

**PENERAPAN ALGORITMA WAVEFUNCTION COLLAPSE
UNTUK PEMBUATAN DESAIN MAKET PERUMAHAN
PROSEDURAL BERBASIS AUGMENTED REALITY**

SKRIPSI

DISUSUN OLEH

ALVIN NESA AULIA

2209020090



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI
INFORMASI UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA
UTARA MEDAN**

2026

**PENERAPAN ALGORITMA WAVEFUNCTION COLLAPSE
UNTUK PEMBUATAN DESAIN MAKET PERUMAHAN
PROSEDURAL BERBASIS AUGMENTED REALITY**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer
(S.Kom) dalam Program Studi Sistem Informasi pada Fakultas Ilmu Komputer
dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara**

**ALVIN NESA AULIA
NPM. 2209020090**

**PROGRAM STUDI SISTEM INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2026**

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : PENERAPAN ALGORITMA WAVEFUNCTION
COLLAPSE UNTUK PEMBUATAN DESAIN MAKET
PERUMAHAN PROSEDURAL BERBASIS
AUGMENTED REALITY
Nama Mahasiswa : ALVIN NESA AULIA
NPM : 2209020090
Program Studi : TEKNOLOGI INFORMASI

Menyetujui
Komisi Pembimbing



(Assoc. Prof. Dr. Marah Doly Nasution, S.Pd., M.Si.)
NIDN. 0110107602

Ketua Program Studi



(Fatma Sari Hutagalung, S.kom, M.kom)
NIDN. 0117019301

Dekan



(Dr. H. Khayrulzaki, S.Kom., M.Kom.)
NIDN. 0127099201

PERNYATAAN ORISINALITAS
PENERAPAN ALGORITMA WAVEFUNCTION COLLAPSE UNTUK
PEMBUATAN DESAIN MAKET PERUMAHAN PROSEDURAL
BERBASIS AUGMENTED REALITY

SKRIPSI

Saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah hasil karya sendiri, kecuali beberapa kutipan dan ringkasan yang masing-masing disebutkan sumbernya.

Medan, 14 Oktober 2026

Yang membuat pernyataan



Alvin Nesa Aulia

NPM. 2209020090

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN
AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama	: Alvin Nesa Aulia
NPM	: 2209020090
Program Studi	: Teknologi Informasi
Karya Ilmiah	: Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Hak Bedas Royalti Non-Eksekutif (*Non-Exclusive Royalty free Right*) atas penelitian skripsi saya yang berjudul:

**PENERAPAN ALGORITMA WAVEFUNCTION COLLAPSE UNTUK
PEMBUATAN DESAIN MAKET PERUMAHAN PROSEDURAL
BERBASIS AUGMENTED REALITY**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksekutif ini, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara berhak menyimpan, mengalih media, memformat, mengelola dalam bentuk database, merawat dan mempublikasikan Skripsi saya ini tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemegang dan atau sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Medan, 14 Oktober 2026

Yang membuat pernyataan



Alvin Nesa Aulia

NPM. 2209020090

RIWAYAT HIDUP

DATA PRIBADI

Nama Lengkap : Alvin Nesa Aulia
Tempat dan Tanggal Lahir : Medan, 17 Desember 2003
Alamat Rumah : Jl. kamboja 4 Lk XI no.75 blok 03
Telepon/Faks/HP : 082238646584
E-mail : alvinnesa@gmail.com
Instansi Tempat Kerja : -
Alamat Kantor : -

DATA PENDIDIKAN

SD	: SD Swasta Ikal medan	TAMAT: 2015
SMP	: SMP Kartika Medan	TAMAT: 2018
SMA	: SMA Negeri 12 Medan	TAMAT: 2021

KATA PENGANTAR



Penulis tentunya berterima kasih kepada berbagai pihak dalam dukungan serta doa dalam penyelesaian skripsi. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. **Bapak Prof. Dr. Agussani, M.AP.**, Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU)
2. **Bapak Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom.** Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU.
3. **Ibu Dr. Firahmi Rizky, S.Kom., M.Kom** sebagai Wakil Dekan I Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU.
4. **Bapak Mhd. Basri, S..SI, M.Kom.** sebagai Wakil Dekan III Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU.
5. **Ibu Fatma Sari Hutagalung, S.Kom, M.kom** sebagai Ketua Program Studi Teknologi Informasi.
6. **Bapak Okvi Nugroho, S.Kom, M.kom** sebagai Sekretaris Program Studi Teknologi Informasi.
7. **Bapak Dr. Marah Doly Nasution, S.Pd M.Si** sebagai Dosen Pembimbing, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang tulus atas segala bimbingan, arahan, serta masukan yang sangat berarti selama proses penyusunan skripsi ini. Desikasi, kesabaran, dan waktu yang telah diberikan menjadi bekal berharga bagi penulis dalam menyelesaikan penelitian ini dengan sebaik-baiknya.
8. Ucapan terima kasih yang tak terhingga juga penulis sampaikan kepada kedua orang tua tercinta, Ayah dan Ibu, atas doa, kasih sayang, dukungan moral maupun materiil, serta semangat yang tiada henti. Segala pengorbanan dan cinta yang telah diberikan menjadi sumber kekuatan dan motivasi utama dalam menyelesaikan proses pendidikan dan penulisan skripsi ini.
9. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada teman-teman penulis yang selalu memberikan semangat, dukungan, serta motivasi dengan cara

mengajak “ayo sempro” dan “ayo sidang” yang secara tidak langsung membuat semangat penulis hingga menyelesaikan skripsi ini.

10. Penulis juga menyampaikan rasa terima kasih kepada SD Negeri 067093 yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk melaksanakan riset tugas akhir ini.
11. Keseluruhan pihak yang terlibat secara langsung ataupun secara tidak langsung dan tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan pendukungan dan membantu dalam upaya penyelesaian skripsi ini.
12. Kepada seseorang yang pernah bersama penulis dan tidak bisa penulis sebutkan namanya. Terima kasih atas segala rasa, bantuan, dan rasa kepedulian yang tinggi yang telah diberikan saat proses penyusunan skripsi ini.
13. Untuk Mama, terima kasih uda mendukung penuh dan tiada henti memberi semangat hingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
14. Terakhir penulis berterima kasih kepada diri penulis sendiri, karena telah menunjukkan keteguhan luar biasa dalam melalui setiap proses yang tidak mudah.

PENERAPAN ALGORITMA WAVEFUNCTION COLLAPSE UNTUK PEMBUATAN DESAIN MAKET PERUMAHAN PROSEDURAL BERBASIS AUGMENTED REALITY

ABSTRAK

Perancangan tata letak perumahan membutuhkan penyusunan berbagai elemen seperti rumah, jalan, taman, dan fasilitas umum agar menghasilkan susunan yang sesuai dengan aturan yang telah ditentukan. Proses perancangan tata letak secara manual membutuhkan waktu dan memungkinkan terjadinya keterbatasan dalam menghasilkan variasi desain. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengembangkan aplikasi Terra Plan yang dapat menghasilkan tata letak perumahan secara prosedural menggunakan algoritma Wave Function Collapse (WFC) serta memvisualisasikan hasilnya menggunakan teknologi Augmented Reality (AR). Metode pengembangan yang digunakan adalah Multimedia Development Life Cycle (MDLC) yang terdiri dari tahap concept, design, material collecting, assembly, testing, dan distribution. Algoritma WFC diterapkan dengan menggunakan grid dan aturan ketetanggaan (adjacency rules) untuk menentukan kemungkinan penempatan objek pada setiap sel hingga terbentuk tata letak perumahan. Hasil tata letak kemudian diterjemahkan menjadi objek tiga dimensi dan divisualisasikan melalui teknologi AR pada perangkat Android. Pengujian sistem dilakukan menggunakan Black Box Testing, pengujian algoritma WFC, pengujian kinerja AR, serta pengujian usability. Hasil pengujian usability terhadap 15 responden memperoleh skor 311 dari skor maksimum 375, dengan nilai rata-rata 4,15 dan persentase 82,93%, yang menunjukkan bahwa aplikasi memiliki tingkat penerimaan dan usability yang baik. Berdasarkan hasil penelitian, aplikasi Terra Plan dapat menerapkan algoritma WFC untuk menghasilkan tata letak perumahan secara prosedural serta mengintegrasikan hasil tersebut dengan teknologi AR sehingga dapat divisualisasikan dalam bentuk tiga dimensi secara interaktif.

Kata Kunci: Augmented Reality, Wave Function Collapse, Tata Letak Perumahan, Unity, Terra Plan.

APPLICATION OF THE WAVE FUNCTION COLLAPSE ALGORITHM FOR PROCEDURAL HOUSING MODEL DESIGN BASED ON AUGMENTED REALITY

ABSTRACT

Housing layout planning requires the arrangement of various elements, such as houses, roads, parks, and public facilities, to produce a layout that complies with predetermined rules. Manually designing housing layouts can be time-consuming and may limit the ability to generate various design alternatives. Therefore, this study aims to develop Terra Plan, an application capable of procedurally generating housing layouts using the Wave Function Collapse (WFC) algorithm and visualizing the generated layouts using Augmented Reality (AR) technology. The development method used in this study is the Multimedia Development Life Cycle (MDLC), which consists of the concept, design, material collecting, assembly, testing, and distribution stages. The WFC algorithm is implemented using a grid and adjacency rules to determine the possible placement of objects in each cell until a housing layout is generated. The resulting layout is then converted into three-dimensional objects and visualized through AR technology on Android devices. System testing was conducted using Black Box Testing, WFC algorithm testing, AR performance testing, and usability testing. The usability test involving 15 respondents obtained a score of 311 out of a maximum score of 375, with an average score of 4.15 and a percentage of 82.93%, indicating that the application has a good level of user acceptance and usability. Based on the results, the Terra Plan application is capable of implementing the WFC algorithm to procedurally generate housing layouts and integrating the generated layouts with AR technology so that they can be visualized interactively in three-dimensional form.

Kata Kunci: Augmented Reality, Wave Function Collapse, Housing Layout, Unity, Terra Plan.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II LANDASAN TEORI	8
2.1 Augmented Reality	8
2.1.1 Komponen Augmented Reality.....	10
2.1.2 Penerapan augmented reality dalam simulasi dan arsitektur	11
2.1.3 Keunggulan dan keterbatasan penggunaan AR dalam media visualisasi perumahan.....	12
2.2 Unity	13
2.2.1 Fitur-Fitur Unity.....	14
2.2.2 Arsitektur Unity	15
2.2.3 Unity sebagai Platform Pengembangan AR.....	16
2.3 Wave Function Collapse.....	17
2.3.1 Prinsip Kerja Wave Function Collapse	18
2.3.2 Penggunaan Constraint dan Adjacency Rules.....	20
2.3.3 Implementasi Algoritma Wave Function Collapse	20
2.3.4 Langkah Perhitungan Algoritma Wave Function Collapse.....	21
2.4 Model Pengembangan Desain Maket Perumahan berbasis AR	24
2.4.1 Model MDLC dalam pengembangan desain maket perumahan	25
2.4.2 Visualisasi Maket Perumahan Berbasis Digital	26
2.4.3 Integrasi Wave Function Collapse dengan Augmented Reality.....	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Pendekatan Penelitian.....	29
3.1.1 Model Pengembangan Sistem	30

3.1.2 Pendekatan Teknikal.....	33
3.2 Analisis Kebutuhan Sistem.....	34
3.2.1 Kebutuhan Perangkat Keras (Hardware)	35
3.2.2 Kebutuhan Perangkat Android.....	35
3.2.3 Kebutuhan Fungsional Sistem	36
3.2.4 Kebutuhan Non-Fungsional Sistem	36
3.2.5 Diagram Use Case.....	37
3.3 Desain Sistem	37
3.3.1 Perancangan Use Interface.....	38
3.3.2 Flowchart Sistem.....	42
3.3.3 Activity Diagram.....	45
3.4 Metode Pengujian Sistem	47
3.4.1 Black Box Testing.....	47
3.4.2 Pengujian Algoritma Wave Function Collapse.....	49
3.4.3 Pengujian Kinerja Augmented Reality.....	49
3.4.4 Pengujian Usability.....	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	52
4.1 Hasil.....	52
4.2 Penerapan Wave Function Collapse	56
4.2.1 Contoh Perhitungan Algoritma Wave Function Collapse.....	57
4.3 Spesifikasi Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	62
4.4 Perangkat Pengujian (Testing Device)	63
4.5 Hasil Pengujian Usability	64
4.6 Analisis Hasil.....	65
4.7 Hasil Pengujian Kinerja Augmented Reality	66
BAB V PENUTUP	69
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	72

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Kebutuhan Perangkat Keras	35
Tabel 3.2 Kebutuhan Perangkat Android	35
Tabel 3.3 Black Box Testing	48
Tabel 3.4 Pengujian Usability	50
Tabel 4. 1 Tabel Spesifikasi Hardware.....	63
Tabel 4.2 Tabel Spesifikasi Testing Device Pengguna	63
Tabel 4.3 Tabel Rekapitulasi Hasil Kuesioner	64
Tabel 4.4 Tabel Pengujian Kinerja Augmented Reality.....	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Model MDLC	31
Gambar 3.2 Use Case Diagram	37
Gambar 3.3 Tampilan Utama	38
Gambar 3.4 Tampilan Ar View	39
Gambar 3.5 Tampilan Input Proyek	40
Gambar 3.6 Tampilan Proyek Saya	41
Gambar 3.7 Tampilan Tentang Saya	42
Gambar 3.8 Flowchart Sistem	43
Gambar 3.9 Activity Diagram	43
Gambar 4.1 Tampilan Menu Utama	52
Gambar 4.2 Tampilan Tentang Saya	53
Gambar 4.3 Tampilan Marker	54
Gambar 4.4 Tampilan Input Marker	55
Gambar 4.5 Tampilan Proyek Saya	56

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang masalah

Berbagai bidang, seperti arsitektur, konstruksi, dan perencanaan perumahan, telah mengalami perubahan besar sebagai hasil dari kemajuan teknologi digital. Visualisasi desain merupakan bagian penting dari proses perancangan kawasan perumahan karena dapat membantu perancang dan calon pengguna memahami bentuk, tata letak, dan konsep area yang akan dibangun. Keterbatasan tersebut menyebabkan proses visualisasi alternatif desain perumahan menjadi kurang fleksibel. Ketika terjadi perubahan tata letak atau diperlukan beberapa alternatif rancangan, maket fisik perlu diubah atau dibuat kembali. Augmented Reality (AR) dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut karena mampu menampilkan objek virtual tiga dimensi ke dalam lingkungan nyata secara real-time. Dalam konteks maket perumahan, AR memungkinkan hasil rancangan ditampilkan dalam bentuk maket digital yang dapat diamati dari berbagai sudut pandang dan diinteraksikan oleh pengguna. Dengan demikian, AR tidak hanya berfungsi sebagai media untuk menampilkan objek tiga dimensi, tetapi juga memberikan fleksibilitas dalam proses visualisasi dan evaluasi desain perumahan. Oleh karena itu, diperlukan media visualisasi yang mampu menampilkan maket perumahan secara digital, interaktif, dan fleksibel tanpa harus membuat ulang maket fisik. Namun, menggunakan gambar dua dimensi atau maket fisik untuk visualisasi memiliki beberapa keterbatasan. Ini kurang interaktif, membutuhkan biaya yang cukup besar, dan sulit untuk menampilkan berbagai desain secara

cepat. Augmented Reality adalah solusi untuk kemajuan teknologi yang memungkinkan penggabungan objek virtual dua dimensi dan tiga dimensi ke dalam dunia nyata secara real-time. Ini memungkinkan pengguna melihat representasi digital objek lebih interaktif dan realistis. Dalam bidang arsitektur dan konstruksi, augmented reality dapat digunakan sebagai media visualisasi desain yang membuat bentuk, proporsi, dan skala bangunan lebih jelas dibandingkan dengan media konvensional. Selain itu, AR dapat membantu perancang dan pengguna berkomunikasi lebih baik selama proses pengambilan keputusan desain.

