



JURNAL ARSITEKTUR ARCADE

p-ISSN: 2580-8613 (Cetak)

e-ISSN: 2597-3746 (Online)

<http://jurnal.universitaskebangsaan.ac.id/index.php/arcade>



METODE PENINJAUAN DESAIN BERBASIS AFFORDANCE DENGAN VIRTUAL REALITY UNTUK PENINGKATAN KUALITAS DESAIN MAHASISWA

Fauzan Alfi Agirachman¹, Permana², Dewi Larasati³

^{1,2,3} Kelompok Keahlian Teknologi Bangunan, Sekolah Arsitektur, Perencanaan, dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung

E-mail: fauzan.alfi@itb.ac.id¹, permana@itb.ac.id², dewizr@itb.ac.id³,

Informasi Naskah:

Diterima:

17 Juni 2023

Direvisi:

12 Juli 2023

Disetujui terbit:

8 Agustus 2023

Diterbitkan:

Cetak:

29 September 2023

Online

29 September 2023

Abstract: *The process of architectural design involves the use of immersive virtual reality (IVR) technology to create spatial experiences that can be perceived by human senses in an immersive manner. Researchers in the field of architecture have investigated the use of virtual reality technology for a variety of purposes in the architectural design process, such as undergoing design review. However, most studies utilize only qualitative Boolean responses, such as excellent or bad. To address this, this study applies the affordance concept from ecological psychology research to the design review procedure by using VRDR and PDS method to find out the design improvement in a third-year architecture design studio. In the end, the result demonstrates a correlation with statistical results, indicating the architecture students' design enhancement after employing the design review method.*

Keyword: *affordance-based design, virtual reality, design review, building information modelling, visual comparison*

Abstrak: Proses desain arsitektur melibatkan penggunaan teknologi realitas virtual imersif (IVR) untuk menciptakan pengalaman spasial yang dapat dirasakan oleh indera manusia secara mendalam. Para peneliti di bidang arsitektur telah menyelidiki penggunaan teknologi realitas virtual untuk berbagai tujuan dalam proses desain arsitektur, seperti menjalani tinjauan desain. Namun, sebagian besar penelitian hanya menggunakan respon Boolean kualitatif, seperti sangat baik atau buruk. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini menerapkan konsep affordance dari penelitian psikologi ekologi pada prosedur peninjauan desain dengan menggunakan VRDR dan PDS *method* untuk mengetahui peningkatan desain pada studio perancangan arsitektur tahun ketiga. Pada akhirnya, hasil penelitian ini menunjukkan adanya korelasi dengan hasil statistik yang mengindikasikan adanya peningkatan desain mahasiswa arsitektur setelah menggunakan metode tinjauan desain.

Kata Kunci: *desain berbasis affordance, virtual reality, tinjauan desain, building information modelling, perbandingan visual*

PENDAHULUAN

Visualisasi adalah bagian penting dari proses desain arsitektur karena memungkinkan seorang arsitek mengkomunikasikan idenya. Visualisasi mengkomunikasikan ide-ide yang masih abstrak secara visual atau belum dibangun secara fisik kepada para pemangku kepentingan lainnya. Tujuannya adalah agar mereka semua dapat memahami konsep se jelas mungkin. Meskipun proses komunikasi tampak penuh dengan retorika, teknologi media yang digunakan untuk visualisasi desain arsitektur adalah salah satu persyaratan penting untuk memastikan bahwa informasi disampaikan secara efektif. (Lymer et al., 2009).

Teknologi media visualisasi arsitektur selalu berkembang. Mulai dari teknologi sederhana seperti kertas dan tanah liat hingga teknologi komputasi seperti *computer-aided design* (CAD). CAD pada dasarnya adalah alat produksi gambar dua dimensi

yang dianggap canggih pada saat itu karena arsitek dapat membuat penggambaran tiga dimensi dari gambar teknis. (Carreiro & Pinto, 2013). Teknologi *Building Information Modeling* (BIM) juga diperkenalkan pada akhir tahun 1980-an sebagai alat visualisasi arsitektur yang mampu mengintegrasikan informasi desain secara menyeluruh. Model ini dapat diamati dalam tiga dimensi dan dilihat dari berbagai sudut pandang tergantung pada kebutuhan komunikasi.

Pada awal abad ke-21, teknologi grafis komputer yang berkembang pesat, memberikan dampak positif pada perkembangan teknologi media visualisasi. Hasil grafis menjadi lebih nyata daripada sebelumnya. Teknologi *virtual reality* (VR) adalah salah satu teknologi yang menarik perhatian. Teknologi ini memungkinkan pengguna untuk mengeksplorasi dan memahami desain arsitektur dalam ruang virtual di luar batasan fisik. (Vital, 2006).

Tidak seperti teknologi visualisasi lainnya, VR memungkinkan para perancang arsitektur untuk membangun aspek spasial dengan memperkuat pengalaman spasial. Pada awal tahun 2011, teknologi VR memasuki pasar *end-users* dengan perangkat yang lebih murah yang memberikan pengalaman dunia virtual yang lebih realistis. Berbeda dengan tahun 2000, teknologi VR tidak dapat memenuhi ekspektasi pengguna dan memiliki biaya operasional yang sangat tinggi bagi pengguna akhir. (Leigh et al., 2013; Sherman & Craig, 2003). Mayoritas studi tentang pemanfaatan VR dalam arsitektur belum membahas aspek disruptif dari teknologi VR (Bartosh & Anzalone, 2019; Bekele & Champion, 2019; Boletsis & Cedergren, 2019; Chung et al., 2009; Globa et al., 2019; Kalantari et al., 2018; Loyola et al., 2020) ketika digunakan dalam proses tinjauan desain dari proses desain arsitektur yang sedang berlangsung, terutama dalam lingkup pendidikan arsitektur. Dalam pendidikan arsitektur, proses peninjauan desain sering kali terdiri dari mahasiswa yang mempresentasikan desain akhir mereka dan menerima masukan dari dosen pembimbing, sesama mahasiswa, atau bahkan arsitek berpengalaman yang diundang untuk menjadi juri. Bagaimana jika prosedur serupa dilakukan dengan menggunakan teknologi VR? Tentu saja, setiap orang dalam sesi tinjauan desain idealnya harus memasuki lingkungan virtual yang sama. Ketika diminta untuk mengkritik desain, para peserta biasanya akan menggunakan kata sifat kualitatif seperti "indah", "kurang kokoh", dan sebagainya. Beberapa penelitian kuantitatif menggunakan peringkat untuk menentukan apakah sesuatu itu baik atau buruk (Kuliga et al., 2015). Memang, tujuan dari desain arsitektur adalah untuk menciptakan desain yang memungkinkan pengguna untuk berinteraksi dengan aman dan efektif sambil mempertimbangkan karakteristik penting dari interaksi manusia seperti kemampuan persepsi dan kontrol motorik (Pagano et al., 2021). Sebuah strategi yang memperhatikan persepsi pengguna diperlukan untuk memeriksa apakah desain arsitektur yang dirancang telah mencapai tujuan akhir. Teori ini didukung secara empiris oleh metodologi psikologi ekologis, khususnya konsep *affordance*. Oleh karena itu, tujuan mendasar dari penelitian ini adalah untuk menginvestigasi penggunaan ide *affordance* dari bidang psikologi ekologis sebagai pendekatan dalam teknik penilaian desain arsitektur dengan menggunakan teknologi VR sebagai media visualisasinya.

