

EFEK DESAIN POLA FRAKTAL DALAM RUANG VIRTUAL (VR) TERHADAP PENGURANGAN STRES FISILOGIS

Ida Bagus Gede Parama Putra^{1,2*}, L.M.F. Purwanto¹

1. Program Studi Doktor Arsitektur Konsentrasi Arsitektur Digital, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang
2. Program Studi Arsitektur, Universitas Warmadewa, Denpasar

*Correspondent Author: parama.putra@warmadewa.ac.id

Tanggal masuk naskah: 30 Desember 2024 • Tanggal review: 5 & 6 Februari 2025 • Tanggal revisi: 17 Februari 2025 •

Tanggal review II: 19 & 21 Februari 2025 • Tanggal Terbit: 1 Maret 2025

DOI: 10.24167/joda.v4i2.13318



Abstrak: Abstrak

Abstrak

Stres fisiologis merupakan kondisi umum yang dipengaruhi oleh tuntutan pekerjaan, lingkungan, dan kesehatan. Penelitian ini mengevaluasi efek desain fraktal dalam ruang virtual terhadap tingkat stres menggunakan metode kuantitatif eksperimental. Sepuluh partisipan dibagi menjadi dua kelompok: eksperimen (terpapar pola fraktal) dan kontrol (tanpa pola fraktal). Tingkat stres diukur menggunakan kuesioner *Depression Anxiety Stress Scales* (DASS-42). Hasil *Paired Samples T-Test* menunjukkan kelompok eksperimen mengalami penurunan stres signifikan, dengan rata-rata skor pre-test 27,50 menurun menjadi 22,50 pada post-test ($t=3,227$, $p=0,010$). *Independent Samples T-Test* mengonfirmasi perbedaan signifikan antara kelompok eksperimen dan kontrol, dengan rata-rata skor post-test kelompok eksperimen (26,60) lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol (18,40) ($t=-7,748$, $p<0,001$). Temuan ini menunjukkan bahwa pola fraktal dalam lingkungan virtual berkontribusi terhadap pengurangan stres dengan memfasilitasi relaksasi dan mengurangi beban kognitif. Desain berbasis fraktal berpotensi diimplementasikan dalam arsitektur dan desain interior untuk meningkatkan kesejahteraan psikologis. Penelitian lanjutan disarankan untuk memperluas ukuran sampel, mengeksplorasi kompleksitas pola fraktal, serta menguji durasi paparan optimal guna memperkuat temuan ini. Selain itu, studi lebih lanjut dapat meneliti mekanisme neurofisiologis yang terlibat dalam respon terhadap pola fraktal, sehingga dapat memberikan dasar ilmiah yang lebih kuat bagi penerapannya dalam desain berbasis kesehatan.

Kata Kunci: Pola Fraktal, Terapi Digital, VR (Virtual Reality)

Abstract: Abstract

Physiological stress is a common condition influenced by work demands, environment, and health. This study evaluates the effects of fractal design in virtual spaces on stress levels using an experimental quantitative method. Ten participants were divided into two groups: an experimental group (exposed to fractal patterns) and a control group (without fractal patterns). Stress levels were measured using the Depression Anxiety Stress Scales (DASS-42). Results from the Paired Samples T-Test showed a significant reduction in stress for the experimental group, with an average pre-test score of 27.50 decreasing to 22.50 in the post-test ($t=3.227$, $p=0.010$). The Independent Samples T-Test confirmed a significant difference between the experimental and control groups, with the experimental group's post-test average score (26.60) being higher than that of the control group (18.40) ($t=-7.748$, $p<0.001$). These findings indicate that fractal patterns in virtual environments contribute to stress reduction by facilitating relaxation and reducing cognitive load. Fractal-based design has the potential to be implemented in architecture and interior design to enhance psychological well-being. Future research is recommended to expand the sample size, explore variations in fractal pattern complexity, and examine optimal exposure durations to further validate these findings. Additionally, further studies could investigate the neurophysiological mechanisms involved in the perception of

fractal patterns, providing a stronger scientific foundation for their application in health-oriented design.