Proses pembuatan tata letak rumah, jalan, taman, dan fasilitas umum biasanya dilakukan secara manual saat merancang kawasan perumahan. Metode ini membutuhkan waktu yang cukup lama dan seringkali menghasilkan hanya beberapa variasi desain. Untuk menyelesaikan masalah ini, diperlukan teknik yang dapat menghasilkan tata letak area secara otomatis sambil mempertahankan aturan hubungan antarobjek yang telah ditetapkan. Procedural Content Generation (PCG) adalah metode pembangkitan konten otomatis yang mengikuti aturan tertentu. Ini memungkinkan pembuatan berbagai desain tanpa perlu membuatnya satu per satu secara manual. Wave Function Collapse adalah algoritma yang banyak digunakan untuk menghasilkan konten secara prosedural. Algoritma ini bekerja dengan aturan keterhubungan constraint yang telah ditetapkan sebelumnya untuk memilih objek yang mungkin. Selanjutnya, algoritma melakukan proses pemilihan dan penyebaran informasi propagation berdasarkan aturan ketetanggaan hingga seluruh area memperoleh susunan objek yang valid. WFC dapat membuat tata letak yang berbeda namun tetap mempertahankan hubungan antarobjek yang

konsisten, seperti hubungan antara jalan dan rumah serta fasilitas pendukung lainnya. Selain itu, algoritma ini dapat membantu mengurangi waktu dan biaya selama proses prosedural pembuatan konten digital.

Sebelumnya, penelitian telah dilakukan tentang penggunaan Augmented Reality pada visualisasi perumahan. Mengembangkan aplikasi AR untuk menampilkan model rumah tiga dimensi sebagai media pemasaran perumahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa augmented reality dapat memberikan gambaran yang lebih jelas tentang bentuk rumah kepada pengguna saat mereka melihat objek tiga dimensi secara real-time. Penelitian terdahulu mengenai pemanfaatan Augmented Reality pada visualisasi perumahan telah dilakukan oleh melalui pengembangan aplikasi AR untuk menampilkan model rumah tiga dimensi sebagai media pemasaran perumahan. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa AR dapat memberikan gambaran bentuk rumah yang lebih jelas melalui visualisasi objek tiga dimensi secara real-time. Namun, penelitian tersebut berfokus pada visualisasi model rumah dan belum membahas proses pembangkitan tata letak kawasan perumahan secara prosedural.

Di sisi lain, dalam kegiatan pemasaran perumahan, calon pembeli tidak hanya memperoleh informasi secara langsung di lokasi perumahan, tetapi pemasaran juga dapat dilakukan di tempat yang ramai dikunjungi masyarakat, seperti pusat perbelanjaan, tempat wisata, dan pameran. Pada kondisi tersebut, media pemasaran seperti flyer atau brosur yang hanya menampilkan gambar dua dimensi belum mampu memberikan gambaran secara menyeluruh mengenai tata letak kawasan, bentuk dan desain rumah, serta luas rumah. Oleh karena itu, diperlukan media visualisasi yang mampu memberikan gambaran perumahan

secara lebih jelas dan menyerupai kondisi sebenarnya. Salah satu media yang dapat digunakan adalah maket perumahan karena mampu menampilkan bentuk rumah dan tata letak kawasan dalam bentuk tiga dimensi. Namun, pembuatan maket fisik membutuhkan biaya dan waktu yang cukup besar. Terlebih lagi, apabila dalam suatu kawasan terdapat beberapa tipe atau desain rumah yang berbeda, maka diperlukan maket yang berbeda untuk setiap desain tersebut. Kondisi ini menyebabkan proses pemasaran menjadi kurang fleksibel ketika pengembang ingin menampilkan beberapa alternatif desain kepada calon pembeli. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan media yang dapat menampilkan maket perumahan secara digital sehingga beberapa alternatif desain dapat ditampilkan tanpa harus membuat maket fisik secara berulang. Augmented Reality dapat digunakan untuk menampilkan model tiga dimensi perumahan secara langsung melalui perangkat Android. Dengan demikian, calon pembeli dapat melihat bentuk rumah, tata letak kawasan, serta variasi desain perumahan secara lebih jelas melalui satu media pemasaran. Selain kebutuhan terhadap media visualisasi, adanya beberapa tipe dan desain rumah juga membutuhkan alternatif tata letak kawasan yang dapat ditampilkan kepada calon pembeli. Pembuatan setiap alternatif secara manual membutuhkan waktu yang lebih lama dan kurang fleksibel. Oleh karena itu, penelitian ini menerapkan algoritma Wave Function Collapse untuk menghasilkan variasi tata letak perumahan secara otomatis berdasarkan aturan hubungan antarobjek yang telah ditentukan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana menerapkan algoritma Wave Function Collapse (WFC) untuk menghasilkan variasi tata letak kawasan perumahan secara prosedural?
2. Bagaimana memvisualisasikan hasil pembangkitan tata letak menggunakan algoritma Wave Function Collapse dalam bentuk maket tiga dimensi berbasis Augmented Reality?
3. Bagaimana tingkat keberhasilan algoritma Wave Function Collapse dalam menerapkan aturan keterhubungan (constraint) antarobjek pada tata letak kawasan perumahan?
4. Bagaimana tingkat usability atau penerimaan pengguna terhadap aplikasi Terra Plan berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terfokus dan terarah, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Pengembangan sistem dan pembangkitan konten prosedural dibatasi pada komponen maket perumahan yang meliputi rumah, jalan, taman, fasilitas umum, dan lahan kosong.
2. Aturan keterhubungan (constraint) pada algoritma Wave Function Collapse dibatasi berdasarkan skenario tata letak kawasan perumahan yang ditentukan dalam penelitian.
3. Media visualisasi dibatasi pada teknologi Augmented Reality berbasis perangkat Android yang mendukung teknologi AR yang digunakan dalam aplikasi.

4. Penelitian berfokus pada pembangkitan tata letak dan visualisasi maket perumahan, sehingga tidak membahas perhitungan struktur bangunan, konstruksi, estimasi biaya pembangunan, maupun perencanaan arsitektur secara detail.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan sistem pembangkitan konten prosedural menggunakan algoritma Wave Function Collapse untuk menghasilkan variasi tata letak kawasan perumahan secara otomatis.
2. Mengembangkan aplikasi berbasis Augmented Reality untuk memvisualisasikan hasil pembangkitan tata letak perumahan dalam bentuk maket tiga dimensi.
3. Menghasilkan media visualisasi digital yang dapat membantu pengguna melihat dan berinteraksi dengan desain tata letak perumahan.
4. Menguji keberhasilan algoritma Wave Function Collapse dalam menerapkan aturan ketetanggaan serta menguji fungsionalitas dan usability aplikasi.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang berkaitan dengan pengembangan dan penggunaan aplikasi. Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Manfaat Teoritis : Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu teknologi informasi, khususnya pada bidang *Procedural Content Generation*, *Wave Function Collapse*, dan *Augmented Reality*.

Penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan penerapan algoritma Wave Function Collapse untuk pembangkitan tata letak atau lingkungan secara prosedural serta pemanfaatan Augmented Reality sebagai media visualisasi objek tiga dimensi. Selain itu, penelitian ini dapat memberikan gambaran mengenai penerapan aturan keterhubungan (constraint) dalam pembangkitan tata letak kawasan perumahan secara otomatis.

b. Manfaat Praktis : Secara praktis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif bagi pengembang properti maupun pihak yang membutuhkan media visualisasi kawasan perumahan dalam menghasilkan dan menampilkan variasi tata letak secara lebih interaktif. aplikasi yang dikembangkan dapat digunakan untuk menghasilkan variasi tata letak berdasarkan aturan yang telah ditentukan dan menampilkan hasilnya dalam bentuk maket digital berbasis Augmented Reality. Dengan demikian, aplikasi ini dapat menjadi alternatif atau pelengkap maket fisik dalam proses visualisasi dan presentasi rancangan kawasan perumahan.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Augmented Reality

Augmented Reality adalah teknologi yang mengintegrasikan objek virtual ke dalam lingkungan nyata secara langsung (real-time), memungkinkan pengguna melihat dan berinteraksi dengan objek digital seolah-olah mereka berada di dunia nyata. Ini dicapai dengan memanfaatkan perangkat komputasi dan kamera untuk mendeteksi lingkungan sekitar, yang kemudian ditampilkan pada layar perangkat dalam bentuk dua dimensi atau tiga dimensi. Augmented Reality banyak digunakan sebagai media simulasi dan visualisasi dalam bidang pendidikan, hiburan, arsitektur, dan perancangan lingkungan untuk meningkatkan visualisasi dan memberikan pengalaman interaktif yang lebih mendalam kepada pengguna. Ini karena teknologi AR memungkinkan pengguna memahami lebih mudah konsep dan objek dalam lingkungan nyata, serta lingkungan virtual yang membutuhkan representasi interaktif objek tiga dimensi (Febryan & Abdurrahman, 2026b).

Menurut (Wibowo et al., 2020), Augmented Reality adalah teknologi yang menggabungkan dunia nyata dengan dunia virtual secara interaktif dan real-time. Tujuan dari teknologi ini adalah untuk menjadikan dunia nyata sebagai dasar yang diperkaya dengan objek virtual, sehingga pengguna dapat memperoleh informasi dengan lebih mudah dan lebih jelas. Selain itu, AR memiliki kemampuan untuk meningkatkan pemahaman pengguna tentang lingkungan sekitar mereka dengan memasukkan data digital yang relevan, yang dapat digunakan dalam berbagai

konteks, seperti permainan, pendidikan, kesehatan, dan pelatihan, serta visualisasi objek tiga dimensi. Augmented Reality adalah teknologi yang sangat potensial dalam bidang perancangan dan simulasi karena dapat memvisualisasikan objek tiga dimensi secara interaktif. Dibandingkan dengan media visual dua dimensi, pengguna dapat melihat bentuk, ukuran, dan tata letak objek secara lebih realistis. Akibatnya, teknologi AR banyak digunakan sebagai media visualisasi yang memungkinkan pengguna memahami objek atau lingkungan yang dirancang. Dalam penelitian ini, Augmented Reality digunakan sebagai media untuk menampilkan hasil desain maket perumahan yang telah dibangun secara prosedural menggunakan algoritma Wave Function Collapse. Dengan menggunakan teknologi Augmented Reality, pengguna dapat melihat objek tiga dimensi secara langsung melalui kamera perangkat Android. Metode ini memungkinkan pengguna melihat desain perumahan yang sebelumnya hanya dapat dilihat melalui tampilan dua dimensi atau melihat lingkungan digital dalam bentuk objek tiga dimensi yang lebih interaktif. Selain itu, pengguna dapat melihat susunan rumah, jalan, taman, dan fasilitas umum yang dibuat oleh sistem. Ini membuatnya lebih mudah untuk memahami rancangan kawasan perumahan.

Selain berfungsi sebagai media visualisasi, Augmented Reality pada penelitian ini juga memberikan pengalaman interaksi terhadap objek tiga dimensi. Setelah marker berhasil dikenali oleh kamera, sistem menampilkan model maket perumahan pada posisi yang telah ditentukan. Pengguna kemudian dapat mengamati objek dari berbagai sudut pandang serta melakukan interaksi seperti memutar dan memperbesar atau memperkecil tampilan objek. Dengan demikian, teknologi Augmented Reality tidak hanya digunakan untuk menampilkan model

tiga dimensi, tetapi juga menjadi bagian penting dalam proses penyampaian informasi mengenai hasil desain perumahan yang dihasilkan oleh sistem.

2.1.1 Komponen Augmented Reality

Augmented Reality (AR) adalah teknologi yang menggabungkan objek virtual tiga dimensi dengan lingkungan nyata secara real-time, memungkinkan pengguna berinteraksi secara bersamaan. Teknologi AR terdiri dari banyak komponen utama yang saling terintegrasi, seperti kamera, marker, sistem pengejaran, objek virtual tiga dimensi, perangkat lunak pendukung, dan perangkat pemrosesan. Kamera dapat menangkap gambar lingkungan nyata dan menemukan marker yang menunjukkan lokasi objek virtual. Marker adalah pola visual yang digunakan oleh sistem untuk mengidentifikasi posisi dan orientasi objek pada ruang tiga dimensi. Setelah marker terdeteksi, sistem pengawasan akan melacak dan menghitung koordinat objek virtual, sehingga dapat ditampilkan pada posisi yang tepat. Selanjutnya, untuk menghasilkan visualisasi yang interaktif dan realistis, perangkat lunak pengembangan seperti Unity dan SDK AR seperti Vuforia atau ARToolkit digunakan untuk menghasilkan objek virtual tiga dimensi. Metode pemantauan berbasis titik akan memungkinkan kamera untuk membaca titik yang telah terdaftar dalam basis data sistem. Marker yang berhasil dikenali kemudian digunakan untuk menentukan titik koordinat dan orientasi objek virtual pada sumbu X, Y, dan Z. Proses ini memungkinkan objek tiga dimensi ditampilkan secara stabil di atas marker, memungkinkan pengguna melihat dan melihat objek dari berbagai sudut pandang. Identifikasi marker, pencocokan pola, transformasi posisi, dan proses rendering objek virtual secara

real-time dilakukan dengan memanfaatkan mekanisme ini oleh Vuforia dan ARToolkit (Asry, 2019).

Komponen Augmented Reality yang dibahas dalam penelitian ini terdiri dari smartphone Android sebagai perangkat display dan pemrosesan, kamera sebagai alat akuisisi gambar, marker sebagai target deteksi, Vuforia sebagai SDK untuk mengawasi dan mengidentifikasi marker, Unity Engine sebagai platform pengembangan aplikasi, dan model maket perumahan tiga dimensi yang dibuat menggunakan algoritma Wave Function Collapse. Dengan mengintegrasikan seluruh komponen tersebut, desain perumahan yang telah dibangun dapat divisualisasikan secara prosedural dalam bentuk maket virtual tiga dimensi yang berinteraksi dengan lingkungan nyata. Dengan demikian, pengguna dapat melihat hasil tata letak perumahan, posisi bangunan, jaringan jalan, dan elemen lingkungan lainnya secara lebih realistis daripada visualisasi dua dimensi konvensional (Khatib Sulaiman et al., n.d.).

2.1.2 Penerapan augmented reality dalam simulasi dan arsitektur

Teknologi yang disebut Augmented Reality (AR) dapat menggabungkan objek virtual dengan lingkungan nyata, memungkinkan pengguna melihat dan berinteraksi dengan informasi digital secara langsung dalam konteks dunia fisik. Teknologi augmented reality (AR) digunakan oleh arsitektur sebagai media visualisasi yang lebih realistis untuk menampilkan desain bangunan dalam tiga dimensi. Ini berbeda dengan metode visualisasi konvensional seperti gambar dua dimensi atau blueprint. Menurut (Khoirul Umri et al., 2023), penggunaan augmented reality (AR) dalam visualisasi arsitektur memungkinkan arsitek, perencana, dan klien melihat model bangunan virtual secara langsung di dunia

nyata. Ini memudahkan pemahaman bentuk, skala, dan tata letak bangunan yang dirancang. Selain itu, karena objek virtual dapat diubah tanpa membuat ulang model fisik secara keseluruhan, teknologi ini mempermudah evaluasi dan perubahan desain. AR berfungsi sebagai media yang memungkinkan perangkat bergerak seperti smartphone Android untuk menampilkan model tiga dimensi secara interaktif selama proses simulasi arsitektur. Dimungkinkan bagi pengguna untuk melihat objek bangunan dari berbagai sudut pandang, memperbesar atau memperkecil tampilan, dan memperjelas hubungan spasial antar elemen bangunan. visualisasi arsitektur berbasis AR dapat digunakan untuk menampilkan berbagai jenis desain rumah dalam model 3D yang dapat diamati secara langsung melalui pemindaian marker. Metode ini memberikan pengalaman visual yang lebih nyata dan membantu pengguna memahami desain lebih baik sebelum pembangunan dimulai.