Virtual Reality Dalam Pendidikan Arsitektur

Selama beberapa dekade ini, tren penelitian teknologi VR dalam arsitektur telah berkembang dengan cepat, begitu juga dengan adopsi teknologi oleh pengguna akhir. Sebagian besar akademisi menyelidiki bagaimana teknologi VR dapat digunakan dalam proses desain dan untuk berkolaborasi dengan para pemangku kepentingan. Sebagai sebuah teknologi, VR dapat menciptakan kesan berada di lingkungan yang dapat diterima oleh pengguna sebagai tempat yang aman untuk eksis

dengan interaktivitas yang cukup untuk menjalankan berbagai tugas secara efektif dan menyenangkan. (Gutiérrez A. et al., 2008).

Tujuan dari teknologi VR adalah untuk memberikan "pengalaman yang menarik, interaktif secara intuitif, dan imersif dalam lingkungan virtual" (Whyte & Nikolic, 2018). Teknologi VR digunakan di area lingkungan binaan, khususnya dalam arsitektur, untuk memungkinkan desainer dan pihak-pihak yang terlibat dalam proyek desain memahami desain yang diusulkan dan proyek konstruksi di seluruh fase. Sistem VR dapat digunakan tidak hanya sebagai sistem pasif dan eksploratif, tetapi juga untuk memberikan lebih banyak informasi bernilai tambah dengan memperluas dunia fisik yang ada dengan kemungkinan-kemungkinan baru (Paranandi & Sarawgi, 2002).

Teknologi VR memiliki potensi yang signifikan untuk digunakan dalam proses peninjauan desain, terutama dalam pendidikan arsitektur. Wickens (1992) menyatakan bahwa VR sebagai sebuah gagasan "diciptakan oleh teknologi yang mengesankan dan menarik yang dengan mudah menarik minat pengguna." Dengan gagasan ini, VR memungkinkan individu dalam industri pendidikan untuk meningkatkan atau memperluas lingkungan belajar mereka. Dengan VR sebagai "media instruksional," Wickens melihat beberapa alasan untuk biaya teknologi yang lebih tinggi. VR dapat digunakan untuk memotivasi pengguna atau untuk menunjukkan perspektif baru atau berbeda kepada mereka. Proses "pemindahan lingkungan belajar" dari dunia fisik ke dunia virtual juga akan terjadi, yang akan didukung oleh antarmuka yang "alami".

Para peneliti menemukan bahwa para siswa mendapat manfaat dari memahami lingkungan arsitektur dan proses desain saat menggunakan teknologi VR dalam pendidikan arsitektur. Dvorak et al. (2005) menunjukkan bahwa VR meningkatkan kecepatan dan pemahaman siswa tentang arsitektur. Mereka juga menemukan bahwa VR membantu siswa memahami pemodelan dan desain lebih cepat karena berfokus pada masalah yang paling penting. Horne & Thompson (2008) menyelidiki penggabungan teknologi VR sebagai teknologi visualisasi ke dalam proses pengajaran dan meminta umpan balik dari para pengajar. Dari sudut pandang teknis, VR telah menunjukkan dirinya sebagai teknologi yang dapat diandalkan dan kuat yang telah membantu pertukaran model. Mereka menemukan bahwa teknologi VR dapat meningkatkan motivasi dan kesadaran siswa sekaligus memperluas proses pembelajaran mereka. Dengan keterlibatan yang mendalam antara siswa dan karya desain mereka, VR memungkinkan siswa untuk "berada di sana." Hal ini dipandang sangat penting karena perancang arsitektur harus memeriksa perilaku, konsekuensi kognitif, dan pengalaman subjektif pengguna saat mengevaluasi desain bangunan yang menggunakan VR.

Desain Berbasis Affordances

Gibson (1979) mendefinisikan *affordances* dalam karyanya yang terkenal "*The Theory of Affordance*"

sebagai hubungan antara kualitas yang disediakan oleh lingkungan dan kemampuan lingkungan individu untuk memanfaatkan lingkungan. Hasilnya, kemampuan si lingkungan dapat ditemukan baik pada individu maupun lingkungan lainnya. Individu manusia memahami setiap kemampuan sebagai atribut relasional yang dihasilkan dari hubungan antara mereka. Tangga, misalnya, dapat membantu seseorang untuk berpindah dari satu ketinggian ke ketinggian lainnya. Pada saat yang sama, tangga dapat menyebabkan seseorang jatuh atau terluka. Akibatnya, hal-hal dalam lingkungan memberikan keuntungan yang diinginkan (positif) dan kerugian yang tidak diinginkan (negatif) pada saat yang bersamaan. Setiap keuntungan yang diinginkan dan yang tidak diinginkan harus dapat dengan mudah dilihat di lingkungan sekitar individu.

Gibson juga menyatakan bahwa persepsi *affordance* tidak memerlukan pemrosesan informasi atau representasi internal. Seorang individu merasakan adanya suatu *affordance* secara langsung, menyesuaikan diri dengan proses belajarnya. Teknik ini didasarkan pada atribut relasional objek yang interaktif, bukan pada sifat relatif individu. Proses pengenalan terjadi secara subjektif oleh pengguna dan secara objektif oleh objek. Pengguna melihat sebuah objek dari segi kapasitas fisiknya (Warren, 1984; Warren & Whang, 1987) dan kemungkinan tindakan yang dapat dilakukan (Heft, 2003). Individu mengidentifikasi peluang tindakan yang sesuai dan melihat tindakan apa yang dapat dilakukan pengguna dengan objek tersebut. Artinya, ada beberapa informasi di mana pengguna dapat menentukan kemampuan. Informasi perseptual objek menentukan kemampuan.