Keywords: *Fractal Patterns, Digital Therapy, VR (Virtual Reality)*

1. Pendahuluan

Stres fisiologis merupakan tantangan yang umum dihadapi individu akibat tekanan pekerjaan, lingkungan perkotaan, dan faktor kesehatan. Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengatasinya, termasuk realitas virtual (VR) sebagai alat terapi yang menciptakan lingkungan imersif guna menstimulasi relaksasi dan menurunkan indikator stres fisiologis. Salah satu pendekatan yang menjanjikan dalam desain VR adalah penerapan pola fraktal, yang secara alami memiliki efek menenangkan dan telah banyak digunakan dalam seni, arsitektur, serta lingkungan digital.

Pola fraktal, yang sering ditemukan di alam seperti cabang pohon dan garis pantai, memiliki karakteristik self-similarity dan pengulangan di berbagai skala yang terbukti mengurangi stres dengan memberikan efek visual yang menenangkan. Studi menunjukkan bahwa paparan terhadap pola ini dapat menurunkan detak jantung, tekanan darah, dan meningkatkan kesejahteraan psikologis. Dengan perkembangan teknologi, pola fraktal kini dapat disimulasikan dalam ruang virtual untuk menciptakan pengalaman terapeutik yang lebih mendalam.

Penelitian ini mengeksplorasi bagaimana pola fraktal dalam VR dapat digunakan sebagai strategi efektif dalam pengurangan stres fisiologis. Integrasi pola ini diharapkan dapat meningkatkan manfaat terapi digital, memberikan alternatif inovatif dalam desain lingkungan relaksasi, dan memperkaya pemahaman tentang dampak neuroestetika dalam arsitektur virtual.

2. Tinjauan Pustaka

Stres fisiologis didefinisikan sebagai respons tubuh terhadap stimulus eksternal yang dianggap sebagai ancaman atau tantangan. Ini ditandai dengan peningkatan detak jantung dan tekanan darah [1]. Stres fisiologis adalah masalah yang muncul akibat tekanan pekerjaan, lingkungan perkotaan, maupun masalah kesehatan. Menurut Yönder Ertem dan Karakaş [2], stres dapat diartikan sebagai kondisi yang mengancam kesejahteraan seseorang serta dapat menghambat atau memaksa individu untuk terus melangkah. Stress secara umum sangat berdampak pada kesehatan mulai dari perubahan hormon, fisik, emosional dan juga pengaruh Kesehatan seperti

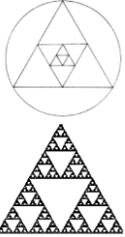
perubahan endokrin [3], [4], [5]. Berbagai metode pengurangan stres telah diteliti, termasuk penggunaan realitas virtual (VR). Meski begitu, ada kebutuhan untuk fokus lebih mendalam pada aspek tertentu, terutama dalam hal desain ruang virtual. Teknologi VR menjadi salah satu bidang teknologi yang sering diintegrasikan dengan berbagai bidang baik arsitektur dan psikologi dalam beberapa tahun terakhir sebagai alat untuk manajemen stres. Hal ini ditegaskan terhadap konsep desain biofilik, yang menekankan pengintegrasian elemen alami ke dalam lingkungan binaan yang memiliki manfaat kesehatan dan kesejahteraan manusia [6]. Secara khusus, penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa desain biofilik dapat memiliki efek restoratif, mengurangi stres, dan meningkatkan fungsi kognitif [6],[7]. Temuan-temuan ini memiliki implikasi penting bagi pengembangan intervensi terapeutik inovatif, desain lingkungan restoratif, dan integrasi prinsip-prinsip desain biofilik dalam aplikasi realitas virtual [8],[9]. Beberapa studi menunjukkan bahwa lingkungan virtual yang imersif dapat secara efektif mendukung relaksasi dan mengurangi tanda-tanda stres fisiologis, seperti variabilitas detak jantung [10]. Salah satu pendekatan yang belum banyak diteliti yaitu bagaimana stres melalui VR adalah dengan memasukkan pola fraktal dapat mengurangi stres, sesuai dengan adanya bukti pola fraktal yang efektif dalam menciptakan efek menenangkan dan memfasilitasi pemulihan di berbagai konteks realitas [11]. Menurut Stylianos Mystakidis [12], ruang virtual diklasifikasikan sebagai elemen utama dalam *metaverse*, yaitu suatu lingkungan pasca-realitas yang mengintegrasikan dunia fisik dan digital. Beberapa penelitian telah membahas terapi berbasis alam, menyoroti peran *metaverse* sebagai alternatif platform untuk terapi psikologis [13].