2.1.3 Keunggulan dan keterbatasan penggunaan AR dalam media visualisasi perumahan

Penggunaan *augmented reality* dalam media visualisasi perumahan memiliki keunggulan dan sebagai berikut:

1. Memungkinkan pengguna melihat objek dari berbagai sudut pandang secara interaktif.
2. Mempermudah proses evaluasi dan revisi desain sebelum pembangunan dilakukan.
3. Dapat dijalankan pada perangkat Android yang relatif mudah diakses oleh pengguna.

4. Memberikan pengalaman visual yang lebih menarik dan realistis dibandingkan media konvensional.
5. Memudahkan pengguna memahami tata letak rumah, jalan, dan fasilitas dibandingkan denah 2D.

Sementara itu keterbatasan nya :

1. Membutuhkan kamera dengan kualitas yang baik untuk proses tracking yang optimal.
2. Pada metode Marker-Based Tracking, objek tidak dapat ditampilkan jika marker gagal terdeteksi.
3. Membutuhkan proses pembuatan model 3D yang cukup kompleks dan memakan waktu.
4. Akurasi visualisasi dapat berkurang apabila posisi marker atau kamera tidak stabil.
5. Semakin kompleks model perumahan yang ditampilkan, semakin besar kebutuhan RAM dan prosesor.

2.2 Unity

Unity adalah game engine berbasis cross-platform yang digunakan untuk membuat game interaktif pada berbagai perangkat, seperti smartphone, komputer, dan perangkat Augmented Reality dan Virtual Reality. Selain itu, Unity dapat digunakan untuk membuat aplikasi multimedia interaktif dan media visualisasi tiga dimensi. Unity adalah platform pengembangan yang memungkinkan pembuatan aplikasi 2D, 3D, VR, dan AR. Menurut Nugroho (2016), platform ini memiliki performa yang sangat baik dan memiliki fleksibilitas yang baik untuk implementasi lintas platform. Unity adalah salah satu perangkat lunak yang paling

banyak digunakan dalam pengembangan simulasi dan visualisasi objek 3D karena kemampuan ini. Dalam penelitian ini, Unity digunakan sebagai media pengembangan sistem untuk menampilkan hasil generasi desain maket perumahan yang dibentuk menggunakan algoritma Wave Function Collapse. Setelah divisualisasikan melalui teknologi Augmented Reality, pengguna dapat melihat desain perumahan secara interaktif dalam lingkungan (Nugroho et al., 2016).

2.2.1 Fitur-Fitur Unity

Unity adalah platform pengembangan yang mendukung pembuatan aplikasi Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR), dan aplikasi dua dimensi (2D), tiga dimensi (3D) pada berbagai platform, seperti ponsel, desktop, dan web. Salah satu keunggulan utama Unity adalah kemampuan untuk mendukung berbagai perangkat VR dan AR melalui integrasi dengan berbagai Software Development Kit (SDK), seperti Vuforia, OpenVR, Oculus, dan HoloLens. Selain itu, Unity memungkinkan pengguna untuk menggunakan fitur re Banyak digunakan dalam pengembangan aplikasi visualisasi tiga dimensi dan teknologi Augmented Reality karena kemampuan ini membuat Unity menjadi lingkungan pengembangan yang fleksibel.

Selain itu, berbagai plugin dan SDK yang disediakan Unity memungkinkan pengembangan aplikasi berbasis Augmented Reality untuk memungkinkan pengenalan marker, registrasi objek tiga dimensi, dan interaksi real-time antara objek virtual dan lingkungan nyata. Menurut Wang dan Zeng (2019), Unity3D memiliki banyak plugin yang mendukung pengembangan aplikasi yang lebih kompleks. Ini termasuk integrasi dengan Vuforia SDK dan EasyAR SDK untuk membangun sistem Augmented Reality. Fitur ini memungkinkan penampilan

model tiga dimensi secara interaktif di atas marker yang terdeteksi oleh kamera perangkat (Wang & Zeng, 2019a).

Pada penelitian ini, fitur-fitur Unity dimanfaatkan untuk mengelola objek rumah, jalan, taman, dan fasilitas umum yang dihasilkan oleh algoritma Wave Function Collapse. Objek-objek tersebut diimpor sebagai aset tiga dimensi dan ditempatkan secara otomatis sesuai aturan ketetanggaan yang telah ditentukan. Selanjutnya, Unity digunakan untuk mengintegrasikan hasil generasi tata letak perumahan dengan teknologi Augmented Reality sehingga desain maket perumahan dapat divisualisasikan secara interaktif dan real-time pada perangkat Android. Hal ini menunjukkan bahwa Unity tidak hanya berfungsi sebagai game engine, tetapi juga sebagai platform pengembangan visualisasi prosedural berbasis AR yang mendukung proses simulasi dan perancangan lingkungan virtual (Wheeler et al., 2018).

2.2.2 Arsitektur Unity

Arsitektur Unity adalah platform pengembangan dengan kemampuan untuk mengintegrasikan komponen perangkat lunak yang berbeda ke dalam lingkungan kerja yang terstruktur. Menurut (Wang & Zeng, 2019b) menyatakan bahwa Unity3D memiliki kompatibilitas yang baik karena memiliki berbagai plugin dan lingkungan pengembangan yang membantu membuat aplikasi yang lebih kompleks. Contoh integrasi dengan Vuforia SDK dan EasyAR SDK untuk menerapkan Augmented Reality adalah salah satu contohnya. Unity berfungsi sebagai pusat pengelolaan aset digital, model tiga dimensi, skrip program, dan komponen interaksi selama proses pengembangannya. Fungsinya adalah untuk menampilkan objek virtual dalam dunia nyata secara real-time. arsitektur unity

menggabungkan berbagai komponen penting untuk memungkinkan penggunaan Augmented Reality. Ini termasuk sistem pengenalan gambar, basis data marker, model tiga dimensi, kamera perangkat, dan rendering engine. Terlebih dahulu, tanda yang telah disimpan dalam basis data diproses melalui proses pelatihan dan pencocokan gambar. Setelah tanda tersebut dapat diidentifikasi dengan benar, model tiga dimensi yang telah diimpor ke Unity akan ditampilkan pada posisi yang tepat di atas tanda tersebut. Sebagai hasil dari proses ini, objek virtual dapat berinteraksi dengan lingkungan mereka secara dinamis dan real-time.

2.2.3 Unity sebagai Platform Pengembangan AR

Menurut (Rahmat & Noviyanti, 2021), Unity 3D adalah perangkat lunak yang digunakan untuk membuat aplikasi dan animasi tiga dimensi secara real-time dan dapat mengintegrasikan objek virtual tiga dimensi dengan lingkungan nyata secara real-time. Dengan dilengkapi dengan Integrated Development Environment (IDE), pengembang dapat mengintegrasikan berbagai aplikasi Augmented Reality. Selain itu, Vuforia SDK dapat digunakan bersama Unity 3D untuk menampilkan objek virtual dan mendeteksi marker pada perangkat bergerak berbasis Android dan iOS. Unity berfungsi sebagai pusat pengelolaan aset digital, model tiga dimensi, antarmuka pengguna, dan logika aplikasi untuk pengembangan aplikasi Augmented Reality yang dibangun menggunakan bahasa pemrograman C#. Dengan mengintegrasikan Vuforia SDK, Unity memiliki kemampuan untuk menampilkan grafik tiga dimensi ketika marker yang terdaftar dikenali oleh kamera perangkat. Karena kemampuan untuk menampilkan objek virtual dalam lingkungan nyata, kemampuan ini menjadikan Unity sebagai platform yang bagus untuk membangun aplikasi visualisasi interaktif.

Dalam penelitian ini, Unity digunakan sebagai platform utama untuk menerapkan algoritma Wave Function Collapse untuk membuat tata letak perumahan dengan cara yang prosedural. Setelah dibuat dalam bentuk model tiga dimensi, objek rumah, jalan, taman, dan fasilitas umum akan diimpor ke Unity dan diatur sesuai dengan aturan ketetanggaan yang telah ditentukan menggunakan algoritma Wave Function Collapse.

2.3 Wave Function Collapse

Algoritma Wave Function Collapse (WFC) adalah algoritma pembangkitan konten prosedural yang menggunakan pendekatan kepuasan batas untuk mengotomatiskan susunan objek. Berdasarkan contoh yang diberikan, algoritma ini menghasilkan pola baru dengan memastikan bahwa setiap pola lokal pada hasil keluaran sesuai dengan pola yang ada pada data input. Untuk memastikan bahwa setiap elemen yang ditempatkan tetap memenuhi aturan keterhubungan dengan elemen di sekitarnya, mekanisme observasi dan propagasi constraint digunakan dalam proses pembentukan pola. WFC dapat digunakan secara luas untuk pembuatan level permainan, pembuatan peta, desain lingkungan virtual, dan berbagai aplikasi pembuatan prosedur (Kim et al., 2020). Dalam proses pembangkitan, sejumlah sel dibentuk dengan beberapa kemungkinan elemen. Setelah sel dengan tingkat entropy paling rendah dipilih, sel tersebut mengalami proses collapse sehingga hanya memiliki satu kemungkinan elemen. Informasi dari hasil collapse kemudian disebarkan ke sel-sel di sekitarnya melalui proses propagation. Sampai seluruh sel di grid memiliki elemen yang telah ditentukan, prosedur ini dilakukan berulang kali. Mekanisme ini memungkinkan sistem untuk

membuat tata letak perumahan secara otomatis dengan aturan yang telah ditetapkan.

Penerapan aturan ketetanggaan menjadi salah satu bagian penting dalam penelitian ini karena kualitas hasil pembangkitan sangat bergantung pada aturan yang diberikan kepada setiap tile. Aturan tersebut digunakan untuk membatasi kemungkinan kombinasi antarobjek sehingga hasil yang dihasilkan tidak sepenuhnya acak. Dengan demikian, WFC dapat menghasilkan variasi tata letak yang tetap memiliki struktur dan hubungan antarobjek yang sesuai dengan kebutuhan desain kawasan perumahan.

2.3.1 Prinsip Kerja Wave Function Collapse

Siklus propagasi dan observasi adalah cara Algoritma Wave Function Collapse bekerja. Dalam kondisi awal, seluruh sel dalam ruang keluaran berada dalam keadaan superposition, yang berarti mereka memiliki kemungkinan untuk ditempati oleh berbagai jenis tile. Algoritma kemudian memilih sel dengan nilai entropi terendah untuk melakukan proses collapse, sehingga hanya tersisa satu tile. Batasan baru akan dibuat oleh pilihan tersebut, yang kemudian melalui proses propagasi menyebar ke sel-sel tetangga. Kemungkinan tile yang melanggar aturan ketetanggaan akan dihapus selama propagasi hingga hanya tersisa kombinasi yang sah. Sampai seluruh area keluaran terisi dan setiap sel memiliki satu tile yang memenuhi aturan yang telah ditentukan, proses ini berulang kali dilakukan. Metode ini memungkinkan WFC membuat pola baru yang memiliki kemiripan lokal dengan data yang dimasukkan sekaligus menjaga konsistensi hubungan antar elemen (Kim et al., 2020). Tahapan utama algoritma Wave Function Collapse terdiri atas observasi, collapse, dan propagation. Pada tahap observasi,

sistem mencari sel yang memiliki nilai entropy paling rendah dibandingkan sel lain yang masih memiliki lebih dari satu kemungkinan. Sel yang dipilih kemudian mengalami proses collapse, yaitu menentukan salah satu tile dari kumpulan kemungkinan yang tersedia. Setelah sebuah tile ditentukan, sistem melakukan propagation dengan menyebarkan informasi mengenai perubahan kemungkinan tersebut kepada sel-sel tetangganya. Proses ini dilakukan secara berulang sampai seluruh sel pada grid memiliki satu tile yang telah ditentukan.

Dalam desain perumahan, peraturan berdekatan digunakan untuk mengatur hubungan antara jalan, rumah, taman, dan fasilitas umum. Sebagai contoh, tile rumah dapat diberi aturan untuk mengakses atau berhubungan dengan tile jalan. Tile jalan juga dapat diberi aturan untuk berhubungan dengan tile jalan lainnya. Di sisi lain, tile taman dan fasilitas umum dapat ditempatkan sesuai dengan aturan yang telah ditentukan dalam sistem. Untuk mengurangi kemungkinan munculnya tata letak yang tidak sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan, aturan ini digunakan. Penggunaan Wave Function Collapse pada penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan variasi tata letak secara otomatis tanpa mengharuskan pengguna menentukan posisi setiap objek satu per satu. Pengguna cukup memberikan parameter yang tersedia pada aplikasi, kemudian sistem melakukan proses pembangkitan berdasarkan aturan yang telah ditanamkan. Dengan demikian, algoritma WFC dapat membantu proses pembuatan desain tata letak menjadi lebih prosedural dan memungkinkan dihasilkan lebih dari satu variasi desain.

2.3.2 Penggunaan Constraint dan Adjacency Rules

Dalam algoritma pengurangan fungsi gelombang, penghalang digunakan untuk membatasi kemungkinan penempatan suatu tile berdasarkan aturan yang telah ditentukan sebelumnya, yaitu aturan yang menentukan hubungan ketetanggaan antar tile pada setiap arah, seperti atas, bawah, kiri, dan kanan. Ketika suatu tile dipilih selama proses pengurangan, algoritma ini akan melakukan propagasi terhadap sel-sel yang berdekatan dengan menghilangkan aturan ketetanggaan. Setelah berulang kali dilakukan, seluruh sel hanya memiliki satu kemungkinan tile yang benar. Seperti yang dijelaskan oleh Karth dan Smith, WFC dapat dianggap sebagai teknik penyelesaian tantangan di mana solusi dicapai melalui penerapan aturan lokal, yang kemudian menghasilkan struktur yang konsisten di seluruh dunia. Oleh karena itu, peraturan keterbatasan dan jarak menjadi komponen utama yang menentukan kualitas dan validitas pola yang dibuat oleh algoritma WFC (Scurti & Verbrugge, 2018).

2.3.3 Implementasi Algoritma Wave Function Collapse

Studi ini menerapkan algoritma Wave Function Collapse dengan mendefinisikan beberapa jenis objek perumahan seperti rumah, jalan, taman, dan fasilitas umum sebagai tile. Setiap tile memiliki aturan ketetanggaan yang menunjukkan posisi objek yang diperbolehkan berada di sekitarnya. Terlebih dahulu, seluruh sel pada grid perumahan diinisialisasi dengan semua tile yang mungkin. Algoritma kemudian memilih sel dengan nilai entropi terendah untuk melakukan proses collapse, sehingga hanya tersisa satu tile. Untuk menghindari tile yang melanggar aturan, hasil pemilihan didistribusikan ke sel-sel tetangga. Proses ini dilakukan berulang kali hingga seluruh area perumahan terisi dan tata

letak yang sah dibuat. Selanjutnya, teknologi Augmented Reality digunakan untuk menggambarkan hasil penelitian dalam bentuk model tiga dimensi (Scurti & Verbrugge, 2018).

2.3.4 Langkah Perhitungan Algoritma Wave Function Collapse

1. Rumus Entropy WFC

Menurut konsep WFC, entropy digunakan untuk menentukan sel yang memiliki ketidakpastian paling rendah.

Rumus Shannon Entropy:

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$$

Keterangan:

H = Entropy

p_i = Probabilitas tile ke-i

n = Jumlah jenis tile

2. Data Tile Maket Perumahan

Misalkan terdapat 3 objek:

Tile	Simbol	Probabilitas
Rumah	R	0,5
Jalan	J	0,3
Taman	T	0,2

Maka

$$H = -(0,5 \log_2 0,5 + 0,3 \log_2 0,3 + 0,2 \log_2 0,2)$$

Perhitungan

Nilai Agoritma:

$$\text{Log}_2(0,5) = -1$$

$$\log_2(0,3) = -1,737$$

$$\log_2(0,2) = -2,322$$

Substitusi:

$$H = -(0,5(-1) + 0,3(-1,737) + 0,2(-2,322))$$

$$H = -(-0,5 - 0,521 - 0,464)$$

$$H = 1,485$$

Jadi:

$$H = 1,485$$

Setelah Constraint Propagation

Misalkan sebuah sel sudah bertetangga dengan Rumah (R).