Dengan menyoroti interaksi antara lingkungan dan penggunanya, konsep *affordances* memberikan perspektif alternatif bagi perancang arsitektur dalam melihat sebuah desain. Sebagai bagian dari tujuan desain bangunan, hubungan ini berpasangan dengan hubungan antara bentuk bangunan dan perilaku pengguna. Perancang arsitektur menggunakan metode berbasis kemampuan untuk mempertimbangkan visi desain mereka dengan mendeteksi kemampuan. Pagano et al., (2021) membahas mengapa konsep *affordances* harus diprioritaskan dalam dunia arsitektur dan desain. Menurut McGrenere & Ho (2000), untuk mencapai tujuan desain, seorang perancang arsitektur harus mendefinisikan kebutuhan wajib yang harus disediakan oleh sebuah desain. Selain itu, ia harus mengoptimalkan kejelasan materi dengan menguraikan *affordances* yang dapat digunakan. Koutamanis (2006) membahas lebih rinci tentang bagaimana perancang arsitektur menentukan *affordances* dari komponen bangunan dan ruangan mendefinisikan bagaimana pengguna memanfaatkan desain bangunan secara penuh. *Affordances* dari komponen bangunan diperoleh dari batasan fungsional dan struktural yang ditentukan. Sementara itu, *affordance* dari ruangan diambil dari penggunaan ruang sehari-hari dan kondisi spasialnya. Berbeda dengan komponen bangunan,

affordance dari ruangan dapat bersumber dari contoh umum dari mayoritas studi terkait *affordances*.

Kerangka kerja desain berbasis *affordance* yang dibuat oleh Maier & Fadel (2009) dimulai dengan ide dasar membuat *affordances* ke dalam sebuah struktur karena kami menganggap bangunan sebagai sebuah artefak. *Affordances* dibentuk oleh kebutuhan pengguna dan struktur bangunan sebagai sebuah artefak (elemen spasial dan komponen bangunan). Secara bersamaan, proses desain dapat mengidentifikasi dan bahkan menghilangkan *affordance* yang tidak diinginkan dalam desain bangunan sambil mengembangkan atau mempertahankan *affordance* yang baik yang diinginkan. Desain yang dihasilkan akan terdiri dari *affordances* yang diharapkan yang mendorong perilaku pengguna yang diinginkan sambil menghindari *affordances* yang tidak diinginkan. Selama proses desain, arsitek menggunakan pendekatan desain berbasis *affordance* untuk menentukan *affordance* mana yang harus dan tidak boleh terjadi dalam desain mereka dengan memaksimalkan keberadaan *affordance* yang diinginkan dan mengurangi keberadaan *affordance* yang tidak diinginkan. Kehadiran *affordances* yang diinginkan dan ketiadaan *affordances* yang tidak diinginkan menentukan keberhasilan sebuah desain arsitektur.

METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian sebelumnya (Agirachman et al., 2022), pendekatan statistik kuantitatif telah digunakan untuk membangun metode penilaian desain berbasis *affordances* dalam desain arsitektur dengan menggunakan teknologi VR imersif. Studi ini menilik kembali strategi tersebut dengan membandingkan penyesuaian desain visual dengan data statistik yang berasal dari studi sebelumnya. Penelitian ini bertujuan untuk menilai keefektifan metode tinjauan desain dan aplikasi realitas virtual dalam proses tinjauan desain arsitektur. Uji coba dilakukan sebagai bagian dari mata kuliah studio perancangan arsitektur yang mencakup proses iterasi desain bangunan, dengan menggunakan pendekatan tinjauan desain. Dengan demikian, keefektifan proses tinjauan desain berbasis VR dapat diamati berdasarkan hasil interaksi desain arsitektur mahasiswa. Dosen pembimbing mahasiswa menggunakan prosedur tinjauan desain yang serupa untuk mengumpulkan data perbandingan.

Studi Kasus

Ruang lingkup penelitian ini terbatas pada lingkungan pendidikan arsitektur dan hanya memeriksa elemen-elemen spasial. Studi kasus ini merupakan bagian dari mata kuliah studio perancangan arsitektur tahun ketiga di Program Studi Sarjana Arsitektur. Mata kuliah studio ini mengharuskan mahasiswa untuk menyelesaikan dua proyek desain: Lifestyle Center (LC) dan Apartemen (APT).

Mahasiswa merancang sebuah fasilitas gedung LC di Bandung untuk tugas pertama, seperti yang terlihat pada Gambar 1. Proyek ini menekankan pentingnya pembuatan tempat dengan menciptakan lingkungan yang aman dan nyaman bagi penduduk Bandung, lengkap dengan ruang ritel, toko serba ada atau minimarket, pusat ATM, kafe, restoran, dan fasilitas pendukung. Total luas lahan, termasuk lahan yang digunakan untuk proyek kedua, adalah sekitar 6.200 m². Lebih lanjut, melalui proyek ini, para mahasiswa diminta untuk merancang struktur dengan menggunakan bentuk dan komposisi spasial serta mengintegrasikannya dengan konteks tapak, fungsional, dan elemen-elemen konstruksi bangunan.



Gambar 1. Proyek Lifestyle Center (LC)

Untuk proyek kedua, para mahasiswa membuat apartemen bertingkat menengah (APT) setinggi delapan lantai seperti yang terlihat pada Gambar 2. Lokasi pembangunannya berada di sisi utara proyek pertama. Struktur ini dibuat sebagian besar untuk memenuhi kebutuhan hunian bagi penduduk Bandung. Ketika membangun hunian vertikal, mahasiswa harus mempertimbangkan untuk mempelajari perilaku penghuni.



Gambar 2. Proyek Apartemen (APT)

VRDR sebagai *appartus* VR

Pada penelitian ini, kami menggunakan sistem *Virtual Reality Design Reviewer* (VRDR) yang telah dikembangkan pada penelitian sebelumnya (Agirachman & Shinozaki, 2021) seperti yang terlihat pada Gambar 3. VRDR terdiri dari tiga level sistem: model BIM, yang berfungsi sebagai sumber data parameter geometris 3D dan contoh bangunan; tinjauan desain, yang berfungsi sebagai proses pengambilan keputusan; dan lapisan antarmuka pengguna (*user interface/UI*) dan pengalaman

pengguna (*user experience/UX*). Sebagai permulaan, seperti yang telah dinyatakan sebelumnya, semua hasil studio perancangan yang digunakan dalam penelitian ini dimodelkan sebagai model BIM. Geometri tiga dimensi model BIM diimpor ke dalam file .OBJ dan dioptimalkan untuk VR. Untuk menambahkan lapisan informasi ke lapisan UI dan UX, kami mengumpulkan atribut penting dari berbagai contoh, seperti nama, luas, dan volume.

Kerangka kerja sistem VRDR terdiri dari tiga komponen utama: *Common Data Environment* (CDE) model BIM, model VR itu sendiri, dan perangkat HMD VR mandiri yang terhubung ke Internet. CDE berfungsi sebagai pengaturan back-end VRDR. Model VR mencakup objek 3D yang dioptimalkan dengan tekstur material yang disematkan dan atribut model BIM, konektor basis data dengan klien RESTful, dan antarmuka dan pengalaman pengguna berbasis *world-space* yang memungkinkan pengguna menjelajahi model menggunakan VRDR.