Pada tahun 1975, pencipta teori fraktal, Mandelbrot, menciptakan kata "fraktal" berdasarkan kata "frangere" dari bahasa Latin, yang memiliki dua makna, yaitu tidak beraturan dan pecah [14]. Fraktal umumnya dapat dibagi menjadi dua kategori: fraktal acak dan fraktal deterministik. Fraktal deterministik berarti grafik yang sama dihasilkan dengan

mengulangi algoritma yang sama berkali-kali. Meskipun beberapa faktor acak ditambahkan selama proses pembuatannya, grafik yang dihasilkan tetap tidak berubah. Sebaliknya, fraktal acak berarti meskipun aturan pembentukan grafik fraktal tidak berubah, grafik akhir yang dihasilkan akan berbeda karena pengaruh faktor acak [15].

Studi tentang penilaian estetika manusia terhadap pola fraktal merupakan bidang penelitian yang relatif baru dalam psikologi persepsi. Baru-baru ini, penelitian mulai mengukur preferensi visual orang terhadap konten fraktal. Titik awal yang berguna untuk menilai kemampuan orang dalam mengenali dan menciptakan pola visual adalah dengan mengkaji metode yang digunakan oleh seniman untuk menghasilkan gambar yang estetis di kanvas mereka. Lebih khusus lagi, untuk mengeksplorasi penghargaan intrinsik terhadap pola tertentu, tampaknya tepat untuk mempelajari para Surealis dan keinginan mereka untuk melukis gambar yang bebas dari pertimbangan kesadaran [14].

Tabel 1 Penjelasan Geometri Fraktal

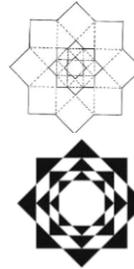
Fractal Geometry	Deskripsi Penjelasan
	Progresi Geometris Menuju Ketakhinggaan menunjukkan progresi geometris dari sebuah bentuk kotak atau persegi yang berulang dengan penambahan geometri persegi yang lebih kecil di dalam geometri persegi yang lebih besar. Ini menciptakan ilusi kedalaman dan keterusannya menuju pusat, memberi kesan seolah-olah pola ini berlanjut tanpa batas (infinitas). Ini adalah konsep dasar dalam fraktal, di mana pola yang diulang terus menerus bisa memanjang hingga ketakhinggaan tanpa pernah hilang.
	Progresi Geometris Segitiga dan Segitiga Sierpinski menampilkan segitiga Sierpinski, salah satu contoh klasik dari fraktal. Di sini, segitiga besar dipecah menjadi segitiga-segitiga yang lebih kecil, di mana setiap segitiga juga dibagi kembali menjadi segitiga yang lebih kecil. Ini menunjukkan keserupaan diri (self-similarity), yang merupakan sifat dasar fraktal, di mana

setiap bagian kecil memiliki bentuk yang sama dengan keseluruhan.

Progresi Geometris Persegi dan Persegi Fraktal menunjukkan pengulangan bentuk persegi dalam pola fraktal. Persegi ini ditumpuk dengan variasi ukuran yang semakin kecil di dalam persegi yang lebih besar. Sama seperti pola segitiga, bentuk persegi ini menunjukkan pengulangan tanpa batas, mengisyaratkan bahwa pola ini dapat terus berlanjut menuju ketakhinggaan. Pola ini sering ditemukan dalam desain arsitektur, terutama dalam aspek simetri dan keseimbangan.