Berdasarkan aturan:

$$R \rightarrow \{R, J\}$$

Maka kemungkinan Taman (T) dihilangkan.

Probabilitas baru:

Tile	Probabilitas
Rumah	0,625
Jalan	0,375

Normalisasi:

$$0,5 + 0,3 = 0,8$$

$$P(R) = \frac{0,5}{0,8} = 0,625$$

$$P(J) = \frac{0,3}{0,8} = 0,375$$

Entropy baru:

$$H = -(0,625\log_2 0,625 + 0,375\log_2 0,375)$$

$$H = -(0,625(-0,678) + 0,375(-1,415))$$

$$H = 0,954$$

Analisis

Sebelum propagasi:

$$H = 1,485$$

Sesudah propagasi:

$$H = 0,954$$

Karena:

$$0,954 < 1,485$$

maka sel tersebut memiliki ketidakpastian yang lebih rendah dan diprioritaskan untuk dilakukan **collapse**.

Untuk menghitung pecahnya fungsi gelombang, rumus entropy Shannon digunakan. Dalam penelitian ini, tiga jenis objek—rumah, jalan, dan taman—digunakan dengan probabilitas masing-masing 0,5, 0,3, dan 0,2. Hasil perhitungan menghasilkan nilai entropy awal sebesar 1,485. Setelah proses penguncian penyebaran digunakan, kemungkinan objek pada sel berkurang menjadi rumah dan jalan. Ini menghasilkan penurunan nilai entropy menjadi 0,954. Karena memiliki tingkat ketidakpastian yang lebih rendah, sel dengan nilai entropy

terendah dipilih untuk collapse. Setelah seluruh area maket perumahan terisi menurut aturan ketetanggaan yang ditetapkan, prosedur ini diulang.

2.4 Model Pengembangan Desain Maket Perumahan berbasis AR

Model pengembangan Augmented Reality berbasis Multimedia Development Life Cycle (MDLC), yang diusulkan oleh (Roedavan et al., 2025), digunakan. Kompatibilitas model ini dengan pengembangan aplikasi AR yang membutuhkan integrasi interaktif antara objek virtual tiga dimensi dan lingkungan nyata. Penelitian dimulai dengan fase Pre-Production, di mana kebutuhan sistem diidentifikasi dan aturan ketetanggaan (adjacency rules) untuk algoritma Wave Function Collapse dievaluasi, serta perancangan konsep maket perumahan. Pada fase Produksi, algoritma Wave Function Collapse diimplementasikan pada Unity dan diintegrasikan dengan teknologi Augmented Reality. Pilihan metode ini didasarkan pada fakta bahwa penelitian tersebut berkonsentrasi pada pembuatan aplikasi visualisasi tiga dimensi berbasis Augmented Reality yang membutuhkan model tiga dimensi, pengelolaan aset multimedia, dan interaksi pengguna secara real-time. Kebutuhan sistem dan tujuan penelitian ditentukan melalui tahap awal. Dalam tahap Blueprint Design, antarmuka aplikasi, alur sistem, dan aturan ketetanggaan (adjacency rules) algoritma Wave Function Collapse dirancang. Tahap Asset Preparation mengumpulkan dan membuat aset tiga dimensi, termasuk model rumah, jalan, taman, dan fasilitas umum lainnya.

Selanjutnya, algoritma Wave Function Collapse dan integrasi teknologi Augmented Reality menggunakan Unity dilakukan pada tahap pengembangan produk. Tahap terakhir, pengujian dan validasi, bertujuan untuk menguji kinerja sistem dan kevalidan hasil pembangkitan tata letak perumahan. serta kualitas

tampilan yang dilihat pengguna. Proses pengembangan aplikasi dapat dilakukan secara lebih sistematis pada tahapan ini. Ini juga memungkinkan pembuatan sistem yang memenuhi kebutuhan penelitian.

2.4.1 Model MDLC dalam pengembangan desain maket perumahan

Multimedia Development Life Cycle (MDLC) adalah pendekatan pengembangan yang digunakan. Metode ini dipilih karena mampu memenuhi kebutuhan pengembangan aplikasi yang memadukan algoritma pembangkitan prosedural, objek tiga dimensi, dan teknologi Augmented Reality. Tujuan aplikasi sebagai media visualisasi maket perumahan yang dibuat menggunakan algoritma Wave Function Collapse dilakukan pada tahap konsep. Tahap ini mencakup perancangan sistem, antarmuka pengguna, diagram UML, dan aturan ketetanggaan yang digunakan algoritma. Pembuatan dan pengumpulan aset tiga dimensi, termasuk model rumah, jalan, taman, dan fasilitas umum, dilakukan pada tahap pengumpulan material.

Seluruh aset dan algoritma Wave Function Collapse diintegrasikan ke dalam Unity pada tahap Assembly dan dikombinasikan dengan teknologi Augmented Reality. Pada tahap distribusi, aplikasi didistribusikan kepada pengguna untuk dievaluasi lebih lanjut. Tahap uji dilakukan untuk menguji fungsionalitas sistem, akurasi hasil pembuatan tata letak, dan tampilan AR. Pendekatan MDLC memungkinkan proses pengembangan aplikasi yang terstruktur dan menghasilkan visualisasi maket perumahan yang interaktif dan menarik (Fahmizher & Hartono, n.d.).

2.4.2 Visualisasi Maket Perumahan Berbasis Digital

dalam penelitian ini menggunakan visualisasi maket perumahan digital untuk menampilkan hasil pembangkitan tata letak perumahan yang dibuat oleh algoritma Wave Function Collapse. Visualisasi digital memungkinkan visualisasi area perumahan dalam model tiga dimensi yang lebih mudah diamati daripada denah dua dimensi. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Mudhoffar & Puspitasari, 2018), visualisasi 3D memiliki kemampuan untuk memberikan gambaran yang lebih informatif tentang susunan bangunan dan lingkungan perumahan. Selain itu, visualisasi ini dapat memudahkan pengguna untuk memahami tata letak kawasan. Akibatnya, visualisasi maket perumahan digital yang dikombinasikan dengan AR dapat membuat proses perancangan dan evaluasi desain menjadi lebih efektif karena pengguna dapat melihat hasil desain perumahan prosedural secara langsung di lingkungan nyata. Visualisasi maket perumahan berbasis digital dapat digunakan dalam konteks perencanaan dan pengembangan kawasan sebagai alat untuk simulasi, promosi, dan analisis tata letak sebelum pembangunan secara nyata dimulai.

Pada penelitian ini, visualisasi maket tiga dimensi berfungsi sebagai representasi dari hasil pembangkitan tata letak algoritma Wave Function Collapse. Setiap elemen tata letak, seperti rumah, jalan, taman, dan fasilitas umum, digambarkan dalam model tiga dimensi. Menggunakan model tiga dimensi memungkinkan pengguna melihat susunan kawasan dengan lebih jelas daripada melihat denah dua dimensi. Selanjutnya, visualisasi ini digabungkan dengan AR, yang memungkinkan rancangan ditampilkan secara langsung di lingkungan nyata melalui kamera perangkat. Hubungan antarobjek yang dibuat oleh algoritma juga

ditampilkan dengan visualisasi tiga dimensi. Aplikasi ini memungkinkan pengguna melihat posisi objek, susunan jalan, penempatan rumah, dan fasilitas lainnya dalam lingkungan virtual yang ditampilkan di perangkat Android. Ini menjadikannya sebagai sistem pembangkitan tata letak dan media visualisasi yang memudahkan pemahaman pengguna tentang hasil desain.

2.4.3 Integrasi Wave Function Collapse dengan Augmented Reality

Dengan menggabungkan proses pembangkitan tata letak dengan proses visualisasi objek tiga dimensi, algoritma Wave Function Collapse bergabung dengan teknologi Augmented Reality untuk menampilkan hasil susunan objek dalam lingkungan nyata melalui kamera perangkat Android. Sementara itu, Wave Function Collapse bertanggung jawab untuk menentukan susunan objek berdasarkan grid dan aturan ketetanggaan yang telah ditentukan. Proses integrasi dimulai dengan pengguna memasukkan parameter desain seperti ukuran grid, jumlah rumah, dan luas tanah. Algoritma Pengurangan Fungsi Wave digunakan untuk memasukkan parameter ini ke dalam proses pembangkitan tata letak. Setelah itu, sistem melakukan proses observasi, pengurangan, dan propagasi hingga memperoleh konfigurasi tile untuk seluruh grid. Setiap tile yang telah ditentukan kemudian dikaitkan dengan objek tiga dimensi yang sesuai.

Setelah proses pembangkitan selesai, objek tiga dimensi ditempatkan ke dalam lingkungan Realitas Berkembang. Kamera perangkat mendeteksi permukaan atau marker tempat objek ditempatkan, dan model tata letak perumahan tiga dimensi ditampilkan pada posisi yang telah ditentukan. Pengguna dapat melakukan interaksi dengan objek, seperti rotasi dan zoom, dan melihat hasil desain dari berbagai sudut pandang. Integrasi kedua teknologi tersebut

menghasilkan sistem yang tidak hanya mampu menghasilkan desain tata letak secara otomatis, tetapi juga mampu menyajikan hasil desain secara interaktif. Dengan demikian, pengguna dapat melihat hasil pembangkitan algoritma Wave Function Collapse dalam bentuk visualisasi tiga dimensi berbasis Augmented Reality.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah aplikasi berbasis Augmented Reality (AR) yang menggunakan algoritma Wave Function Collapse (WFC) untuk membuat desain maket perumahan secara prosedural. Pendekatan penelitian terapan dipilih karena penelitian ini tidak hanya berfokus pada pengkajian teori, tetapi juga menghasilkan produk yang dapat digunakan sebagai media. Untuk Penelitian ini memilih metode Rekayasa Perangkat Lunak (RPL) dan model Multimedia Development Life Cycle (MDLC). Model MDLC dipilih karena cocok untuk mengembangkan aplikasi multimedia interaktif yang menggabungkan objek tiga dimensi, teknologi Augmented Reality, dan algoritma pengembangan prosedural. Tahapan pengembangan meliputi Concept, Design, Material Collecting, Assembly, Testing, dan Distribution. Semua tahapan yang dilakukan secara sistematis untuk memastikan bahwa aplikasi yang dikembangkan dapat memenuhi kebutuhan pengguna.

Dalam penelitian ini, pendekatan teknis yang digunakan adalah algoritma Wave Function Collapse. Algoritma ini digunakan untuk menghasilkan berbagai variasi tata letak perumahan secara otomatis berdasarkan aturan atau penghalang yang telah ditentukan. Kemudian, dengan bantuan Vuforia SDK, layout yang dibuat divisualisasikan dalam model tiga dimensi menggunakan Unity Engine dan ditampilkan melalui teknologi Augmented Reality. Kombinasi teknologi ini memungkinkan pengguna menggunakan smartphone Android untuk melihat dan

mempelajari desain maket perumahan secara interaktif. Penelitian ini memilih model Multimedia Development Life Cycle sesuai dengan fitur aplikasi yang dikembangkan. Selain proses pemrograman, aplikasi juga mencakup penggunaan algoritma pembangkitan tata letak, desain antarmuka, pembuatan dan pengelolaan objek tiga dimensi, dan penggunaan teknologi Augmented Reality. Akibatnya, setiap tahapan MDLC digunakan untuk memastikan bahwa bagian-bagian tersebut dapat dikembangkan secara terstruktur dan saling terintegrasi. Pada tahap ide, penelitian dilakukan untuk menentukan tujuan utama aplikasi dan apa yang dibutuhkan pengguna. Struktur aplikasi, antarmuka, alur proses, dan aturan algoritma Wave Function Collapse dirancang melalui tahap desain. Setelah itu, proses pengumpulan material dimulai dengan menyediakan berbagai aset yang diperlukan; ini termasuk model rumah, taman, jalan, dan fasilitas umum. Setelah aplikasi dibangun, tahap Pengujian digunakan untuk menguji fungsi sistem dan tingkat penerimaan pengguna. Tahap Penggabungan melibatkan penggabungan seluruh aset dengan kode program dan algoritma WFC pada Unity. Terakhir, distribusi, adalah cara memberikan aplikasi kepada pengguna sebagai hasil dari penelitian.

3.1.1 Model Pengembangan Sistem

Dalam penelitian ini, model pengembangan sistem Multimedia Development Life Cycle (MDLC) dipilih karena cocok untuk pengembangan aplikasi multimedia interaktif yang menggabungkan teknologi Augmented Reality, objek tiga dimensi, dan algoritma pengembangan prosedur dalam satu sistem. Selain itu, model ini memiliki tahapan yang terorganisir, yang

memudahkan proses sistematis perancangan, pembangunan, dan pengujian aplikasi.

Model MDLC terdiri dari enam tahapan utama: ide, desain, pengumpulan material, assembly, pengujian, dan distribusi. Setiap tahapan melakukan tugas yang saling berhubungan untuk menghasilkan produk multimedia yang memenuhi kebutuhan pengguna.



Gambar 3.1 Model MDLC

1. Concepts : Pada tahap ini, masalah, tujuan penelitian, target pengguna, dan kebutuhan sistem yang akan dikembangkan diidentifikasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat aplikasi yang menggunakan algoritma Wave Function Collapse untuk membangkitkan desain tata letak perumahan secara otomatis dan menampilkannya dalam visualisasi tiga dimensi berbasis Augmented Reality. Target pengguna aplikasi ini adalah mahasiswa, pengembang perumahan, dan pihak lain yang membutuhkan media untuk melihat desain perumahan secara interaktif.

2. Design : Pada titik ini, perancangan arsitektur sistem, desain antarmuka pengguna, desain basis data jika diperlukan, dan perancangan alur algoritma Wave Function Collapse dilakukan. Selain itu, dibuat peraturan atau hambatan yang membentuk pola tata letak perumahan, seperti bagaimana jalan, taman, fasilitas umum, dan hubungan antar rumah. Flowchart, use case diagram, dan struktur navigasi aplikasi adalah semua bagian dari desain.

3. Material Collecting : Pada tahap ini, seluruh bahan yang diperlukan untuk pengembangan aplikasi dikumpulkan. Bahan-bahan ini termasuk model rumah tiga dimensi, jalan, taman, fasilitas umum, marker AR, tekstur objek, ikon antarmuka, dan referensi layout perumahan. Bahan-bahan ini akan digunakan sebagai bagian penting dari proses pembangunan aplikasi.

4. Assembly : Pada titik ini, seluruh komponen yang telah dirancang dan dikumpulkan diintegrasikan ke dalam Unity Engine. Untuk membuat layout perumahan berdasarkan aturan yang telah ditentukan sebelumnya, algoritma Wave Function Collapse digunakan. Layout ini kemudian divisualisasikan dalam bentuk objek tiga dimensi dan diintegrasikan dengan teknologi Vuforia agar dapat digunakan dalam lingkungan Augmented Reality.

5. Testing : Tahap ini dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh operasi sistem berjalan sesuai dengan kebutuhan. Metode Black Box Testing digunakan untuk menguji fungsi-fungsi penting aplikasi. Ini termasuk proses pembuatan layout, deteksi marker, visualisasi objek tiga dimensi, dan interaksi pengguna dengan sistem. Selain itu, pengujian dilakukan terhadap output Wave Function Collapse algoritma untuk memastikan layout yang dihasilkan memenuhi seluruh aturan yang ditetapkan.