Gambar 3. Virtual Reality Design Reviewer (VRDR)

Partisipan

Kami meminta seorang mahasiswa dan seorang pembimbing sebagai partisipan dalam penelitian ini. Kami juga memilih seorang pembimbing yang merupakan dosen program studi arsitektur dan praktisi desain arsitektur profesional. Kemampuannya dalam memahami konsep teknis seperti mengoperasikan Meta Quest, memasang perangkat lunak penting, dan pemecahan masalah sederhana juga menjadi faktor dalam pemilihannya sebagai partisipan. Mahasiswa yang terlibat dipilih oleh pembimbing dan bekerja bersamanya selama mata kuliah studio perancangan arsitektur. Mahasiswa maupun pembimbing menggunakan Meta Quest dengan VRDR sehingga mereka dapat mengakses dan meninjau hasil desain dalam VR.

PDS Process

Agirachman et al., (2022) mengembangkan *PDS Process*, yang merupakan proses analisis data untuk proses tinjauan desain berbasis *affordances*. PDS

adalah singkatan dari "present, disappeared, and stagnant". Prosedur ini menghitung berapa banyak *affordance* yang teramati yang masih ada dan telah hilang pada iterasi terbaru dari sebuah objek dibandingkan dengan iterasi sebelumnya. Prosedur ini juga menghitung berapa banyak *affordances* yang dirasakan yang stagnan kehadirannya, muncul, atau telah lenyap berdasarkan dua iterasi desain. Dalam desain arsitektur, pendekatan ini dapat digunakan untuk membandingkan dua iterasi desain: desain awal dan desain yang telah direvisi.

Prosedur ini harus dilakukan dengan persepsi positif dan negatif. Jadi, tergantung pada persepsi positif dan negatif yang dirasakan, perancang dapat menggunakan proses PDS untuk menentukan apakah desain yang diperbarui lebih baik atau lebih buruk. Proses ini harus dilakukan dengan adanya persepsi positif dan negatif yang dirasakan. Jadi, tergantung pada persepsi positif dan negatif yang dirasakan, perancang dapat menggunakan proses PDS untuk menentukan apakah desain yang diperbarui lebih baik atau lebih buruk. Pada Tabel 1, kami merangkum perhitungan persepsi *affordance* positif dan negatif dalam persentase berdasarkan proses PDS.

Tabel 1. Perhitungan PDS Process

Tujuan Desain	Grup	P	D	S0	S1
Tujuan X	A-P	$\sum A-P$ (P)	$\sum A-P$ (D)	$\sum A-P$ (S0)	$\sum A-P$ (S1)
	A-N	$\sum A-N$ (P)	$\sum A-N$ (D)	$\sum A-N$ (S0)	$\sum A-N$ (S1)

Metode PDS memberikan indeks yang disebut indeks positif (*Positive Indeks/PI*) dan indeks negatif (*Negative Indeks/NI*) untuk mengidentifikasi apakah kecenderungan suatu desain menjadi lebih baik atau tidak berdasarkan jumlah *affordances* yang diamati. Indeks positif (PI) adalah persentase dari *affordances* positif yang ada, *affordances* negatif yang hilang, *affordances* negatif yang stagnan, dan *affordances* positif yang masih ada. Indikator ini menunjukkan kemungkinan desain yang didesain ulang atau iterasi desain ditingkatkan secara positif. Persamaan berikut merupakan persamaan untuk menghitung nilai PI.

$$\sum A-P (P) + \sum A-N (D) + \sum A-N (S0) + \sum A-P (S1)$$

Sementara itu, indeks negatif (NI) adalah jumlah persentase dari kemampuan negatif yang ada, *affordances* positif yang hilang, *affordances* positif yang ada secara stagnan, dan *affordances* negatif yang ada secara stagnan. Indikator ini menunjukkan kemungkinan bahwa desain yang diperbarui atau iterasi desain akan direvisi secara negatif. Persamaan berikut merupakan persamaan untuk menghitung nilai NI.

$$\sum A-N (P) + \sum A-P (D) + \sum A-P (S0) + \sum A-N (S1)$$

Metode PDS kemudian mempromosikan indeks lain yang disebut *Imprv(+)* dan *Imprv(-)* untuk menentukan peningkatan antara dua iterasi desain berdasarkan jumlah tambahan yang dirasakan. Indeks-indeks ini juga dapat membantu kita dalam menentukan apakah alat atau media yang kita gunakan untuk proses peninjauan desain

bermanfaat. *Imprv(-)* adalah persentase dari *affordances* negatif yang ada saat ini yang telah digantikan oleh *affordances* positif yang hilang. Indeks ini merepresentasikan peningkatan negatif dari sebuah iterasi desain. Selanjutnya, keduanya dinyatakan dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$\text{Imprv}(+) = \frac{\sum A-P (P) + \sum A-N (D)}{\sum A-N (P) + \sum A-P (D)}$$

$$\text{Imprv}(-) = \frac{\sum A-N (P) + \sum A-P (D)}{\sum A-N (P) + \sum A-P (D)}$$

Tabel 2. Perubahan luas ruangan dan volume pada proyek LC yang dipasangkan dengan hasil proses PDS.