Progresi Geometris Oktagon dan Bintang Fraktal menunjukkan oktagon yang diulang dalam bentuk fraktal bintang. Oktagon besar dipecah menjadi oktagon-oktagon yang lebih kecil, dan setiap oktagon membentuk bintang fraktal. Pola ini menunjukkan bagaimana progresi geometris dapat menghasilkan bentuk yang lebih kompleks dan simetris. Bintang fraktal ini juga memiliki sifat keserupaan diri, di mana bentuk keseluruhan tercermin dalam setiap bagian kecilnya.



Fraktal merupakan pola estetika alam yang muncul di berbagai struktur, baik pada skala mikroskopis maupun global dalam lingkungan alam. Fraktal terdiri dari pola berulang yang serupa dengan dirinya sendiri di berbagai skala, dengan tingkat pengulangan (jumlah pengulangan di setiap skala) dan nilai fraktal "D-value" (tingkat pengecilan pola di antara pengulangan) yang menentukan persepsi kompleksitas pola. Tingkat pengulangan ini mengatur keseimbangan antara struktur kasar dan halus yang membentuk pola secara keseluruhan. Pola-pola tersebut yang dapat ditemui pada geometri makhluk hidup sangat berhubungan dengan kedekatan akan alam yang lebih luas. Fraktal, yang terus-menerus berubah, mampu menghasilkan bentuk-bentuk baru yang beragam dari suatu struktur awal yang sudah ditentukan. Inilah keunggulan dari metode fraktal. Fraktal merupakan model dari sistem dinamis yang mampu berkembang dan berubah, serta berkontribusi pada penciptaan suatu keseluruhan dari potongan-potongan yang ada, di mana langkah berikutnya didasarkan pada pengembangan dari yang

sebelumnya. Hal ini membuat objek tersebut menjadi unik, sepenuhnya berbeda dari struktur awalnya [16].

Menurut Joye [17], adanya kemungkinan efek positif yang dirasakan manusia dari alam dan elemen alami mungkin sebenarnya berasal dari dimensi fraktalnya, bukan dari elemen alami itu sendiri. Dia menulis bahwa respons psikologis dan fisiologis positif yang serupa juga dapat dipicu oleh elemen yang tidak ditemukan di alam, seperti dalam lukisan tertentu dan elemen arsitektur. Pola fraktal di alam diyakini memiliki hubungan dengan ketenangan mental karena otak manusia secara naluriah merespon pola-pola ini dengan lebih mudah. Penelitian oleh Richard Taylor menunjukkan bahwa paparan visual terhadap pola fraktal dengan dimensi fraktal sekitar 1,3 mampu mengurangi stres hingga 60% dibandingkan dengan pola yang lebih rumit atau terlalu sederhana [18].

3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen dengan pendekatan kuantitatif untuk mengevaluasi efek pola fraktal dalam ruang virtual terhadap tingkat stres. Metode eksperimen yang diterapkan adalah pre-tes dan post-tes control grup, di mana partisipan dibagi menjadi dua kelompok: kelompok eksperimen yang terpapar pola fraktal dalam lingkungan virtual dan kelompok kontrol yang berada dalam lingkungan virtual tanpa pola fraktal.

Partisipan dan Metode Sampling

Sebanyak 10 partisipan dewasa (usia 20–25 tahun) direkrut menggunakan metode purposive sampling, dengan kriteria inklusi seperti tidak memiliki gangguan penglihatan yang signifikan, tidak mengalami fobia terhadap lingkungan virtual (*cybersickness*), serta tidak sedang menjalani terapi psikologis atau konsumsi obat psikotropika.

Variabel Penelitian

Penelitian ini memiliki variable independent dan dependen :

1. Variabel independen: Paparan pola fraktal dalam ruang virtual.
2. Variabel dependen: Tingkat stres partisipan, yang diukur melalui kuesioner *Depression Anxiety Stress Scales* atau DASS-42). Menurut Crawford dan Henry [19], Instrumen DASS-42 memiliki validitas tinggi dengan hasil alfa 0,947 (depresi), 0,897 (kecemasan), dan 0,933 (stres).

Instrumen dan Prosedur Penelitian

Pengukuran tingkat stres dilakukan sebelum (pre-test) dan setelah (post-test) paparan pola fraktal menggunakan kuesioner DASS-42. Kuesioner ini mengkategorikan tingkat stres berdasarkan skor total: normal (0–29), ringan (30–59), sedang (60–89), berat (90–119), dan sangat berat (>120).