6. Distribution : Setelah aplikasi berjalan dengan baik, sistem dikompilasi ke dalam format Android Package Kit (APK) dan siap digunakan pada perangkat Android. Proses ini juga mencakup pembuatan dokumentasi sistem dan penyusunan laporan penelitian sebagai bentuk penyajian hasil pengembangan aplikasi.

3.1.2 Pendekatan Teknikal

Penelitian ini menggunakan kombinasi teknologi Augmented Reality, algoritma Wave Function Collapse (WFC), pemodelan objek tiga dimensi, dan pengembangan aplikasi berbasis Unity Engine untuk membuat sistem yang dapat menghasilkan desain maket perumahan secara otomatis dan secara interaktif menampilkan hasil desain tersebut dalam lingkungan Augmented Reality. Teknologi Augmented Reality adalah media visualisasi yang memungkinkan penampilan dan interaksi objek virtual tiga dimensi secara real-time. Penelitian ini menggunakan Vuforia SDK, yang terintegrasi dengan Unity Engine. Vuforia melakukan proses pendeteksian marker dan pelacakan posisi objek, yang memungkinkan penampilan model perumahan tiga dimensi secara akurat pada perangkat pengguna.

Algoritma Wave Function Collapse digunakan sebagai metode utama dalam proses pembentukan tata letak perumahan secara prosedural. Algoritma ini bekerja dengan menentukan kemungkinan pola pada setiap sel grid berdasarkan aturan atau constraint yang telah ditentukan sebelumnya. Selanjutnya sistem memilih sel dengan tingkat entropy terendah untuk dilakukan proses collapse, kemudian menyebarkan batasan tersebut ke sel lain melalui proses propagation hingga seluruh grid terisi dengan pola yang valid. Pendekatan ini memungkinkan

sistem menghasilkan berbagai variasi layout perumahan yang berbeda secara otomatis tanpa perlu dirancang secara manual satu per satu. Dalam praktiknya, setiap komponen perumahan diwakili sebagai tile atau modul, yang terdiri dari rumah, jalan, taman, fasilitas umum, dan lahan kosong. Setiap tile dihubungkan satu sama lain dengan cara tertentu sehingga layout yang dihasilkan tetap memenuhi prinsip dasar perancangan kawasan perumahan. Metode ini memungkinkan desain sistem yang lebih beragam, efektif, dan realistis.

Unity Engine adalah platform utama untuk pengembangan aplikasi tiga dimensi dan Augmented Reality, dan dipilih karena dukungannya yang kuat terhadap pengembangan aplikasi tiga dimensi. Unity juga memiliki banyak fitur yang memudahkan integrasi algoritma Wave Function Collapse, pengelolaan objek tiga dimensi, pengembangan antarmuka pengguna, dan proses deployment ke perangkat Android. Penelitian ini diharapkan dapat membuat aplikasi visualisasi maket perumahan yang interaktif dan inovatif yang menawarkan solusi digital untuk proses perancangan tata letak kawasan perumahan. Ini akan dicapai melalui kombinasi teknologi Augmented Reality, algoritma Wave Function Collapse, Unity Engine, dan Vuforia SDK.

3.2 Analisis Kebutuhan Sistem

Tahap berikutnya dalam proses pengembangan aplikasi adalah analisis kebutuhan sistem, yang mengidentifikasi semua kebutuhan yang diperlukan. Analisis ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem yang dibangun mampu memenuhi kebutuhan pengguna dan mendukung implementasi algoritma Wave Function Collapse dan teknologi Augmented Reality. Kebutuhan sistem dalam penelitian ini termasuk kebutuhan perangkat keras, perangkat lunak, dan fitur.

3.2.1 Kebutuhan Perangkat Keras (Hardware)

Perangkat keras digunakan sebagai media utama dalam proses pengembangan, pengujian, dan implementasi aplikasi. Spesifikasi perangkat keras yang digunakan harus mampu menjalankan Unity Engine, Vuforia SDK, serta proses rendering objek tiga dimensi secara optimal.

Tabel 3. 1 Kebutuhan Perangkat Keras

No	Perangkat	Spesifikasi Minimum
1	Processor	2GHz+
2	RAM	2 GB
3	Penyimpanan	200 MB
4	VGA	Terintegrasi atau dedicate
5	Monitor	Resolusi 1366 × 768
6	Mouse dan keyboard	Standar

3.2.2 Kebutuhan Perangkat Android

Sedangkan perangkat Android yang digunakan untuk menjalankan aplikasi memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 3.2 Kebutuhan Perangkat Android

No	Perangkat	Spesifikasi Minimum
1	Sistem Operasi	Android 10
2	Ram	2 GB
3	Kamera	8MP
4	Processor	Octa Core

5	Penyimpanan	64 GB
6	Sensor	Accelerometer

3.2.3 Kebutuhan Fungsional Sistem

Kebutuhan fungsional merupakan kebutuhan yang menjelaskan layanan atau fungsi yang harus dimiliki oleh sistem agar dapat berjalan sesuai tujuan penelitian. Adapun kebutuhan fungsional sistem yang dikembangkan adalah sebagai berikut:

1. Sistem dapat menampilkan halaman utama aplikasi.
2. Sistem dapat mendeteksi marker menggunakan kamera smartphone.
3. Sistem dapat menampilkan berbagai variasi desain perumahan yang berbeda.
4. Sistem dapat menampilkan desain perumahan dalam lingkungan Augmented Reality.
5. Sistem dapat menampilkan informasi objek yang terdapat pada maket perumahan.

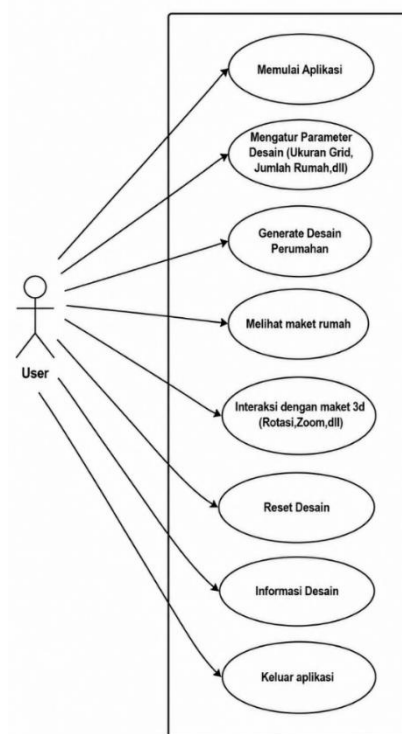
3.2.4 Kebutuhan Non-Fungsional Sistem

Kebutuhan non-fungsional merupakan kebutuhan yang berhubungan dengan kualitas sistem yang dikembangkan.

1. Usability : Sistem harus memiliki antarmuka pengguna yang mudah dipahami dan digunakan, dengan navigasi menu yang sederhana sehingga pengguna dapat menggunakan aplikasi tanpa pengalaman sebelumnya.
2. Performance : Sistem harus memiliki kemampuan untuk membuat desain perumahan dan menampilkan objek Augmented Reality dengan waktu respons yang cepat, serta memungkinkan rendering objek tiga dimensi secara real-time tanpa lag yang signifikan.

3. Reliability : Sistem harus stabil selama penggunaan dan tidak mengalami crash saat membuat layout atau menampilkan objek AR.
4. Compatibility : Aplikasi ini hanya dapat digunakan pada perangkat Android yang mendukung teknologi AR dan memiliki kamera yang bagus.
5. Maintainability : Apabila diperlukan penambahan fitur baru, jenis bangunan baru, atau aturan pembatasan tambahan pada algoritma Penurunan Fungsi Wave, sistem harus mudah dikembangkan kembali.
6. Portability : Aplikasi ini harus dapat diinstal dan digunakan pada berbagai perangkat Android tanpa konfigurasi yang rumit.

3.2.5 Diagram Use Case



Gambar 3.2 Use Case Diagram

3.3 Desain Sistem

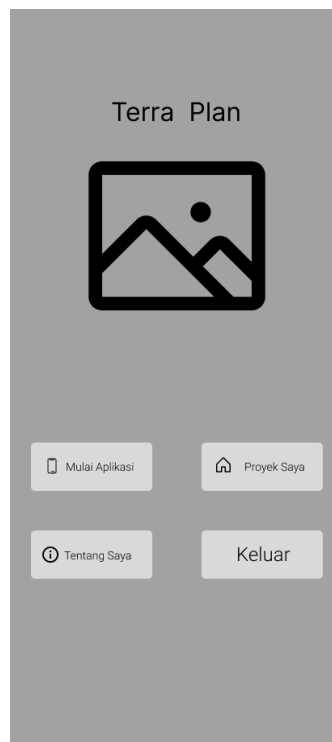
Proses desain sistem adalah proses perancangan struktur, komponen, arsitektur, antarmuka, dan mekanisme kerja sistem berdasarkan hasil analisis

kebutuhan, sehingga sistem yang akan dikembangkan dapat memenuhi tujuan dan kebutuhan pengguna.

3.3.1 Perancangan Use Interface

a. Tampilan Utama

Tampilan utama adalah Tampilan pertama yang muncul ketika aplikasi dijalankan dan berfungsi sebagai tempat di mana Anda dapat menemukan semua fitur utama aplikasi. Identitas aplikasi Terra Plan ditampilkan di bagian atas; ilustrasi atau logo aplikasi di bawahnya menunjukkan hubungannya dengan desain perumahan.

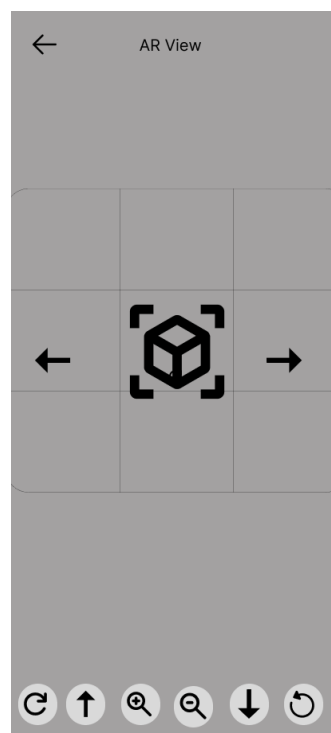


Gambar 3.3 Tampilan Utama

b. Tampilan ar view

tampilan AR View pada aplikasi yang digunakan untuk menampilkan hasil desain maket perumahan secara Augmented Reality. Pada bagian tengah layar terdapat area pemindaian yang digunakan sebagai tempat munculnya objek 3D

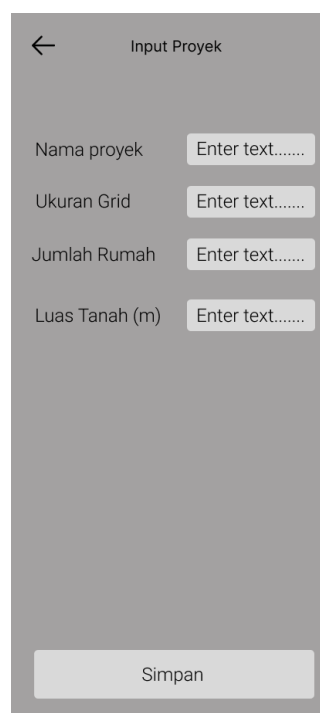
hasil proses generasi desain menggunakan algoritma Wavefunction Collapse. Pengguna dapat mengatur posisi tampilan objek menggunakan beberapa tombol kontrol yang tersedia. Pada bagian bawah layar terdapat beberapa tombol navigasi yang digunakan untuk mengatur tampilan objek 3D. Tombol tersebut meliputi tombol rotasi ke kiri dan kanan, pergeseran objek ke atas dan bawah, serta tombol zoom in dan zoom out untuk memperbesar atau memperkecil tampilan objek. Selain itu, terdapat tombol reset yang digunakan untuk mengembalikan posisi dan orientasi objek ke kondisi awal. Tombol navigasi kembali pada bagian kiri atas digunakan untuk kembali ke halaman sebelumnya.



Gambar 3.4 Tampilan Ar View

c. Tampilan Input Proyek

Halaman Input Proyek digunakan untuk memasukkan data yang diperlukan dalam proses pembuatan desain maket perumahan secara prosedural berbasis Augmented Reality. Pengguna dapat mengisi beberapa informasi, yaitu nama proyek, ukuran grid, jumlah rumah, dan luas tanah. Setelah seluruh data diisi, pengguna dapat menekan tombol Simpan untuk menyimpan data proyek dan melanjutkan ke tahap pembuatan desain maket.



← Input Proyek

Nama proyek Enter text.....

Ukuran Grid Enter text.....

Jumlah Rumah Enter text.....

Luas Tanah (m) Enter text.....

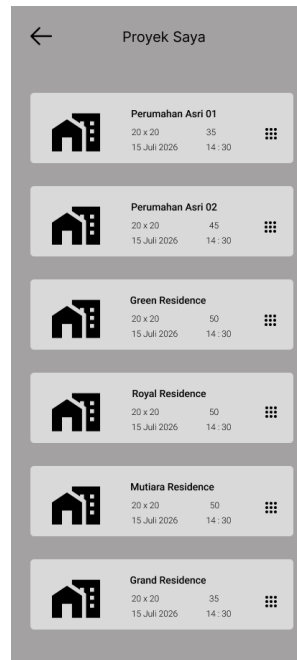
Simpan

Gambar 3.5 Tampilan Input Proyek

D. Tampilan Proyek Saya

Halaman ini berfungsi sebagai penyimpanan seluruh desain yang telah berhasil dibuat. Setiap proyek ditampilkan dalam bentuk kartu (card). Halaman ini memudahkan pengguna dalam mengelola berbagai hasil desain yang pernah dibuat. Informasi yang ditampilkan antara lain:

1. Nama proyek
2. Ukuran grid
3. Jumlah rumah
4. Tanggal pembuatan
5. Waktu pembuatan

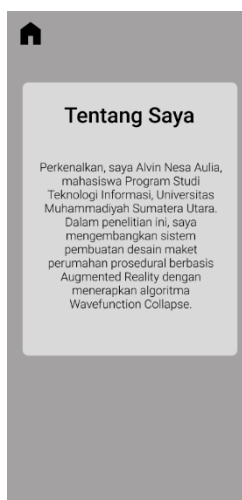


Gambar 3.6 Tampilan Proyek Saya

G. Tampilan tentang saya

Halaman ini menampilkan informasi lengkap mengenai desain yang dipilih.

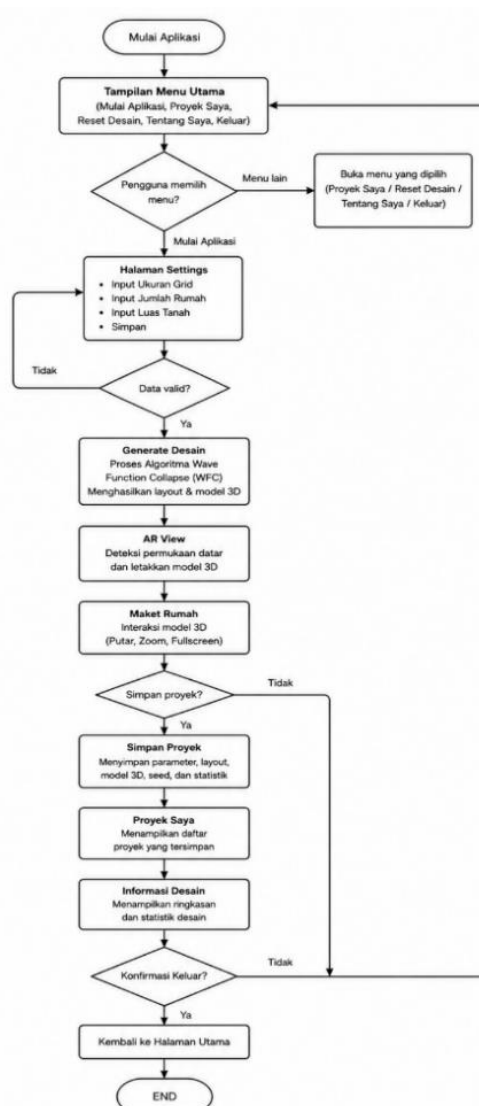
Informasi dibagi menjadi dua bagian. Ringkasan Berisi informasi umum desain : Ukuran Grid, Jumlah Rumah, Seed Random, Tanggal Pembuatan. Seed digunakan agar desain yang sama dapat dihasilkan kembali apabila diperlukan.