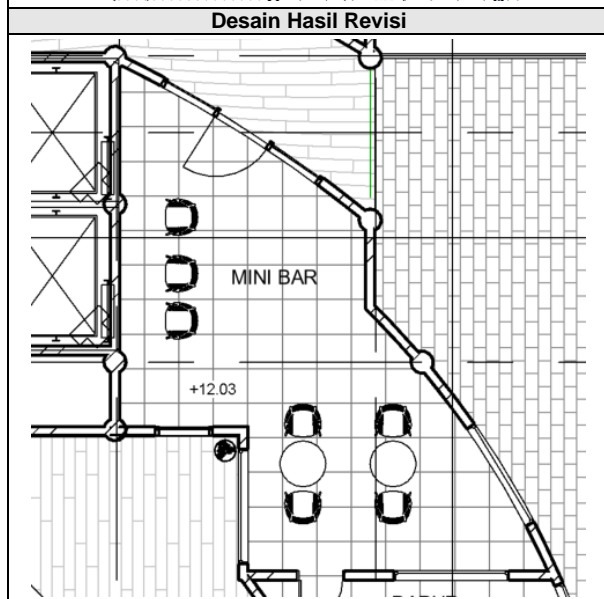
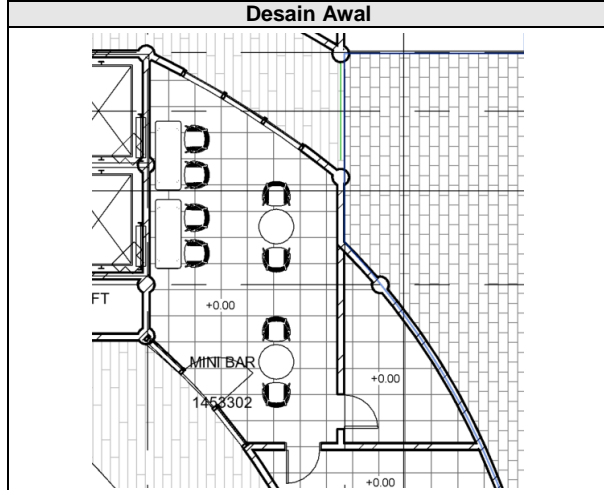
Room Name	Level	Design changes description	Δ Area (m²)	Δ Volume (m³)	Student				Supervisor			
					PI	NI	Imprv(+)	Imprv(-)	PI	NI	Imprv(+)	Imprv(-)
MINIBAR	F1	Different spatial configuration and door measure position in Mini Bar room	5.48	19.19	0.62	0.38	0.21	0.04	0.60	0.40	0.37	0.19
TOILET	F1	Toilet area being washing basin	0.62	2.67	0.62	0.38	0.23	0.15	0.54	0.46	0.27	0.10
PRAYER ROOM	F2	Different entrance with glass washing area (width) and different windows configuration on northern side	0.34	0.24	0.85	0.15	0.40	0.08	0.89	0.51	0.68	0.02
F2 RESTROOM	F2	Three personal washing basin	0.27	0.72	0.67	0.33	0.31	0.10	0.62	0.38	0.55	0.04
OUTDOOR STAGE	F1	A new vegetation arrangement	0.00	0.00	0.40	0.60	0.23	0.13	0.60	0.40	0.37	0.10
ALFRESCO	F1	There's no difference	0.00	-0.85	0.63	0.37	0.23	0.08	0.58	0.42	0.31	0.12
MINIMARKET	F2	Minor furniture setup difference and wider entrance	-1.85	-4.88	0.50	0.50	0.12	0.19	0.42	0.58	0.25	0.12
SME RETAIL	F1	Major differences in furniture setup, wider entrance, and additional opening	-2.51	-8.25	0.79	0.21	0.19	0.17	0.67	0.33	0.33	0.17
CAFE	F2	Major differences in furniture setup, wider entrance, and additional opening and entrance	-2.65	-9.21	0.69	0.31	0.21	0.04	0.60	0.40	0.37	0.02
GF CAFE	F1	Different furniture setup, wider entrance and smaller dining area	-3.58	-12.52	0.60	0.40	0.15	0.12	0.58	0.42	0.38	0.23
RESTAURANT	F1	Smaller dining area, different kitchen and staff room arrangement, and different furniture setup	-3.76	-32.24	0.58	0.42	0.27	0.21	0.45	0.52	0.27	0.08
COSMETIC RETAIL	F1	Wider entrances and different furniture setup	-3.79	-52.37	0.60	0.40	0.25	0.23	0.54	0.46	0.37	0.13
FRANCHISE CAFE	F2	Smaller area with less curve entrance wall and larger kitchen. Different furniture setup	-6.99	-19.91	0.63	0.37	0.23	0.15	0.60	0.40	0.33	0.21
GYM	F2	Wider entrance, different opening setup and different room arrangement	-12.55	-33.88	0.60	0.40	0.23	0.12	0.45	0.54	0.37	0.06
AVERAGE					0.64	0.36	0.23	0.13	0.57	0.43	0.34	0.11

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menjelaskan hasil dari perbaikan desain yang dilakukan oleh mahasiswa dalam proyek LC dan APT. Kami menggunakan Revit untuk membandingkan desain yang diajukan dan desain yang telah diperbarui untuk melihat apakah ada modifikasi yang terjadi pada elemen spasial. Kami melakukan pengecekan visual dan mengumpulkan tabel *quantity takeoff* dari Revit dari alternatif desain untuk mendeteksi modifikasi yang dilakukan pada komponen ruangan. Hasilnya, kami dapat mendeteksi variasi desain baik secara visual (tata letak ruangan yang berbeda) maupun kuantitatif (luas dan volume ruangan yang berbeda). Kemudian kami membandingkannya dengan hasil yang diperoleh dengan menggunakan pendekatan PDS, seperti yang diusulkan dalam penelitian sebelumnya. Pertama-tama, kami membahas perbaikan desain yang dilakukan dalam proyek LC. Dalam hal entitas spasial atau ruangan, kami akan menjelaskan perubahan desain dari tiga ruangan: minibar, musholla, dan minimarket. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2, minibar adalah ruangan dengan penambahan ruang terbanyak (5,48 m²) dan penambahan volume terbanyak kedua (19,19 m³) setelah restoran. Seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3, mahasiswa tersebut melakukan banyak perubahan pada Minibar. Dia memindahkan pintu masuk dari sisi barat daya ke sisi utara ruangan, mengubahnya menjadi dinding sudut terbalik dengan bukaan, dan menghilangkan dinding pemisah di sisi timur ruangan untuk membuat Minibar lebih luas. Minibar mencapai tujuan desain dengan PI 0,62 dan *Imprv (+)* 0,21 menurut mahasiswa dan PI 0,60 dan *Imprv (+)* 0,37 menurut pembimbing dengan menggunakan perlakuan yang ditentukan dengan menggunakan proses PDS.

Tabel 3. Penjelasan rinci tentang perubahan desain Minibar.

Nama Ruang	MINIBAR		Δ Luas (m²)	5.48
Lantai	F1		Δ Volume (m³)	19.19
Hasil PDS	PI	NI	Imprv(+)	Imprv(-)
Mahasiswa	0.62	0.38	0.21	0.04
Pembimbing	0.60	0.40	0.37	0.19



Musholla, yang memiliki luas 0,34 m², terletak di lantai dua proyek LC. Siswa tersebut membuat perubahan yang signifikan. Dia sebelumnya menempatkan dua area wudhu yang berbeda di dalamnya. Tujuannya adalah untuk memisahkan pengguna pria dan wanita. Namun, penempatan area wudhu tersebut dapat mengakibatkan tempat salat tertentu hanya digunakan untuk sirkulasi dari pintu masuk ke area wudhu. Dalam desain yang baru, ia memindahkan pintu masuk ke barat daya dan hanya menyertakan satu area wudhu yang dipisahkan dari sirkulasi dan ruang salat oleh dinding. Dia juga menyertakan kompartemen sepatu di dekat area wudhu. Dengan penyesuaian ini, yang dihitung menggunakan proses PDS, baik mahasiswa maupun pembimbing menentukan bahwa Ruang Salat memenuhi tujuan desain, dengan mahasiswa mendapat nilai PI 0,85 dan pembimbing mendapat nilai PI 0,69 dan Imprv (+) 0,48. Ini adalah total poin

