yang efektivitasnya sangat bergantung pada kemampuan mahasiswa untuk mengartikulasikan gagasannya secara naratif dan linguistik. Dengan demikian, kontribusi utama penelitian ini adalah memberikan bukti empiris bahwa kurikulum desain digital yang holistik harus melampaui pengajaran perangkat lunak. Pendidik harus secara sadar merancang pengalaman belajar yang membangun tiga mode berpikir ini, formal, logis, dan konseptual, secara berurutan dan terintegrasi. Implikasinya, pendidikan arsitektur harus mempersiapkan mahasiswa menjadi perancang yang tidak hanya mahir secara teknis, tetapi juga fasih bernavigasi antara ketiga bahasa tersebut dalam ekosistem digital yang terus berkembang untuk dapat berpikir secara kritis, reflektif, dan inovatif.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) yang telah mendanai penelitian ini melalui skema Penelitian Dana Mandiri (Pribadi) tahun 2025. Penulis juga

ingin berterima kasih kepada Departemen Arsitektur ITS atas dukungan fasilitas dan lingkungan akademik yang kondusif. Penghargaan setinggi-tingginya kami berikan kepada seluruh mahasiswa yang telah berpartisipasi sebagai subjek dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdalla, S. B., Rashid, M., & Ara, D. R. (2021). Plausibility of CAAD in Conceptual Design: Challenges in Architectural Engineering for Early-Stage Digital Design Tools. *Journal of Architectural Engineering*, 27(2). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ae.1943-5568.0000457](https://doi.org/10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000457)
- Ağırbaş, A. (2020). *A Teaching Methodology for Parametric Design: A Case Study With Parametric Bench*. 720–725. <https://doi.org/10.5151/sigradi2020-99>
- Bunt, S., & Brown, N. C. (2023). Design Efficacy and Exploration Behavior of Student Architect-Engineer Design Teams in Shared Parametric Environments. *Buildings*, 13(5), 1296. <https://doi.org/10.3390/buildings13051296>
- Cao, Y., Gao, X., Yin, H., Yu, K., & Zhou, D. (2024). Reimagining Tradition: A Comparative Study of Artificial Intelligence and Virtual Reality in Sustainable Architecture Education. *Sustainability*, 16(24), 11135. <https://doi.org/10.3390/su162411135>
- Eisenman Architects. (n.d.a). House I 1968. Eisenman Architects. <https://eisenmanarchitects.com/House-I-1968>
- Eisenman Architects. (n.d.b). House VI 1975. Eisenman Architects. <https://eisenmanarchitects.com/House-VI-1975>
- Gerber, D., & Flager, F. (2011). *Teaching Design Optioneering: A Method for Multidisciplinary Design Optimization*. 14, 883–890. [https://doi.org/10.1061/41182\(416\)109](https://doi.org/10.1061/41182(416)109)
- Hsiao, C.-P., & Johnson, B. R. (2011). *TIMBA – Tangible User Interface for Model Building and Analysis*. 43–52. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-21605-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-21605-3_5)
- Institut Teknologi Sepuluh Nopember. (2023, December 13). Peraturan akademik tahun 2023 (Peraturan Rektor No. 18 Tahun 2023). Direktorat Pendidikan Sarjana dan Pascasarjana, ITS. <https://www.its.ac.id/pendidikan/2023/12/13/peraturan-akademik-tahun-2023/>
- Kristianto, H., Prasetyo, S., Susanti, R. F., & Adithia, M. T. (2021). Design of Student and Course Learning Outcomes Measurement. *Jpi (Jurnal Pendidikan Indonesia)*, 10(1), 97. <https://doi.org/10.23887/jpi-undiksha.v10i1.29061>
- Mohammedi, K., & Arrouf, A. (2024). To Draw or Not to Draw? Evaluating the Impact of Computer-Aided Drawing Tools on Productivity in Architectural Design. *South Florida Journal of Development*, 5(8), e4279. <https://doi.org/10.46932/sfjdv5n8-024>
- Muhsin, A., & Rahadian, E. Y. (2022). *CAD, BIM, Parametric and Their Use as Auxiliary Tools in Design Studios*. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.220703.015>
- Pazini, E. Z., Mussi, A. Q., & Martins, A. R. de Q. (2020). Parametric Design: Measuring Learning States. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 14(12). <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2020.12.003>
- Pektaş, Ş. T., & Erkip, F. (2006). Attitudes of Design Students Toward Computer Usage in Design. *International Journal of Technology and Design Education*, 16(1), 79–95. <https://doi.org/10.1007/s10798-005-3175-0>
- Putro, H. T., & Pamungkas, L. S. (2019). *Parametric Design in Phase of Schematic Design Case Study: Student Creativity on Form Studies*. <https://doi.org/10.2991/senvar-18.2019.14>
- Qian, T., & Li, H. (2024). Application of Computer Aided Design in Product Innovation and Development: Practical Examination on Taking the Industrial Design Process. *IEEE Access*, 12, 85622–85634. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3404963>
- Sunarya, W., Seputra, J. A. P., & Zakariya, A. F. (2023). Parametric Modeling Practice for the First-Year Architecture Students Learning. *Arteks Jurnal Teknik Arsitektur*, 8(2), 293–304. <https://doi.org/10.30822/arteks.v8i2.2189>
- Vazquez, E. (2023). Teaching Parametric Design: Fostering Algorithmic Thinking Through Incomplete Recipes. *Open House International*, 49(4), 736–751. <https://doi.org/10.1108/ohi-06-2023-0135>

Weissenböck, R., & Werner, J. (2023). *Analogue Computation: An Educational Framework for Introducing First-Year Architecture Students to Parametric Design Through Manual Making*. 1, 11–20. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2023.1.011>

Zhang, B.-Y., Xu, X., & Liu, H. (2023). *OBE-based Design Thinking Model for Computer-Aided Design Courses*. 1576–1582. [https://doi.org/10.2991/978-2-38476-126-5\\_176](https://doi.org/10.2991/978-2-38476-126-5_176)