3.3.2 Flowchart Sistem

Gambar 3.7 Tampilan tentang saya

Flowchart sistem menggambarkan alur kerja aplikasi Terra Plan mulai dari pengguna membuka aplikasi hingga menghasilkan visualisasi maket perumahan berbasis Augmented Reality (AR) menggunakan algoritma Wave Function Collapse (WFC). Seluruh proses dirancang secara bertahap agar pengguna dapat mengatur parameter desain, menghasilkan tata letak perumahan secara prosedural, melihat hasilnya dalam bentuk model tiga dimensi, serta menyimpan hasil desain untuk digunakan kembali.



Gambar 3.8 Flowchart Sistem

Berikut adalah Langkah Langkah penjelasan dari flowchart sistem:

1. Proses dimulai ketika pengguna menjalankan aplikasi pada perangkat Android. Sistem kemudian memuat seluruh komponen aplikasi dan menampilkan halaman utama.
2. Setelah aplikasi berhasil dijalankan, pengguna akan diarahkan ke halaman Menu Utama. Pengguna dapat memilih salah satu menu sesuai kebutuhan. Pada halaman ini tersedia beberapa pilihan menu, yaitu: Mulai Aplikasi, Proyek Saya, Reset Desain, Tentang Saya, Keluar.
3. Pada tahap ini sistem akan memeriksa menu yang dipilih oleh pengguna. Jika memilih Mulai Aplikasi, sistem akan menuju ke halaman pengaturan (Settings). Jika memilih menu lain, seperti Proyek Saya, Reset Desain, Tentang Saya, atau Keluar, maka sistem akan membuka halaman sesuai menu yang dipilih. Setelah selesai, pengguna dapat kembali ke Menu Utama.
4. Apabila pengguna memilih Mulai Aplikasi, sistem akan menampilkan halaman Settings sebagai tempat memasukkan parameter desain. Parameter yang harus diisi meliputi: Ukuran Grid, Jumlah Rumah, Luas Tanah Setelah seluruh parameter diisi, pengguna menekan tombol Simpan untuk melanjutkan proses.
5. Sistem akan melakukan pengecekan terhadap data yang telah dimasukkan. Jika data tidak valid, misalnya terdapat kolom kosong atau nilai yang tidak sesuai, maka pengguna akan dikembalikan ke halaman Settings untuk memperbaiki data.

Jika data valid, proses dilanjutkan ke tahap pembuatan desain menggunakan algoritma Wave Function Collapse.

6. Pada tahap ini sistem menjalankan Algoritma Wave Function Collapse (WFC).

Algoritma akan memproses parameter yang telah dimasukkan untuk menghasilkan desain tata letak perumahan secara prosedural. Hasil proses berupa: Layout perumahan, Penempatan rumah, Model tiga dimensi (3D). Setelah proses selesai, sistem menampilkan hasil desain.

7.Selanjutnya sistem mengaktifkan fitur Augmented Reality (AR).

Pada tahap ini: Kamera perangkat digunakan untuk mendeteksi permukaan datar.

Setelah permukaan berhasil dikenali, model 3D hasil proses WFC ditempatkan pada permukaan tersebut.

Pengguna dapat melihat maket perumahan secara langsung melalui kamera.

8. Setelah objek berhasil ditampilkan pada AR, pengguna dapat berinteraksi dengan model 3D. Fitur interaksi meliputi: Memutar objek (Rotate), Memperbesar atau memperkecil (Zoom), Menampilkan layar penuh (Fullscreen) Tahap ini memungkinkan pengguna melihat desain maket dari berbagai sudut pandang.

9. Setelah desain selesai dibuat, sistem menanyakan apakah pengguna ingin menyimpan proyek. Jika Ya, sistem akan menyimpan seluruh data proyek.

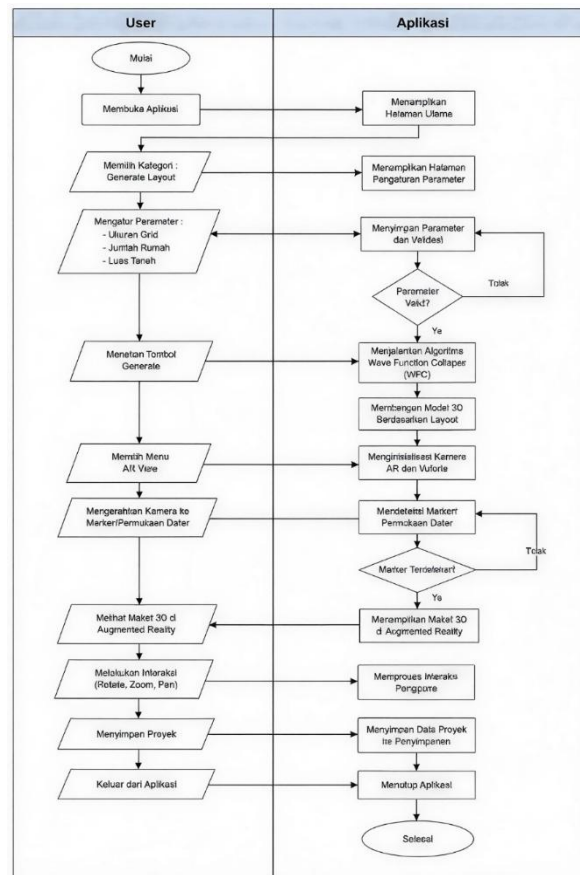
Jika Tidak, sistem akan langsung menuju proses konfirmasi keluar atau kembali ke Menu Utama.

10. Apabila pengguna memilih menyimpan proyek, maka sistem menyimpan informasi berupa: Parameter desain, Layout hasil WFC, Model 3D, Seed algoritma, Statistik desain. Data tersebut disimpan agar dapat dibuka kembali di lain waktu.

11. Setelah penyimpanan berhasil dilakukan, sistem akan menampilkan halaman Proyek Saya. Halaman ini berisi daftar seluruh proyek desain yang telah disimpan sehingga pengguna dapat membuka kembali proyek sebelumnya.
12. Selanjutnya sistem menampilkan informasi mengenai desain yang telah dibuat, seperti: Ringkasan desain, Jumlah rumah, Luas area, Parameter yang digunakan. Statistik hasil proses WFC Informasi ini membantu pengguna memahami hasil desain yang dihasilkan.
13. Setelah seluruh proses selesai, sistem akan meminta konfirmasi kepada pengguna. Jika memilih Tidak, pengguna akan kembali ke Menu Utama untuk melanjutkan penggunaan aplikasi. Jika memilih Ya, sistem mengakhiri proses aplikasi.
14. Apabila pengguna memilih untuk kembali, sistem menampilkan kembali Menu Utama sehingga pengguna dapat membuat desain baru atau mengakses menu lainnya.
15. Proses berakhir ketika pengguna keluar dari aplikasi.

3.3.3 Activity Diagram

Activity diagram pada gambar menggambarkan alur aktivitas antara User dan Aplikasi dalam proses penggunaan aplikasi untuk menghasilkan desain maket perumahan secara prosedural menggunakan algoritma Wave Function Collapse (WFC) dan menampilkannya dalam Augmented Reality (AR). Alur aktivitas dimulai dari pengguna membuka aplikasi hingga pengguna keluar dari aplikasi.



Gambar 3.9 Activity Diagram

Activity diagram tersebut menggambarkan alur aktivitas antara pengguna dan aplikasi dalam proses pembuatan serta visualisasi maket perumahan berbasis Augmented Reality. Proses dimulai ketika pengguna membuka aplikasi dan sistem menampilkan halaman utama, Pengguna memilih model 3D, selanjutnya memilih menu AR View untuk melihat hasil desain dalam bentuk Augmented Reality. Sistem menginisialisasi kamera AR dan Vuforia, kemudian pengguna mengarahkan kamera ke marker atau permukaan datar.

Sistem melakukan proses pendeteksian. Jika marker atau permukaan belum terdeteksi, sistem akan melakukan pendeteksian kembali. Setelah berhasil

terdeteksi, maket 3D ditampilkan pada lingkungan nyata melalui Augmented Reality. Selanjutnya, pengguna dapat melihat dan berinteraksi dengan maket 3D, seperti melakukan rotate, zoom, dan pan. Setelah mendapatkan hasil desain yang diinginkan, pengguna dapat menyimpan proyek sehingga data desain tersimpan pada penyimpanan aplikasi. Proses terakhir dilakukan ketika pengguna memilih untuk keluar dari aplikasi, kemudian sistem menutup aplikasi dan aktivitas dinyatakan selesai.

3.4 Metode Pengujian Sistem

Untuk memastikan bahwa aplikasi yang telah dikembangkan berfungsi sesuai dengan kebutuhan yang telah dirancang, metode pengujian sistem digunakan. Setelah seluruh proses implementasi sistem selesai, pengujian dilakukan. Ini mencakup penerapan algoritma Wave Function Collapse, integrasi teknologi Augmented Reality, dan semua fitur aplikasi. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa setiap fungsi sistem berjalan dengan benar, apakah algoritma memiliki kemampuan untuk membuat tata letak perumahan yang valid sesuai aturan (constraint), dan apakah aplikasi dapat digunakan dengan baik oleh pengguna. Tiga jenis metode pengujian terdiri dari penelitian ini: pengujian Black Box, pengujian algoritma Wave Function Collapse, dan pengujian usability menggunakan kuesioner.

3.4.1 Black Box Testing

Metode pengujian perangkat lunak yang dikenal sebagai "pengujian kotak hitam" menguji fungsi sistem berdasarkan masukan dan keluaran, tanpa memperhatikan struktur kode program. Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa semua fitur aplikasi berjalan sesuai dengan spesifikasi

kebutuhan sistem yang telah dirancang. Dalam penelitian ini, Black Box Testing digunakan untuk menguji semua fitur dan menu aplikasi. Ini termasuk proses membuka aplikasi, pengaturan parameter, proses pembangkitan desain menggunakan algoritma Wave Function Collapse, dan visualisasi maket perumahan dengan teknologi Augmented Reality. Fungsi yang diuji termasuk: Halaman utama aplikasi terdiri dari menu pengaturan, proses pembuatan desain, proses algoritma fungsi gelombang, tampilan augmented reality, rotasi objek, zoom objek, layar penuh, penyimpanan proyek, halaman proyek saya, halaman informasi, dan tombol kembali dan keluar aplikasi.

Tabel 3.3 Black Box Testing

No	Fitur	Input	Output	Status
1	Menu Utama	Membuka aplikasi	Menu tampil	Valid
2	Settings	Input parameter	Parameter diterima	Valid
3	Generate	Klik Generate	Layout dibuat	Valid
4	AR View	Kamera diarahkan	Objek 3D tampil	Valid
5	Rotate	Gesture	Model berputar	Valid
6	Zoom	Pinch	Model membesar/mengecil	Valid
7	Fullscreen	Klik tombol	Fullscreen aktif	Valid
8	Proyek Saya	Membuka menu	Data proyek tampil	Valid
9	Informasi	Pilih proyek	Informasi tampil	Valid
10	Kembali	Klik kembali	Kembali ke menu	Valid
11	Keluar	Klik keluar	Aplikasi ditutup	Valid

3.4.2 Pengujian Algoritma Wave Function Collapse

Penelitian ini juga menguji algoritma Wave Function Collapse (WFC). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah algoritma dapat menghasilkan tata letak perumahan secara prosedural berdasarkan aturan ketetanggaan (adjacency rules). Pengujian dilakukan dengan menguji algoritma dengan berbagai kombinasi parameter, seperti ukuran grid, jumlah rumah, dan luas area. Kemudian, diamati apakah algoritma berhasil menghasilkan desain yang memenuhi seluruh aturan yang telah ditentukan.

Aspek yang diuji meliputi:

1. Keberhasilan proses pembangkitan layout.
2. Konsistensi penerapan constraint antar tile.
3. Tidak adanya tile yang melanggar aturan adjacency.
4. Variasi desain yang dihasilkan.

Sebagai contoh, apabila aturan menyatakan bahwa jalan harus terhubung dengan jalan lain dan rumah harus berada di samping jalan, maka hasil layout harus memenuhi aturan tersebut. Apabila terdapat rumah yang berdiri tanpa akses jalan atau taman berada pada posisi yang tidak diperbolehkan, maka algoritma dianggap belum memenuhi aturan yang telah ditentukan. Hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui tingkat keberhasilan algoritma dalam menghasilkan desain perumahan yang valid.

3.4.3 Pengujian Kinerja Augmented Reality

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa teknologi Augmented Reality mampu menampilkan objek maket perumahan secara stabil pada perangkat Android. Beberapa aspek yang diuji antara lain:

1. Kecepatan pendeteksian marker atau permukaan datar.
2. Kecepatan munculnya objek tiga dimensi.
3. Stabilitas objek saat kamera bergerak.
4. Akurasi posisi objek virtual.
5. Kelancaran rendering model tiga dimensi.

Pengujian dilakukan menggunakan beberapa kondisi pencahayaan dan sudut kamera untuk mengetahui apakah objek tetap dapat ditampilkan secara optimal.

3.4.4 Pengujian Usability

Pengujian usability bertujuan untuk mengetahui tingkat kemudahan penggunaan aplikasi menurut pengguna. Pengujian dilakukan dengan meminta sejumlah responden mencoba aplikasi, kemudian mengisi kuesioner berdasarkan pengalaman mereka selama menggunakan sistem.

Tabel 3.4 Pengujian Usability

Nilai	Keterangan
5	Sangat Setuju
4	Setuju
3	Cukup Setuju
2	Tidak Setuju
1	Sangat Tidak Setuju

Beberapa aspek yang dinilai meliputi:

1. Kemudahan menggunakan aplikasi.
2. Kemudahan memahami menu.
3. Kemudahan melakukan generate desain.

4. Kejelasan tampilan Augmented Reality.
5. Kecepatan aplikasi.
6. Tampilan antarmuka aplikasi.
7. Kepuasan pengguna terhadap hasil desain.

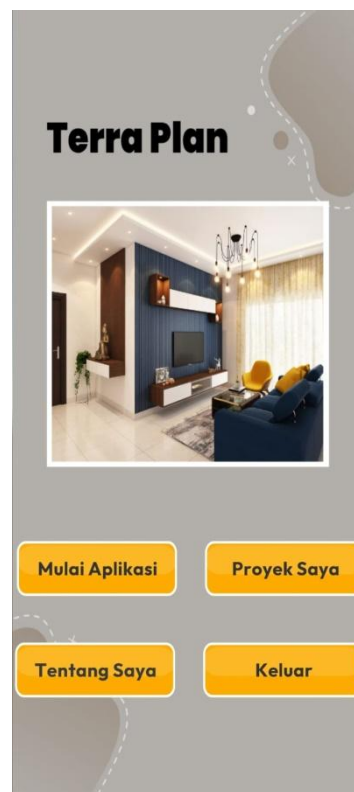
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

1. Tampilan Menu Utama

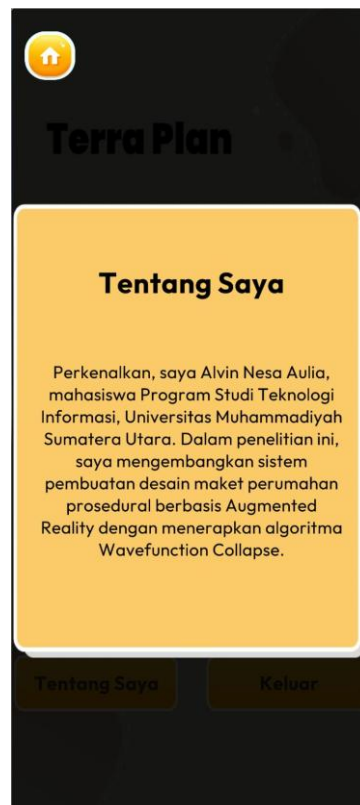
Halaman Menu Utama merupakan tampilan awal ketika aplikasi dijalankan. Halaman ini berfungsi sebagai navigasi pusat yang menyediakan tombol menuju fitur-fitur utama aplikasi.