Desain Pola Fraktal

Desain pola fraktal dibuat menggunakan platform berbasis web Skybox AI dari Blockade Labs dengan prompt *human view, therapy, fractal geometry, HD*, yang kemudian dirender menggunakan M3 Utopia. Partisipan mengalami paparan lingkungan virtual melalui perangkat Oculus Quest selama 10 menit dalam kondisi pencahayaan dan suara yang terkontrol.

Analisis Data

Data dianalisis menggunakan SPSS Statistics. Uji Paired Samples T-Test digunakan untuk membandingkan skor pre-test dan post-test dalam masing-masing kelompok, sementara uji Independent Samples T-Test digunakan untuk menguji perbedaan antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Signifikansi hasil ditentukan dengan p-value < 0,05. Penelitian berfokus pada pengenalan awal tentang potensi pola fraktal dalam desain ruang virtual sebagai metode pengurangan stres, serta membuka peluang bagi penelitian lanjutan dengan metode desain pola fraktal yang bervariasi dan durasi paparan yang lebih variatif.

4. Pembahasan Hasil

Teknologi VR memungkinkan simulasi lingkungan yang mendekati nyata, sehingga dapat digunakan untuk menciptakan ruang relaksasi yang mendukung terapi stres. Penelitian telah menunjukkan bahwa VR dapat menstimulasi indera dengan cara yang menyerupai pengalaman dunia nyata, sehingga berpotensi menginduksi relaksasi dan pengurangan kecemasan [20]. Arsitektur biofilik adalah bagian dari berfokus pada tata cara menciptakan lingkungan dengan penggabungan unsur alam yang dapat meningkatkan kesehatan manusia secara psikologi dan psikis. Selain mengurangi ketidaknyamanan fisik, tingkat stres penghuni dapat diminimalkan melalui instalasi fraktal yang menyerupai alam dengan mengurangi beban kognitif dan visual yang disebabkan oleh frekuensi spasial buatan di sekitar mereka, seperti gambar 1 [21].



Gambar 1 Hasil pola fraktal dengan menggunakan skybox AI by blockade Labs

Struktur Pusat	menampilkan formasi pusat yang elegan seperti vas yang melebar ke luar menjadi struktur seperti daun dengan pola fraktal, menciptakan pola simetris dan organik.
Geometri Fraktal	Desain geometri fractal terlihat dari pola berulang dan mirip diri yang memancar dari pusat.
Pencahayaan dan Efek	Terdapat efek bercahaya, dengan garis luar dan detail yang menyala yang menyoroti kontur dan pola rumit dari daun fraktal tersebut.
Palet Warna	Warna-warna hangat, seperti nuansa emas dan putih, mendominasi, menciptakan dampak visual yang menenangkan dan hampir ethereal.
Latar Belakang	Latar belakang terlihat lembut dan halus, meningkatkan fokus pada pola geometris pusat sambil memberikan kesan kedalaman dan dimensi.

Secara keseluruhan, visual ini menggambarkan tema pertumbuhan, ketidakterbatasan, dan ketenangan, sesuai dengan konsep terapi, geometri kompleks dan dapat dikategorikan sebagai fraktal organik berbasis geometri alami. Dampak positif dari melihat fraktal ini dapat dipahami dalam konteks biophilia [22], yang mengakui kebutuhan alami manusia untuk terhubung dengan alam. Penerapan Lingkungan *Healing environment* dapat diterapkan pada ranah dunia virtual yang lebih luas. Elemen-elemen dasar dalam merancang *Healing environment* mencakup pemandangan alam yang realistis serta lingkungan eksternal yang memberikan imersi atau keterlibatan langsung pengguna, yang pada gilirannya akan mempengaruhi pengalaman sensorik dan interaktivitas mereka di dunia virtual. Elemen ini menjadi dasar dalam memenuhi persepsi pengguna terhadap lingkungan. Hal ini juga didukung oleh kehadiran berbagai elemen audio, visual, dan spasial yang diterapkan melalui desain arsitektur

berdasarkan teori dan prinsip Lingkungan Penyembuhan di ranah virtual.