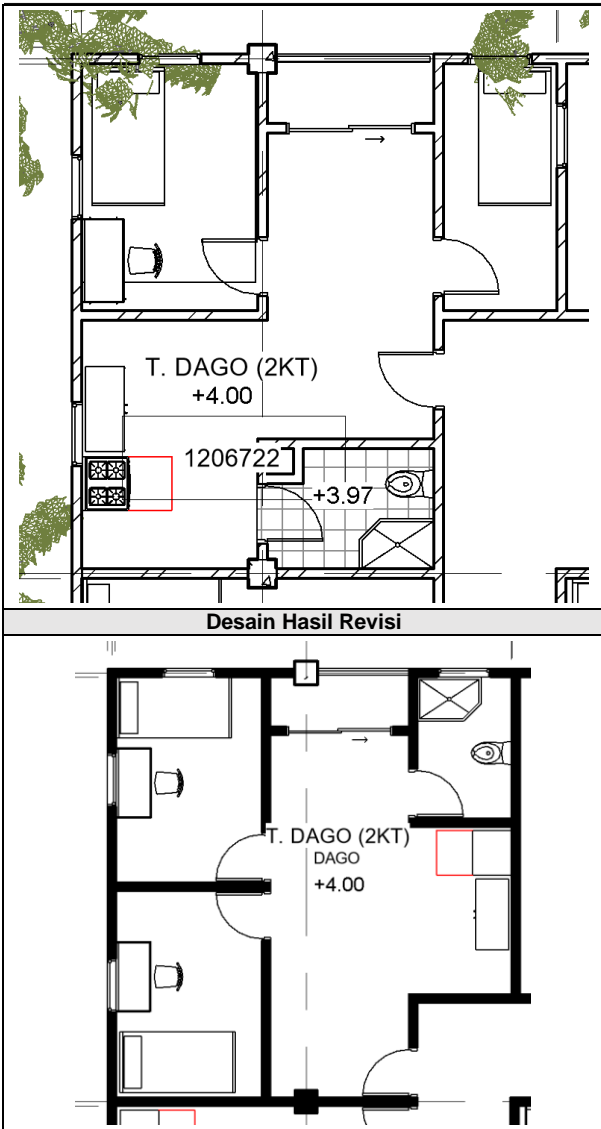
PI dan Imprv(+) tertinggi yang ditentukan oleh mahasiswa dan pembimbing.

Terakhir, minimarket juga berada di tingkat kedua proyek LC, dengan penurunan luas area sebesar - 1,84 m². Mahasiswa melakukan beberapa perubahan pada ruang tersebut. Dia menyesuaikan pengaturan furnitur dan membuat pintu masuk menjadi lebih besar. Dengan penyesuaian ini, yang dievaluasi melalui proses PDS, mahasiswa tersebut menganggap bahwa minimarket tidak memenuhi atau gagal memenuhi tujuan desain, dengan PI 0,50 dan Imprv(-) 0,19. Sementara itu, pembimbing menilai bahwa Minimarket belum memenuhi tujuan desain dengan NI 0,58, sementara menilai perbaikan desain dengan Imprv(+) 0,25.

Selanjutnya, kami membahas perubahan desain proyek APT. Kami akan membahas perubahan desain pada ruangan-ruangan berikut ini, yang semuanya merupakan unit apartemen, untuk entitas spasial atau ruangan: unit T. Dago, unit T. Sukabungah, unit T. Sukawarna, dan unit T. Braga. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4 dan 5, unit T. Dago (2BR) memiliki penambahan luas ruang paling banyak (12,49 m²) dan juga penambahan volume paling banyak (37,48 m³). Mahasiswa membuat desain ruangan yang sama sekali berbeda dan memindahkan ruang masuk ke sisi bawah ruang. Hasilnya, konfigurasi ruangan yang direvisi memberikan ruang keluarga yang lebih besar daripada desain aslinya. Unit T. Dago mencapai tujuan desain dengan nilai PI 0,77 dan Imprv (+) 0,25 menurut hasil peninjauan mahasiswa. Sementara itu, nilai PI 0,69 serta Imprv(+) 0,35 didapat dari hasil peninjauan pembimbing menggunakan metode PDS.

Tabel 4. Penjelasan rinci tentang perubahan desain Minibar.

Nama Ruang	T. DAGO (2BR)		Δ Luas (m²)	12.49
Lantai	F2		Δ Volume (m³)	37.48
Hasil PDS	PI	NI	Imprv(+)	Imprv(-)
Mahasiswa	0.77	0.23	0.25	0.00
Pembimbing	0.69	0.31	0.35	0.06



Tabel 5. Perubahan luas ruangan dan volume pada proyek APT yang dipasangkan dengan hasil proses PDS.

Room Name	Level	Design changes description	Δ Area (m ²)	Δ Volume (m ³)	Student				Supervisor			
					PI	NI	Imprv(+)	Imprv(-)	PI	NI	Imprv(+)	Imprv(-)
T. DAGO (2BR)	F2	Different room configuration and entrance, with room: living room	12.49	37.48	0.77	0.23	0.25	0.00	0.69	0.31	0.35	0.06
T. SUKAMULYA (S)	FT	Wider room.	6.45	19.35	0.69	0.31	0.19	0.02	0.67	0.33	0.33	0.13
T. SUKAWARNA (S)	FT	Wider room.	1.46	4.38	0.77	0.23	0.21	0.00	0.50	0.29	0.29	0.25
T. CAMPAKA (1BR)	FT	Different room arrangement (narrower bathroom and wider bedroom)	0.30	0.92	0.69	0.31	0.21	0.08	0.52	0.48	0.21	0.38
MANAGEMENT ROOM	F1	Different entrance door placement	0.00	0.21	0.75	0.25	0.13	0.04	0.67	0.33	0.37	0.13
COMMON ROOM	F1	There's no difference	0.00	0.35	0.73	0.27	0.12	0.00	0.52	0.48	0.21	0.19
SECURITY ROOM	F1	Different entrance door placement	0.00	0.21	0.77	0.23	0.13	0.00	0.54	0.46	0.06	0.02
MINIMARKET	F1	Low door placed in the Storage Room (Opening)	0.00	0.36	0.67	0.33	0.13	0.02	0.71	0.29	0.19	0.02
CAFE	F1	Different entrance door setup	0.00	0.37	0.63	0.37	0.21	0.06	0.50	0.50	0.12	0.15
READING ROOM	F1	Different entrance door and toilet placement	0.00	0.42	0.71	0.29	0.10	0.00	0.65	0.35	0.29	0.06
DAYCARE	F1	There's no difference	0.00	0.28	0.75	0.25	0.12	0.02	0.44	0.56	0.00	0.00
GARDEN	F2	There's no difference	0.00	1.02	0.71	0.29	0.29	0.04	0.44	0.56	0.00	0.00
T. SUKARAJA (S)	FT	Slightly different kitchen setup	0.00	0.00	0.71	0.29	0.08	0.02	0.58	0.42	0.00	0.00
T. ISOLA (2BR)	FT	Different column placement in the bathroom and different wall & door placement	0.00	0.00	0.73	0.27	0.13	0.00	0.71	0.29	0.38	0.10
ROOFTOP	RT	There's no difference	0.00	0.00	0.62	0.38	0.19	0.10	0.65	0.35	0.31	0.19
GYM	F2	Different door placements, wider storage room	0.00	0.00	0.71	0.29	0.19	0.08	0.54	0.46	0.00	0.00
T. BRAGA (2BR)	F2	Different wall partition setup, bathroom door placement, and kitchen placement	-0.30	-0.90	0.75	0.25	0.27	0.00	0.75	0.25	0.33	0.10
T. SUKAPURA (S)	FT	Different wall partition setup, entrance door, and furniture placement	-0.35	-1.04	0.77	0.23	0.08	0.02	0.60	0.40	0.00	0.00
T. SUKABUNGHANG (S)	F2	Different column grid position and kitchen positioning	-2.50	-7.50	0.73	0.27	0.19	0.04	0.37	0.63	0.00	0.00
AVERAGE					0.72	0.28	0.17	0.03	0.58	0.42	0.38	0.09