Gambar 4.1 Tampilan Menu Utama

2. Tampilan Tentang

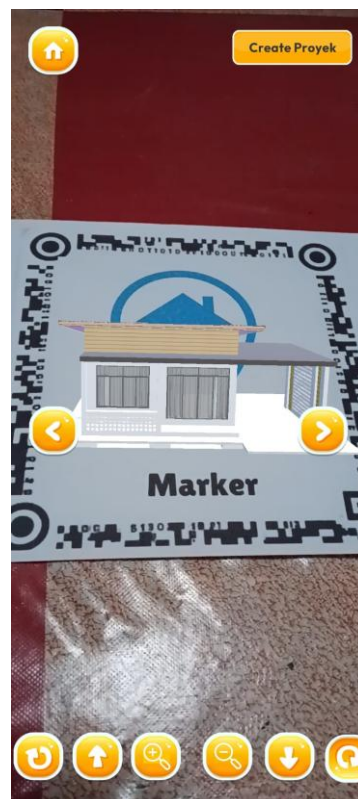
Tampilan ini berisi informasi profil pengembang (biodata singkat) serta informasi versi aplikasi Terra Plan. Tampilan ini diakses dengan menekan tombol Tentang Saya pada Menu Utama.



Gambar 4.2 Tampilan Tentang Saya

3. Tampilan Marker

Tampilan AR View mengaktifkan kamera smartphone secara real-time. Pada antarmuka ini terdapat indikator pindaian (scan marker) yang berfungsi mendeteksi permukaan datar (ground plane) atau target marker. Setelah lokasi terdeteksi, model maket perumahan 3D hasil eksekusi algoritma WFC diproyeksikan di atas permukaan tersebut.



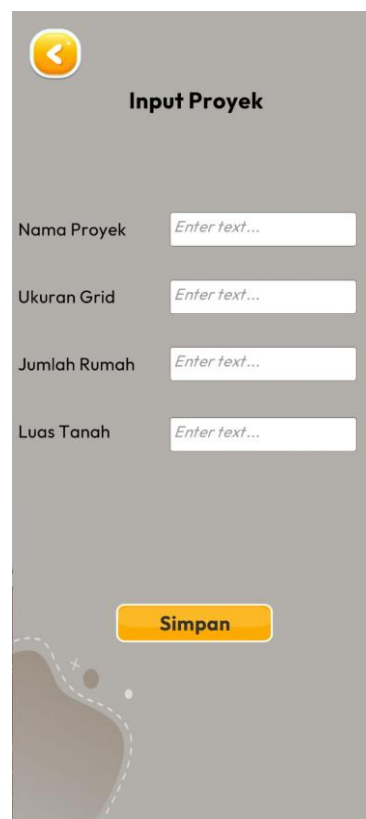
Gambar 4.3 Tampilan Marker

4. Tampilan Input Proyek

Halaman ini berfungsi untuk menerima masukan parameter dari pengguna sebelum algoritma WFC dijalankan. Parameter yang diinputkan meliputi:

1. Ukuran Grid: Menentukan dimensi ruang/luas grid kerja (misal: 10 x 10, 20 x 20)
2. Jumlah Rumah: Batas maksimal unit bangunan rumah yang ditempatkan.
3. Luas Tanah: Acuan total skala area perumahan.

Setelah parameter disimpan, pengguna menekan tombol Generate untuk memicu proses penentuan entropi, collapse, dan propagation pada algoritma WFC hingga tata letak maket 3D terbentuk.



Gambar 4.4 Tampilan Input Marker

5. Proyek Saya

Menampilkan daftar card proyek yang pernah disimpan oleh pengguna, lengkap dengan nama proyek, dimensi grid, jumlah rumah, serta tanggal dan waktu pembuatan.



Gambar 4.5 Tampilan Proyek Saya

4.2 Penerapan Wave Function Collapse

Algoritma Wave Function Collapse (WFC) digunakan dalam aplikasi Terra Plan sebagai metode utama untuk menghasilkan tata letak maket perumahan secara prosedural. Algoritma ini digunakan setelah pengguna memasukkan

parameter desain pada halaman pengaturan, seperti ukuran grid, jumlah rumah, dan luas tanah. Parameter-parameter ini kemudian digunakan sebagai dasar untuk proses pembangkitan tata letak perumahan. Algoritma WFC bekerja dengan membagi area perumahan ke dalam bentuk grid. Setiap sel pada grid memiliki kemungkinan untuk ditempati oleh beberapa jenis objek atau tile. Objek yang digunakan dalam pembangkitan tata letak terdiri dari rumah, jalan, taman, fasilitas umum, dan lahan kosong. Pada tahap awal, setiap sel masih memiliki beberapa kemungkinan objek yang dapat ditempatkan.

Selanjutnya, sistem menerapkan aturan keterhubungan atau adjacency rules pada setiap objek. Aturan tersebut digunakan untuk menentukan jenis objek yang dapat ditempatkan pada posisi atas, bawah, kiri, dan kanan dari suatu tile. Dengan adanya aturan ketetanggaan tersebut, proses pembangkitan tata letak tidak dilakukan secara acak, tetapi tetap mempertahankan hubungan antarobjek sesuai dengan rancangan sistem. Sebagai contoh, objek rumah dapat ditempatkan berdekatan dengan jalan agar membentuk akses menuju kawasan perumahan. Tile jalan dapat dihubungkan dengan tile jalan lainnya untuk membentuk jalur. Sementara itu, taman, fasilitas umum, dan lahan kosong ditempatkan berdasarkan kemungkinan dan aturan yang telah ditentukan pada sistem.

4.2.1 Contoh Perhitungan Algoritma Wave Function Collapse

Sebagai contoh penerapan algoritma Wave Function Collapse, digunakan sebuah grid sederhana berukuran 3×3 . Setiap sel memiliki kemungkinan untuk ditempati oleh beberapa jenis objek perumahan, yaitu:

R = Rumah

J = Jalan

T = Taman

F = Fasilitas umum

Pada kondisi awal, seluruh sel memiliki kemungkinan tile yang sama

Sel	Kemungkinan Tile	Jumlah Kemungkinan
(1,1)	R, J, T, F	4
(1,2)	R, J, T, F	4
(1,3)	R, J, T, F	4
(2,1)	R, J, T, F	4
(2,2)	R, J, T, F	4
(2,3)	R, J, T, F	4
(3,1)	R, J, T, F	4
(3,2)	R, J, T, F	4
(3,3)	R, J, T, F	4

1. Perhitungan Entropy

Pada kondisi awal, setiap sel memiliki empat kemungkinan tile. Nilai entropy dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$H = \ln(n)$$

dengan:

H = nilai entropy

n = jumlah kemungkinan tile

Karena setiap sel memiliki 4 kemungkinan:

$$H = \ln(4)$$

$$H = 1,386$$

Jadi, pada kondisi awal:

$$H(1,1) = H(1,2) = H(3,3) = 1,386$$

Karena seluruh sel memiliki entropy yang sama, sistem dapat memilih salah satu sel. Misalnya, sistem memilih sel (2,2).

2. Proses Collapse Pertama

Sel (2,2) dipilih dan dilakukan proses collapse.

Sebelum collapse:

$$(2,2) = \{R, J, T, F\}$$

Misalnya, berdasarkan proses pemilihan pada sistem, tile yang terpilih adalah

Jalan (J). Setelah collapse:

$$(2,2) = \{J\}$$

Jumlah kemungkinan berubah dari: $4 \rightarrow 1$

Nilai entropy setelah collapse:

$$H = \ln(1)$$

$$H = 0$$

Dengan demikian:

Sel	Sebelum	Sesudah	Entropy
(2,2)	R, J, T, F	J	0

3. Proses Propagation

Setelah sel tengah menjadi Jalan (J), sistem melakukan propagation ke sel yang berada di sekitarnya.

Sel yang berhubungan langsung dengan sel (2,2) adalah: (1,2), (2,1), (2,3), (3,2)

Misalnya, berdasarkan aturan ketetanggaan yang digunakan dalam contoh ini, Jalan dapat berhubungan dengan: $J \rightarrow \{R, J, F\}$ Artinya, Taman (T) dihilangkan dari kemungkinan sel yang bertetangga langsung dengan Jalan. Sebelum propagation: $\{R, J, T, F\}$, Setelah propagation: $\{R, J, F\}$ Jumlah kemungkinan: $n = 3$ Nilai entropy:

$$H = \ln(3)$$

$$H = 1,099$$

Sehingga hasil propagation pertama adalah:

Sel	Kemungkinan Awal	Kemungkinan Setelah Propagation	Entropy
(1,2)	R, J, T, F	R, J, F	1,099
(2,1)	R, J, T, F	R, J, F	1,099
(2,3)	R, J, T, F	R, J, F	1,099
(3,2)	R, J, T, F	R, J, F	1,099

Sedangkan sel yang tidak berhubungan langsung dengan sel (2,2) masih memiliki empat kemungkinan dengan entropy sebesar 1,386.

4. Pemilihan Sel dengan Entropy Terendah

Setelah propagation, sistem mencari sel dengan entropy paling rendah yang belum mengalami collapse. Perbandingan nilai entropy : $H(2,2) = 0$ Sel yang telah collapse tidak dipilih kembali. Sel tetangga: $H = 1,099$, Sel lainnya: $H = 1,386$

Maka sistem memilih salah satu sel dengan entropy 1,099. Misalnya, sistem memilih sel (1,2). Kemungkinan pada sel tersebut:

$$(1,2) = \{R, J, F\}$$

Kemudian dilakukan proses collapse. Misalnya tile yang dipilih adalah Rumah:

$$(1,2) = \{R\}$$

Entropy setelah collapse: $H = \ln(1) = 0$

5. Propagation Kedua

Setelah sel (1,2) menjadi Rumah, sistem kembali melakukan propagation ke sel yang berada di sekitarnya. Misalnya, aturan dalam contoh perhitungan menyatakan:

$$R \rightarrow \{R, J, T\}$$

Artinya, fasilitas umum (F) tidak dapat menjadi kemungkinan pada sel yang berhubungan langsung dengan rumah berdasarkan aturan contoh tersebut.

Jika sebelumnya salah satu sel memiliki kemungkinan: $\{R, J, F\}$. Maka setelah propagation menjadi: $\{R, J\}$, Jumlah kemungkinan sekarang: $n = 2$

Entropy: $H = \ln(2) \quad H = 0,693$. Dengan demikian, entropy terus berkurang: $1,386 \rightarrow 1,099 \rightarrow 0,693 \rightarrow 0$. Proses tersebut menunjukkan bahwa semakin sedikit kemungkinan tile pada sebuah sel, semakin rendah nilai entropy-nya.

6. Hasil Proses Perhitungan

Proses pemilihan sel, collapse, dan propagation dilakukan secara berulang sampai setiap sel hanya memiliki satu kemungkinan tile. Sebagai ilustrasi, hasil akhir grid dapat berbentuk:

	Kolom 1	Kolom 2	Kolom 3
Baris 1	T	R	T
Baris 2	R	J	F
Baris 3	T	J	R

Secara sederhana dapat dituliskan:

$$\begin{bmatrix} T & R & T \\ R & J & F \\ T & J & R \end{bmatrix}$$

Secara sederhana dapat dituliskan: $n = 1$ Maka: $H = \ln(1) = 0$. Artinya, seluruh grid telah mengalami proses collapse dan tata letak telah selesai dibangkitkan. Berdasarkan contoh perhitungan tersebut, penerapan algoritma Wave Function Collapse pada aplikasi Terra Plan dilakukan dengan menentukan kemungkinan objek pada setiap sel grid. Sistem kemudian memilih sel berdasarkan jumlah kemungkinan atau nilai entropy terendah. Sel yang dipilih mengalami proses collapse, kemudian hasilnya disebarkan ke sel-sel di sekitarnya melalui proses propagation.

Tahapan tersebut dilakukan secara berulang hingga seluruh sel memiliki satu kemungkinan tile. Hasil akhir berupa susunan objek perumahan kemudian diterjemahkan menjadi model tiga dimensi dan divisualisasikan dalam aplikasi Terra Plan berbasis Augmented Reality. Ini sejalan dengan alur skripsi Anda bahwa setelah pengguna menekan Generate, sistem menjalankan proses entropy, collapse, dan propagation hingga tata letak maket 3D terbentuk.

4.3 Spesifikasi Perangkat Keras (*Hardware*)

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi sebagai alat utama untuk menjalankan proses perancangan, implementasi, pengujian, dan deployment aplikasi. Spesifikasi perangkat keras dipilih agar Unity Engine, Vuforia SDK, dan proses rendering objek tiga dimensi dapat dijalankan dengan lancar tanpa mengurangi kinerja. Selain itu, perangkat keras harus mampu

menjalankan proses komputasi algoritma Pengurangan Fungsi Wave, yang membutuhkan proses perhitungan entropy, propagation constraint, dan pembentukan tata letak secara prosedural. Spesifikasi perangkat keras yang digunakan selama proses pengembangan aplikasi ditunjukkan dalam tabel berikut :

Tabel 4.1 Tabel Spesifikasi Hardware

Komponen	Spesifikasi
Processor	Nvidia Geforce GTX 460
RAM	2 GB
VGA	NVIDIA GeForce GTX 1650 4 GB
Penyimpanan	SSD 128 GB
Sistem Operasi	Windows XP, vista 7, or 10

Unity digunakan sebagai platform utama untuk membangun aplikasi karena menyediakan dukungan yang lengkap terhadap pengembangan aplikasi berbasis Augmented Reality

4.4 Perangkat Pengujian (Testing Device)

Karena aplikasi dijalankan pada perangkat Android, sebaiknya tambahkan spesifikasi perangkat pengujian sebagai berikut.

Komponen	Spesifikasi
Sistem Operasi	Android 14
RAM	8 GB
Penyimpanan	60 MB

Tabel 4.2 Tabel Spesifikasi Testing Device Pengguna

Kamera	50 MP
Dukungan AR	Google ARCore Supported

4.5 Hasil Pengujian Usability

Setelah menguji semua fitur aplikasi Terra Plan, pengujian usability dilakukan untuk mengetahui seberapa mudah menggunakannya untuk pengguna. Setiap orang yang disurvei diminta untuk menggunakan aplikasi terlebih dahulu sebelum menilai lima elemen yang disusun berdasarkan kebutuhan fungsional sistem. Untuk menilai, skala Likert diberi nilai dari 1 hingga 5; nilai tertinggi menunjukkan tingkat kepuasan yang lebih tinggi atau penilaian yang lebih baik. Faktor-faktor yang dievaluasi termasuk kemudahan penggunaan dan fungsi aplikasi, kemudahan pengoperasian, kejelasan tampilan model rumah, dan keberhasilan penampilan objek tiga dimensi pada marker yang dipindai.