Tabel 2 Hasil Kelompok Eksperimen dan Kontrol

No	Kelompok	Skor Pre-Test (DASS 42)	Skor Post-Test (DASS 42)	Perubahan Skor
1	Eksperimen	30	20	-10
2	Eksperimen	28	18	-10
3	Eksperimen	29	21	-8
4	Eksperimen	27	17	-10
5	Eksperimen	26	16	-10
6	Kontrol	28	27	-1
7	Kontrol	26	26	0
8	Kontrol	27	27	0
9	Kontrol	29	28	-1
10	Kontrol	25	25	0

Kelompok	Skor Pre-Test (Mean)	Skor Post-Test (Mean)	Perubahan Skor (Mean)	Paired t-Test (p)	Independent t-Test (p)
Eksperimen	27.50	22.50	-5.00	p=0.010	p=0.000
Kontrol	26.60	26.50	-0.10	p>0.05	

Tabel 3 Hasil Independent Samples Test (SPSS)

Group Statistics					
	Group	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Score	1	5	18.40	2.074	.927
	2	5	26.60	1.140	.510

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances				t-Test for Equality of Means				
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Score	Equal variances assumed	2.899	.127	-7.748	8	.000	-8.200	1.058	-10.640	-5.760
	Equal variances not assumed			-7.748	8.216	.000	-8.200	1.058	-10.768	-5.632

Hasil analisis Independent Samples T-Test (tabel 1 & 2) menunjukkan perbedaan signifikan antara rata-rata skor kelompok 1 (Mean = 18,40; Std. Dev = 2,074) dan kelompok 2 (Mean = 26,60; Std. Dev = 1,140). Uji Levene untuk kesetaraan varians menghasilkan nilai F sebesar 2,899 dengan nilai signifikan 0,127, sehingga asumsi kesetaraan varians terpenuhi ($p > 0,05$). Hasil t-test menunjukkan nilai t sebesar -7,748 dengan derajat kebebasan (df) = 8 dan nilai signifikan $p < 0,001$, yang mengindikasikan perbedaan rata-rata yang signifikan secara statistik antara kedua kelompok pada tingkat kepercayaan 95%. Selisih rata-rata adalah -8,200 dengan interval kepercayaan 95% untuk perbedaan rata-rata berada di antara -10,640 hingga -5,760. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan signifikan dalam skor post-test antara kelompok 1 dan kelompok 2.

Tabel 4 Hasil Paired Samples Test (SPSS)

		Paired Samples Statistics			
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Pre	27.50	10	1.581	.500
	Post	22.50	10	4.601	1.455

		Paired Samples Correlations		
		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Pre & Post	10	-.023	.950

		Paired Samples Test						
		Paired Differences				t	d	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference			
					Lower	Upper		
Pair 1	Pre - Post	5.000	4.899	1.549	1.495	8.505	3.227	9 .010

Hasil analisis Paired Samples T-Test (tabel 4) menunjukkan bahwa terdapat penurunan rata-rata skor dari pre-test (27,50) ke post-test (22,50), dengan selisih sebesar 5 poin. Standar deviasi post-test (4,601) lebih besar dibandingkan pre-test (1,581), menunjukkan adanya peningkatan variabilitas skor setelah intervensi. Korelasi antara skor pre-test dan post-test sebesar -0,023 dengan nilai signifikan 0,950, menunjukkan tidak adanya hubungan linier yang signifikan antara kedua skor tersebut. Uji statistik menunjukkan nilai t sebesar 3,227 dengan derajat kebebasan (df) = 9 dan nilai p (2-tailed) = 0,010, yang berarti perbedaan rata-rata antara pre-test dan post-test signifikan secara statistik pada tingkat kepercayaan 95% ($p < 0,05$). Interval kepercayaan (95%) untuk perbedaan rata-rata berada dalam rentang 1,495 hingga 8,505. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa intervensi yang dilakukan efektif dalam menurunkan tingkat stres secara signifikan pada partisipan. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengeksplorasi faktor-faktor lain yang dapat memengaruhi variabilitas hasil pada post-test.