Mahasiswa membuat alternatif desain ruangan dengan merelokasi dapur dan tempat tidur serta memindahkan lokasi grid kolom struktur. Mahasiswa meninjau bahwa unit T. Sukabungah telah memenuhi tujuan desain dengan PI 0.73 dan Imprv (+) 0.19 dengan menggunakan penyesuaian-penyesuaian yang telah ditentukan dengan proses PDS. Namun, pembimbing berpendapat sebaliknya, menyatakan bahwa unit tersebut belum memenuhi tujuan dengan NI 0.63 dan Imprv(+) 0.00, yang mengimplikasikan bahwa tidak ada perbaikan sama sekali.

Selanjutnya, dengan PI 0,77 dan Imprv(+) 0,21, unit T. Sukawarna memiliki PI tertinggi yang ditinjau oleh siswa. Mahasiswa tersebut menambah lebar unit pada grid sumbu horizontal, meningkatkannya dari 6,9 m menjadi 7,5 m. Dia juga membuat beberapa perubahan kecil pada pengaturan furnitur. Pembimbing tidak puas dengan perbaikan ini karena dia meninjau ulang unit tersebut dengan PI 0,50 dan Imprv(+) 0,29.

Akhirnya, dengan PI 0,75 dan Imprv(+) 0,33, unit T. Braga memiliki PI tertinggi yang ditinjau oleh pembimbing. Unit ini sedikit lebih kecil dari desain sebelumnya, dengan luas 0,30 m² lebih kecil. Mahasiswa tersebut mengubah tata letak partisi dinding, posisi pintu kamar mandi, dan memindahkan penempatan dapur dan kamar tidur. Dengan modifikasi ini, mahasiswa setuju dengan pembimbing bahwa unit tersebut telah memenuhi tujuan desain yaitu PI 0.75 dan Imprv(+) 0.27.

Pada akhirnya, kami membahas hasil perbandingan visual dalam hubungannya dengan hasil proses PDS. Proses PDS menunjukkan bahwa para mahasiswa dan pembimbing berpendapat bahwa VRDR paling banyak meningkatkan desain proyek LC dan APT. Mahasiswa dan pembimbing menilai komponen ruang lebih tinggi pada indeks positif (PI) daripada indeks negatif (NI) pada proyek LC. Keduanya setuju bahwa desain proyek LC yang telah diperbaiki memiliki indeks perbaikan yang lebih

T. Sukabungah, berbeda dengan unit T. Dago, memiliki penurunan luas area paling besar yaitu - 2,50 m² dan penurunan volume paling besar yaitu - 7,50 m³ seperti yang terlihat pada Tabel 5. Mahasiswa membuat alternatif desain ruangan dengan merelokasi dapur dan tempat tidur serta memindahkan lokasi grid kolom struktur. Mahasiswa meninjau bahwa unit T. Sukabungah telah memenuhi tujuan desain dengan PI 0.73 dan Imprv (+) 0.19 dengan menggunakan penyesuaian-penyesuaian yang telah ditentukan dengan proses PDS. Namun, pembimbing berpendapat sebaliknya, menyatakan bahwa unit tersebut belum memenuhi tujuan dengan NI 0.63 dan Imprv(+) 0.00, yang mengimplikasikan bahwa tidak ada perbaikan sama sekali.

Selanjutnya, dengan PI 0,77 dan Imprv(+) 0,21, unit T. Sukawarna memiliki PI tertinggi yang ditinjau oleh siswa. Mahasiswa tersebut menambah lebar unit pada grid sumbu horizontal, meningkatkannya dari 6,9 m menjadi 7,5 m. Dia juga membuat beberapa perubahan kecil pada pengaturan furnitur. Pembimbing tidak puas dengan perbaikan ini karena dia meninjau ulang unit tersebut dengan PI

baik (Imprv+), yang menunjukkan bahwa VRDR dapat membantu mahasiswa untuk menyempurnakan desain tersebut.

Pada proyek APT, mahasiswa dan pembimbing sepakat bahwa desain yang diubah telah memenuhi tujuan desain. Proyek LC dan APT yang didesain ulang memiliki lebih banyak *affordance* positif dan lebih sedikit *affordance* negatif. Pembimbing juga mencatat bahwa proyek LC memiliki lebih banyak *affordance* positif dan negatif daripada proyek APT. Hasil ini harus menunjukkan kepada mahasiswa bahwa desain revisi berhasil menyelesaikan berbagai masalah desain yang ditemukan dan di sisi lain juga menambah masalah desain baru yang masih perlu diselesaikan.

KESIMPULAN

Penelitian ini membandingkan perubahan desain secara visual dengan penelitian terkait sebelumnya. VRDR digunakan oleh seorang mahasiswa studio perancangan arsitektur tahun ketiga dan dosen pembimbingnya. Keduanya menggunakan VRDR untuk mengevaluasi karya desain mahasiswa dan menggunakan hasilnya untuk merevisi. Mereka menggunakan VRDR untuk memeriksa apakah metode desain berbasis *affordances* dapat meningkatkan desain setelah dilakukannya revisi. Saran desain yang diberikan adalah apartemen (APT) dan *lifestyle center* (LC). PDS menunjukkan bahwa para mahasiswa dan pembimbing berpendapat bahwa VRDR bermanfaat dapat meningkatkan desain proyek LC dan APT untuk mencapai tujuan desain. Data ini menunjukkan kepada mahasiswa bahwa desain yang direvisi berhasil menyelesaikan masalah desain yang muncul dan bersamaan juga memunculkan masalah desain yang baru. Penelitian ini juga menunjukkan bagaimana mahasiswa dan dosen pembimbing memiliki perbedaan pandangan saat meninjau desain hasil studio perancangan arsitektur.