Tabel 4.3 Tabel Rekapitulasi Hasil Kuesioner

No	Aspek yang Dinilai	Total Skor	Rata-rata
1	Kemudahan menggunakan aplikasi	61	4,07
2	Fungsi aplikasi berjalan dengan baik	60	4,00
3	Kemudahan mengoperasikan aplikasi	61	4,07
4	Kejelasan tekstur model rumah	62	4,13
5	Objek 3D muncul sesuai marker	67	4,47
Total	Seluruh Pertanyaan	311	4,15

Perhitungan Skala Likert : Jumlah responden = 15 orang, Jumlah pertanyaan = 5
 Skor maksimum setiap pertanyaan = 5, Sehingga skor maksimum keseluruhan

adalah Skor Maksimum = $15 \times 5 \times 5 = 375$ Sedangkan total skor yang diperoleh berdasarkan hasil kuesioner adalah 311. Maka persentase usability dihitung menggunakan rumus :

$$\text{Persentase} = \frac{\text{Total Skor}}{\text{Skor Maksimum}} \times 100\%$$

Substitusi nilai $\frac{311}{375} \times 100 = 82,93\%$

4.6 Analisis Hasil

Aplikasi Terra Plan menerima skor sebesar 311 dari total 375 dalam pengujian usability yang dilakukan terhadap lima belas orang. Ini menghasilkan tingkat usability sebesar 82,93% dan termasuk ke dalam kategori Sangat Baik, yang menunjukkan bahwa aplikasi telah mampu memenuhi kebutuhan pengguna dalam hal kemudahan penggunaan, fungsi sistem, kemudahan pengoperasian, kualitas visual objek tiga dimensi, dan keberhasilan aplikasi. Pertanyaan tentang keberhasilan objek tiga dimensi yang muncul sesuai marker yang dipindai memperoleh nilai rata-rata tertinggi, yaitu 4,47, berdasarkan hasil penilaian pada setiap aspek. Hal ini menunjukkan bahwa fitur Augmented Reality yang menjadi fokus penelitian dapat berfungsi dengan baik pada perangkat Android yang digunakan dalam pengujian. Pengguna dapat melihat bagaimana proses identifikasi marker berjalan dengan cepat dan objek virtual dapat ditampilkan secara stabil pada permukaan yang dikenali oleh sistem.

Meskipun demikian, aspek kejelasan tekstur model rumah memperoleh nilai rata-rata 4,13, yang menunjukkan bahwa responden menganggap tampilan visual model tiga dimensi cukup baik. Namun, beberapa responden masih memberikan nilai "cukup mudah", yang berarti bahwa kualitas tekstur, pencahayaan, dan detail

objek harus diperbaiki dalam penelitian selanjutnya. Dalam hal kemudahan penggunaan dan pengoperasian aplikasi, masing-masing aplikasi memperoleh rata-rata 4,07. Hasil ini menunjukkan bahwa antarmuka yang dirancang telah memungkinkan pengguna menggunakan aplikasi tanpa mengalami kesulitan yang signifikan. Menurut responden, pengalaman penggunaan menu yang baik karena strukturnya yang sederhana dan mudah digunakan.

Aspek fungsi aplikasi berjalan dengan baik, mendapatkan rata-rata 4,00, menunjukkan bahwa semua fitur utama aplikasi, seperti proses membuat desain menggunakan algoritma Wave Function Collapse, penyimpanan proyek, visualisasi maket, dan interaksi dengan objek tiga dimensi, telah berjalan sesuai dengan kebutuhan sistem yang dirancang. Secara keseluruhan, hasil pengujian usability Terra Plan menunjukkan bahwa aplikasi itu memenuhi semua kebutuhan pengguna dan membuat mereka sangat puas. Aplikasi ini layak digunakan sebagai media visualisasi desain maket perumahan berbasis Augmented Reality, dengan persentase usability 82,93%. Ini juga mendukung penggunaan algoritma Wave Function Collapse dalam proses membuat tata letak perumahan secara prosedural.

4.7 Hasil Pengujian Kinerja Augmented Reality

Pengujian kinerja Augmented Reality dilakukan untuk mengetahui kemampuan aplikasi dalam mendeteksi permukaan atau marker serta menampilkan objek tiga dimensi hasil pembangkitan tata letak perumahan. Pengujian dilakukan dengan memperhatikan beberapa kondisi penggunaan, seperti jarak kamera terhadap permukaan, kondisi pencahayaan, dan perubahan sudut kamera. Pengujian tersebut dilakukan untuk mengetahui kestabilan objek virtual ketika ditampilkan pada lingkungan nyata. Berdasarkan hasil pengujian,

proses deteksi permukaan atau marker menjadi tahap awal sebelum objek tiga dimensi ditampilkan. Setelah target berhasil dikenali, sistem menempatkan model tiga dimensi pada posisi yang telah ditentukan. Pengguna kemudian dapat melihat model melalui kamera perangkat dan melakukan interaksi terhadap objek menggunakan fitur yang tersedia.

Tabel 4.4 Tabel Pengujian Kinerja Augmented Reality

No.	Aspek yang Diuji	Kondisi Pengujian	Hasil Pengujian	Status
1	Kecepatan deteksi	Kamera diarahkan ke marker/permukaan yang telah ditentukan	Marker/permukaan berhasil dideteksi dan objek dapat ditampilkan setelah proses deteksi	Berhasil
2	Kecepatan deteksi	Jarak kamera ± 30 cm dari marker	Marker dapat dikenali dan objek 3D muncul	Berhasil
3	Kecepatan deteksi	Jarak kamera ± 50 cm dari marker	Marker masih dapat dikenali dan objek 3D dapat ditampilkan	Berhasil
4	Kemunculan objek	Marker terdeteksi oleh kamera	Objek 3D tata letak perumahan muncul pada posisi marker	Berhasil
5	Kemunculan objek	Marker tidak terdeteksi	Objek 3D tidak ditampilkan sampai marker berhasil dikenali	Berhasil
6	Stabilitas	Kamera dalam posisi	Objek 3D tetap berada	Berhasil

	objek	relatif tetap	pada posisi yang telah ditentukan	
7	Stabilitas objek	Kamera digerakkan ke arah kiri dan kanan	Objek tetap mengikuti posisi target dan dapat diamati dari sudut berbeda	Berhasil
8	Akurasi posisi	Marker terdeteksi dari posisi normal	Objek 3D ditempatkan sesuai dengan posisi marker	Berhasil
9	Akurasi posisi	Kamera diarahkan dari sudut berbeda	Objek tetap berada pada area target dan dapat diamati dari berbagai sudut	Berhasil
10	Rendering objek	Model 3D ditampilkan melalui kamera	Model rumah, jalan, taman, dan fasilitas lainnya dapat divisualisasikan	Berhasil
11	Rendering objek	Pengguna melakukan rotasi/zoom	Objek dapat diamati dengan interaksi yang tersedia pada aplikasi	Berhasil
12	Kinerja visual	Seluruh tata letak ditampilkan dalam AR	Objek tiga dimensi dapat ditampilkan secara bersamaan sesuai hasil pembangkitan layout	Berhasil

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai Penerapan Algoritma Wave Function Collapse untuk Pembuatan Desain Maket Perumahan Prosedural Berbasis Augmented Reality, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Algoritma Wave Function Collapse (WFC) dapat digunakan secara prosedural untuk menghasilkan desain tata letak maket perumahan. Algoritma WFC menggunakan aturan ketetanggaan, atau aturan ketetanggaan, pada setiap objek perumahan, termasuk rumah, jalan, taman, dan fasilitas umum. Sebagai hasil dari tahapan pemilihan sel yang didasarkan pada nilai entropy, collapse, dan propagation, proses pembangkitan dilakukan. Dengan demikian, sistem dapat menghasilkan perubahan tata letak perumahan secara otomatis sesuai dengan parameter yang diberikan pengguna.
2. Dengan teknologi Augmented Reality yang digunakan oleh Unity dan AR, hasil desain tata letak yang dihasilkan oleh algoritma WFC dapat dilihat secara langsung melalui perangkat Android. Mereka juga dapat berinteraksi dengan objek maket tiga dimensi dengan memutar, memperbesar, dan memperkecilnya, sehingga mereka dapat melihat desain perumahan.
3. Aplikasi Terra Plan memiliki kemampuan untuk melaksanakan fungsi-fungsi utama sistem sesuai dengan kebutuhan yang telah dirancang. Pengujian Black Box menunjukkan bahwa fungsi-fungsi penting seperti menu utama, proses

membuat layout, AR View, rotasi objek, dan zoom dapat berjalan dengan baik. Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi dapat mengintegrasikan desain WFC dan visualisasi AR.

4. Hasil pengujian usability menunjukkan bahwa aplikasi Terra Plan sangat mudah digunakan. Pengujian dilakukan terhadap lima belas orang yang menjawab dengan menggunakan skala Likert yang terdiri dari lima elemen evaluasi. Dengan 311 poin dari 375 total, dengan nilai rata-rata 4,15 dan persentase usability 82,93%, itu berada di kategori Sangat Baik.

5. Salah satu komponen dengan hasil penilaian terbaik adalah fitur augmented reality. Seperti yang ditunjukkan oleh nilai rata-rata 4,47 yang diterima oleh aspek objek 3D yang muncul sesuai marker, proses deteksi dan tampilan objek virtual dalam dunia nyata dapat berjalan dengan baik pada perangkat pengujian.

6. Secara keseluruhan, penelitian ini menghasilkan aplikasi Terra Plan sebagai media visualisasi desain maket perumahan berbasis AR yang menggabungkan algoritma Wave Function Collapse dengan model tiga dimensi. Aplikasi ini dapat menjadi alternatif media visualisasi digital yang lebih interaktif dan fleksibel untuk menampilkan berbagai desain tata letak perumahan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan aplikasi dan penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Aturan algoritma WFC perlu diperbarui. Sehingga variasi tata letak yang dihasilkan menjadi lebih beragam dan dapat menggambarkan kondisi kawasan perumahan yang lebih kompleks, penelitian selanjutnya dapat memasukkan lebih banyak jenis objek dan aturan adjacency.

2. Model tiga dimensi dapat diperbaiki. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kualitas tekstur, pencahayaan, detail model, dan tampilan objek tiga dimensi dapat ditingkatkan untuk membuat visualisasi maket lebih realistis. Akibatnya, aspek kejelasan tekstur model rumah memperoleh nilai rata-rata 4,13.
3. Sangat penting untuk mengoptimalkan kinerja aplikasi. Agar aplikasi dapat berjalan dengan lancar pada berbagai perangkat Android, pengembangan lanjutan dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya perangkat, terutama ketika ukuran grid dan jumlah objek meningkat. Ini termasuk optimalisasi model 3D, penggunaan tekstur yang lebih efektif, dan pengelolaan proses generate.
4. Perangkat yang terkait dapat diperluas. Penelitian ini melakukan pengujian menggunakan perangkat Android yang mendukung teknologi AR. Untuk mengetahui seberapa kompatibel aplikasi dengan berbagai kondisi perangkat, penelitian selanjutnya harus menguji aplikasi pada berbagai jenis perangkat dan spesifikasi.
5. Aplikasi dapat dikembangkan lebih lanjut untuk mencakup fitur seperti pengaturan jenis rumah, variasi fasilitas umum, jalan, taman, ukuran lahan yang lebih fleksibel, dan pilihan tema atau konsep perumahan untuk memberi pengguna lebih banyak pilihan untuk mendesain.
6. Untuk mendapatkan hasil yang lebih luas tentang aplikasi, pengujian pengguna dapat dilakukan dengan jumlah dan jenis responden yang lebih beragam. Penelitian lanjutan dapat melibatkan lebih banyak responden, khususnya calon pengguna dari industri arsitektur, perencanaan perumahan, pengembang properti, dan masyarakat umum.

DAFTAR PUSTAKA

- Apandi, A. (2022). AUGMENTED REALITY MAKET PERUMAHAN MUTIARA CITAYAM MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK UNITY. *JTS*, 1(2).
- Asry, A. I. (2019). *Penerapan Augmented Reality dengan Metode Marker Based Tracking pada Maket Rumah Virtual* (Vol. 1, Number 2).
- Fahmizher, M., & Hartono, R. (n.d.). PEMBUATAN APLIKASI DENAH BERBASIS AUGMENTED REALITY (AR) MODEL MARKER BASIC TRACKING MENGGUNAKAN METODE MDLC. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 11(3), 2830–7062.
<https://doi.org/10.23960/jitet.v11i3%20s1.3550>
- Febryan, F., & Abdurrahman, L. (2026a). Analisis Algoritma Wave Function Collapse sebagai Metode Prosedural Generator untuk Pembuatan Medan Permainan Digital. *Blend Sains Jurnal Teknik*, 4(4), 678–684.
<https://doi.org/10.56211/blendsains.v4i4.1405>
- Febryan, F., & Abdurrahman, L. (2026b). Analisis Algoritma Wave Function Collapse sebagai Metode Prosedural Generator untuk Pembuatan Medan Permainan Digital. *Blend Sains Jurnal Teknik*, 4(4), 678–684.
<https://doi.org/10.56211/blendsains.v4i4.1405>
- Khatib Sulaiman, J., Yuan Saputra, E., Ali Romli, M., & Teknologi Yogyakarta, U. (n.d.). Pengembangan Media Pembelajaran Sistem Sendi Berbasis Augmented Reality Menggunakan Metode Marker Based Tracking Pada Perangkat Android. *Indonesian Journal of Computer Science Attribution*, 12(6), 2023–3758.

- Khoirul Umri, B., Pangestu, A., Wibowo, A., Palendya, G., Widyananda, T., Indah, A., Nugraheni, D., & Hafizh, M. I. (2023). PENERAPAN TEKNOLOGI AUGMENTED REALITY DALAM VISUALISASI ARSITEKTUR BERBASIS ANDROID. In *JINTEKS* (Vol. 5, Number 4).
- Kim, H., Hahn, T., Kim, S., & Kang, S. (2020). Graph based wave function collapse algorithm for procedural content generation in games. *IEICE Transactions on Information and Systems*, *E103D*(8), 1901–1910. <https://doi.org/10.1587/transinf.2019EDP7295>
- Mudhoffar, A., & Puspitasari, N. F. (2018). *Visualisasi Perumahan Akademi Militer Panca Arga Magelang Berbasis 3D*.
- Nugroho, A., Studi, P., Informatika, T., Dinamika Bangsa, S., Jendral, J. J., & Thehok -Jambi, S. (2016). PENGEMBANGAN MODEL KARAKTER INTERAKTIF 3D BERBASIS MULTIMEDIA MENGGUNAKAN GAME ENGINE. In *Jurnal Ilmiah Media Processor* (Vol. 11, Number 2).
- Rahmat, R., & Noviyanti, N. (2021). Augmented Reality untuk Materi Bangun Ruang Menggunakan Unity 3D, Vuforia SDK dan Aplikasi Blender. *JURNAL TIKA*, *5*(3), 86–92. <https://doi.org/10.51179/tika.v5i3.59>
- Roedavan, R., Leman, A. P., & Putri, S. G. (2025). *A Framework for Developing Augmented Reality Applications Based on the Multimedia Development Life Cycle (MDLC)*. *16*(1).
- Sahputra Depari, A., Sitepu, R., Faza Fadia, A., & Aulia Putri, A. (2024). *Penerapan Augmented Reality dalam Desain Arsitektur Sebagai Upaya Keberlanjutan di Dunia Konstruksi*. *23*(2).
- Scurti, H., & Verbrugge, C. (2018). *Generating Paths with WFC*. www.aaai.org

- Wang, J., & Zeng, W. (2019a). Research on the realization method of augmented reality based on unity3d. *Journal of Robotics, Networking and Artificial Life*, 6(3), 195–198. <https://doi.org/10.2991/jrnal.k.191203.004>
- Wang, J., & Zeng, W. (2019b). Research on the realization method of augmented reality based on unity3d. *Journal of Robotics, Networking and Artificial Life*, 6(3), 195–198. <https://doi.org/10.2991/jrnal.k.191203.004>
- Wheeler, G., Deng, S., Toussaint, N., Pushparajah, K., Schnabel, J. A., Simpson, J. M., & Gomez, A. (2018). Virtual interaction and visualisation of 3D medical imaging data with VTK and unity. *Healthcare Technology Letters*, 5(5), 148–153. <https://doi.org/10.1049/htl.2018.5064>
- Wibowo, R., Hariyanto, R., & Widodo, A. A. (2020). PENERAPAN AUGMENTED REALITY SEBAGAI PEMBELAJARAN KONEKSI JARINGAN. *Jurnal Terapan Sains & Teknologi*, 2(4).