Hasil ini menunjukkan bahwa pola fraktal dalam ruang digital memiliki efek positif dalam menurunkan tingkat stres partisipan. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa paparan terhadap pola fraktal dapat meningkatkan kenyamanan visual dan memberikan efek menenangkan secara psikologis dan dapat diterapkan dalam desain arsitektur dan ruang digital untuk mengurangi stres dan meningkatkan kesejahteraan mental.

5. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa pola fraktal dalam ruang virtual (VR) memiliki efek signifikan dalam

mengurangi stres fisiologis, sebagaimana dibuktikan melalui analisis statistik SPSS. Hasil uji Paired Samples T-Test menunjukkan penurunan skor stres kelompok eksperimen dari 27,50 menjadi 22,50 ($t = 3,227, p = 0,010$), sementara kelompok kontrol tidak menunjukkan perubahan signifikan. Uji Independent Samples T-Test juga mengonfirmasi perbedaan signifikan antara kedua kelompok dengan $t = -7,748$ dan $p < 0,001$, yang menegaskan bahwa paparan pola fraktal berkontribusi dalam menurunkan stres. Pola fraktal yang digunakan fraktal organik berbasis geometri alami yang digenerasikan menggunakan Skybox AI dari Blockade Labs dan dipilih berdasarkan karakteristik self-similarity dan repetisi alami yang terbukti secara psikologis menenangkan. Temuan ini mendukung teori biophilia, yang menyatakan bahwa elemen visual yang menyerupai pola alam dapat meningkatkan kesejahteraan mental dan mengurangi beban kognitif. Dengan demikian, desain berbasis fraktal dalam VR dapat diterapkan dalam arsitektur dan desain interior sebagai strategi inovatif dalam menciptakan lingkungan yang lebih kondusif untuk relaksasi dan terapi stres. Sebagai rekomendasi, penelitian lanjutan sebaiknya memperluas ukuran sampel dan mengeksplorasi variasi kompleksitas pola fraktal untuk memahami sejauh mana tingkat repetisi dan densitas pola mempengaruhi efek relaksasi. Selain itu, penelitian lebih lanjut perlu meneliti durasi optimal paparan serta mekanisme neurofisiologis yang mendasari respons manusia terhadap pola fraktal, guna memberikan dasar ilmiah yang lebih kuat bagi penerapan desain berbasis fraktal dalam berbagai konteks, termasuk ruang terapi digital, lingkungan kerja, dan fasilitas kesehatan.

Daftar Pustaka

[1] S. Folkman, "Stress: Appraisal and Coping," in *Encyclopedia of Behavioral Medicine*, M. D. Gellman and J. R. Turner, Eds., New York, NY: Springer New York, 2013, pp. 1913–1915. doi: 10.1007/978-1-4419-1005-9_215.

[2] M. Yönder Ertem and M. Karakaş, "Relationship between emotional eating and coping with stress of nursing students," *Perspect Psychiatr Care*, vol. 57, no. 2, pp. 433–442, Apr. 2021, doi: 10.1111/ppc.12599.