DAFTAR PUSTAKA

- Agirachman, F. A., & Shinozaki, M. (2021). VRDR - An Attempt to Evaluate BIM-based Design Studio Outcome Through Virtual Reality. In A. Globa, J. van Ameijde, A. Fingrut, N. Kim, & T. T. S. Lo (Eds.), *Projections - Proceedings of the 26th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia* (Vol. 2, pp. 223–232). The Chinese University of Hong Kong and Online. http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/caadria2021_006
- Agirachman, F. A., Shinozaki, M., Koerniawan, M. D., & Indraprastha, A. (2022). Implementing Affordance-Based Design Review Method Using Virtual Reality in Architectural Design Studio. *Buildings* 2022, Vol. 12, Page 1296, 12(9), 1296. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS12091296>
- Bartosh, A., & Anzalone, P. (2019). Experimental Applications of Virtual Reality in Design Education. *ACADIA 2019 - Ubiquity and Autonomy*, 458–467. http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/acadia19_458
- Bekele, M. K., & Champion, E. (2019). Redefining Mixed Reality: User-Reality-Virtuality and Virtual Heritage Perspectives. *Intelligent & Informed, Proceedings of the 24th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA) 2019, Volume 2*, 675–684. http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/caadria2019_196
- Boletsis, C., & Cedergren, J. E. (2019). VR Locomotion in the New Era of Virtual Reality: An Empirical Comparison of Prevalent Techniques. *Advances in Human-Computer Interaction*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/7420781>
- Carreiro, M. B. T., & Pinto, P. D. L. (2013). The evolution of representation in architecture. *Future Tradition - 1st ECAADe Regional International Workshop*, 27–38. https://doi.org/10.1162/NECO_a_00475
- Chung, J. K. H., Kumaraswamy, M. M., & Palaneeswaran, E. (2009). Improving megaproject briefing through enhanced collaboration with ICT. *Automation in Construction*, 18(7), 966–974. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.05.001>
- Dvorak, J., Hamata, V., Skacilik, J., & Benes, B. (2005). Boosting up Architectural Design Education with Virtual Reality. *Central European Multimedia and Virtual Reality Conference*.
- Gibson, J. J. (1979). The theory of affordances. In J. J. Gieseking, W. Mangold, C. Katz, S. Low, & S. Saegert (Eds.), *The People, Place, and Space Reader* (pp. 56–60). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315816852>
- Globa, A., Wang, R., & Beza, B. B. (2019). Sensory Urbanism and Placemaking - Exploring Virtual Reality and the Creation of Place. *Intelligent & Informed, Proceedings of the 24th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA) 2019*, 737–746. http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/caadria2019_211
- Gutiérrez A., M. A., Vexo, F., & Thalmann, D. (2008). Stepping into virtual reality. In *Stepping into Virtual Reality*. <https://doi.org/10.1007/978-1-84800-117-6>
- Heft, H. (2003). Affordances, Dynamic Experience, and the Challenge of Reification. *Ecological Psychology*, 15(2), 149–180.
- Horne, M., & Thompson, E. M. (2008). The Role of Virtual Reality in Built Environment Education. *Journal for Education in the Built Environment*, 3(1), 5–24. <https://doi.org/10.11120/jebe.2008.03010005>
- Kalantari, S., Contreras-Vidal, J. L., Smith, J. S., Cruz-Garza, J., & Banner, P. (2018). Evaluating educational settings through biometric data and virtual response testing. *Recalibration on Imprecision and Infidelity - Proceedings of the 38th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture, ACADIA 2018*, 118–125.
- Koutamanis, A. (2006). BUILDINGS AND AFFORDANCES. *Design Computing and Cognition '06, June*, 345–364. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5131-9>
- Kuliga, S. F., Thrash, T., Dalton, R. C., & Hölscher, C. (2015). Virtual reality as an empirical research tool — Exploring user experience in a real building and a corresponding virtual model. *Computers, Environment and Urban Systems*, 54, 363–375. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.09.006>
- Leigh, J., Johnson, A., Renambot, L., Peterka, T., Jeong, B., Sandin, D. J., Talandis, J., Jagodic, R., Nam, S., Hur, H., & Sun, Y. (2013). Scalable resolution display walls. *Proceedings of the IEEE*, 101(1),

- 115–129.
<https://doi.org/10.1109/JPROC.2012.2191609>
- Loyola, M., Rossi, B., Montiel, C., & Daiber, M. (2020). *Use of Virtual Reality in Participatory Design*. *December 2019*, 449–454.
https://doi.org/10.5151/proceedings-ecaadesigradi2019_156
- Lymer, G., Ivarsson, J., & Lindwall, O. (2009). Contrasting the use of tools for presentation and critique: Some cases from architectural education. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 4(4), 423–444.
<https://doi.org/10.1007/s11412-009-9073-9>
- Maier, J. R. A., & Fadel, G. M. (2009). Affordance based design: a relational theory for design. *Research in Engineering Design*, 20, 13–27.
<https://doi.org/10.1007/s00163-008-0060-3>
- McGrenere, J., & Ho, W. (2000). Affordances: Clarifying and Evolving a Concept. *Graphics Interface*, May, 1–8.
- Pagano, C. C., Day, B., & Hartman, L. S. (2021). An Argument Framework for Ecological Psychology and Architecture Design. *https://doi.org/10.1080/24751448.2021.1863665*, 5(1), 31–36.
<https://doi.org/10.1080/24751448.2021.1863665>
- Paranandi, M., & Sarawgi, T. (2002). Virtual Reality in Possibilities. *Proceedings of the 7th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia*, 309–316.
<http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/3439>
- Sherman, W. R., & Craig, A. B. (2003). Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design. In *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design*.
<https://doi.org/10.1162/105474603322391668>
- Vital, R. (2006). *Incorporation of cultural elements into architectural historical reconstructions through virtual reality*.
<http://search.proquest.com/dissertations/docview/305345736/abstract/BF2FAD132CD74C68PQ/2>
- Warren, W. H. (1984). Perceiving affordances: Visual guidance of stair climbing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10(5), 683–703. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.10.5.683>
- Warren, W. H., & Whang, S. (1987). Visual guidance of walking through apertures: Body-scaled information for affordances. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13(3), 371–383. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.13.3.371>
- Whyte, J., & Nikolic, D. (2018). *Virtual Reality and the Built Environment* (Second Ed). Routledge.
- Wickens, C. D. (1992). Virtual reality and education. *Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 1992-Janua*, 842–847.
<https://doi.org/10.1109/ICSMC.1992.271688>