- [3] S. I. Haider, "Effect of Stress on Academic Performance of Undergraduate Medical Students," *J Community Med Health Educ*, vol. 07, no. 06, 2017, doi: 10.4172/2161-0711.1000566.
- [4] K. Hong, "Classification of emotional stress and physical stress using a multispectral based deep feature extraction model," *Sci Rep*, vol. 13, no. 1, p. 2693, Feb. 2023, doi: 10.1038/s41598-023-29903-3.
- [5] F. S. Johari, "Occupational Stress and Psychological Well-Being: The Role of Psychological Capital," *International Journal of Business and Management*, vol. 3, no. 1, pp. 13–17, Feb. 2019, doi: 10.26666/rmp.ijbm.2019.1.3.
- [6] T. Hartig, M. Mang, and G. W. Evans, "Restorative Effects of Natural Environment Experiences," *Environ Behav*, vol. 23, no. 1, pp. 3–26, Jan. 1991, doi: 10.1177/0013916591231001.
- [7] Y. Zhao, Q. Zhan, and T. Xu, "Biophilic Design as an Important Bridge for Sustainable Interaction between Humans and the Environment: Based on Practice in Chinese Healthcare Space," *Comput Math Methods Med*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/8184534.
- [8] T. Peters and K. D’Penna, "Biophilic design for restorative university learning environments: A critical review of literature and design recommendations," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 17, Sep. 2020, doi: 10.3390/su12177064.
- [9] T. Peters and K. D’Penna, "Biophilic design for restorative university learning environments: A critical review of literature and design recommendations," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 17, Sep. 2020, doi: 10.3390/su12177064.
- [10] H. Kim *et al.*, "Effect of Virtual Reality on Stress Reduction and Change of Physiological Parameters Including Heart Rate Variability in People With High Stress: An Open Randomized Crossover Trial," *Front Psychiatry*, vol. 12, Aug. 2021, doi: 10.3389/fpsyt.2021.614539.
- [11] M. Jungmann, S. Vencatachellum, D. Van Ryckeghem, and C. Vogegele, "Effects of Cold Stimulation on Cardiac-Vagal Activation in Healthy Participants: Randomized Controlled Trial," *JMIR Form Res*, vol. 2, no. 2, Jul. 2018, doi: 10.2196/10257.
- [12] S. Mystakidis, "Metaverse," *Encyclopedia*, vol. 2, no. 1, pp. 486–497, Feb. 2022, doi: 10.3390/encyclopedia2010031.
- [13] S. H. M. Chan, L. Qiu, G. Esposito, K. P. Mai, K.-P. Tam, and J. Cui, "Nature in virtual reality improves mood and reduces stress: evidence from young adults and senior citizens," *Virtual Real*, vol. 27, no. 4, pp. 3285–3300, Dec. 2023, doi: 10.1007/s10055-021-00604-4.
- [14] M. J. Kirkby, "The fractal geometry of nature. Benoit B. Mandelbrot. W. H. Freeman and co., San Francisco, 1982. No. of pages: 460. Price: £22.75 (hardback)," *Earth Surf Process Landf*, vol. 8, no. 4, pp. 406–406, Jul. 1983, doi: 10.1002/esp.3290080415.
- [15] W. Wang, G. Zhang, L. Yang, and W. Wang, "Research on garment pattern design based on fractal graphics," *EURASIP J Image Video Process*, vol. 2019, no. 1, Dec. 2019, doi: 10.1186/s13640-019-0431-x.
- [16] I. Mayatskaya, I. Kashina, N. Gerlein, and B. Yazyev, "Fractal geometry and design of modern structures," in *E3S Web of*

- Conferences*, EDP Sciences, Jul. 2021. doi: 10.1051/e3sconf/202128102018.
- [17] Y. Joye, “Fractal architecture could be good for you,” in *Nexus Network Journal*, Oct. 2007, pp. 311–320. doi: 10.1007/s00004-007-0045-y.
- [18] R. P. Taylor, B. Spehar, P. van Donkelaar, and C. M. Hagerhall, “Perceptual and physiological responses to Jackson Pollock’s fractals,” 2011, *Frontiers Media S. A.* doi: 10.3389/fnhum.2011.00060.
- [19] J. R. Crawford and J. D. Henry, “The Depression Anxiety Stress Scales (DASS): Normative data and latent structure in a large non-clinical sample,” *British Journal of Clinical Psychology*, vol. 42, no. 2, pp. 111–131, Jun. 2003, doi: 10.1348/014466503321903544.
- [20] A. Gorini, F. Pallavicini, D. Algeri, C. Repetto, A. Gaggioli, and G. Riva, “Virtual reality in the treatment of generalized anxiety disorders.,” *Stud Health Technol Inform*, vol. 154, pp. 39–43, 2010.
- [21] C. M. Hagerhall, T. Laike, R. P. Taylor, M. Küller, R. Küller, and T. P. Martin, “Investigations of Human EEG Response to Viewing Fractal Patterns,” *Perception*, vol. 37, no. 10, pp. 1488–1494, Oct. 2008, doi: 10.1068/p5918.
- [22] Edward O. Wilson, “Biophilia,” 1984.