

TESIS

**IMPLEMENTASI DIGITAL KONSTRUKSI
DI ERA REVOLUSI INDUSTRI 4.0 MENGGUNAKAN
TEKNOLOGI *AUGMENTED REALITY* UNTUK
MENENTUKAN KOORDINAT BANGUNAN GEDUNG**

Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Mencapai Gelar Magister Teknik (MT)



Oleh :

ARIF WIDAYANTO

NIM : 20201900012

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG
2023**

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

**IMPLEMENTASI DIGITAL KONSTRUKSI DI ERA
REVOLUSI INDUSTRI 4.0 MENGGUNAKAN
TEKNOLOGI *AUGMENTED REALITY* UNTUK
MENENTUKAN KOORDINAT BANGUNAN
GEDUNG**

Disusun oleh :

**ARIF WIDAYANTO
NIM : 20201900012**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Tanggal, 7 September 2023
Pembimbing I,

Tanggal, 7 September 2023
Pembimbing II,


Prof. Dr. Ir. Antonius, MT
NIK. 210202033


Ir. M. Fauqun Ni'am, MT, Ph.D
NIK. 210296020

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

**IMPLEMENTASI DIGITAL KONSTRUKSI DI ERA
REVOLUSI INDUSTRI 4.0 MENGGUNAKAN TEKNOLOGI
AUGMENTED REALITY UNTUK MENENTUKAN
KOORDINAT BANGUNAN GEDUNG**

**Disusun oleh :
ARIF WIDAYANTO
NIM : 20201900012**

**Dipertahankan di Depan Tim Penguji Tanggal :
30 Agustus 2023**

Tim Penguji :

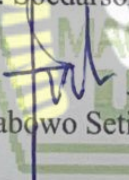
1. Ketua


(Prof. Dr. Ir. Antonius, MT)

2. Anggota


(Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si)

3. Anggota


(Ir. H. Prabowo Setiawan, MT., Ph.D)

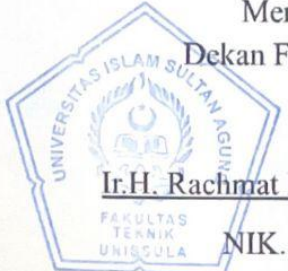
**Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik (MT)**

Semarang, 7 September 2023

**Mengetahui,
Ketua Program Studi,**


Prof. Dr. Ir. Antonius, MT
NIK. 210202033

**Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik,**


Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT, Ph.D
NIK. 210293018

MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ
وَلَوْ أَمَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ ۚ مِنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ

Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Diantara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik.

(QS. Ali 'Imran:110)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ ۞ فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۞ إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۞
فَإِذَا فَرَغْتَ فَانصَبْ ۞

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada ALLAH SWT lah engkau berharap”

(QS. Al-Inshirah:6-8)

إِنَّ اللَّهَ لَا يُغَيِّرُ مَا بِقَوْمٍ حَتَّىٰ يُغَيِّرُوا مَا بِأَنْفُسِهِمْ

“Sesungguhnya Allah tidak merubah keadaan suatu kaum sehingga mereka merubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri”

(QS. Ar Ra'd : 11)

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا إِذَا قِيلَ لَكُمْ تَفَسَّحُوا فِي الْمَجَالِسِ فَافْسَحُوا يَفْسَحِ اللَّهُ لَكُمْ ۚ وَإِذَا قِيلَ
انشُرُوا فَاَنْشُرُوا يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ ۚ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ

Wahai orang-orang yang beriman! Apabila dikatakan kepadamu, “Berilah kelapangan di dalam majelis-majelis,” maka lapangkanlah, niscaya Allah akan memberi kelapangan untukmu.

(QS. Al-Mujadalah:11)

PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur dan senyum bangga Penulis mempersembahkan karya tulis ini untuk orang – orang yang selalu ikhlas membimbing saya dengan kasih sayang dan ketulusan hatinya, sehingga Penulis dapat menyelesaikan tesis ini :

1. Untuk orang tua saya, Bapak Alm. Suprpto dan Ibu Suparmi yang selalu mendoakan, memberikan dukungan dan semangat, serta mencurahkan kasih sayangnya hingga saya berada di titik ini.
2. Bapak dan Ibu mertua, Bpk Sudjarwo dan Ibu Endang Sulistyowati yang juga selalu mendoakan, memberikan dukungan, hingga Tesis ini selesai dikerjakan.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, MT selaku Dosen Pembimbing 1 saya, yang selama ini menerima saya menjadi mahasiswa bimbingannya dengan baik. Terima kasih atas segala perjuangan, bantuan, motivasi, dorongan semangat, serta segala fasilitas yang diberikan kepada saya sehingga saya dapat menyelesaikan penelitian Tesis saya dengan lancar.
4. Bapak Ir. M. Faiqun Ni'am, MT, Ph.D selaku dosen pembimbing 2 saya, yang selama ini membimbing saya dengan baik, sabar, dan selalu memberikan pengarahan dan masukan yang terbaik sehingga saya dapat menyelesaikan Tesis ini dengan lancar.
5. Istriku tercinta dan terkasih Dyah Perdhani yang tidak henti-hentinya memberikan dorongan semangat disetiap bangun tidur sampai menjelang tidur untuk selalu bisa fokus menyelesaikan Studi Magister. Selalu menemani dalam mengerjakan Studi .
6. Anakku tersayang Vania Kaylanisa Widayanto dan Muhammad Al Fatih Widayanto yang menemani dan memberikan keceriaan, serta semua Keluarga Besar yang senantiasa memberikan doa dan dorongan semangat untuk menyelesaikan Tesis ini, saya ucapkan terima kasih.
7. Teman-teman HN Huda Eka Praja dan M Taufan Putra yang sudah mendoakan, mendukung dan membantu selama penyusunan Tesis ini saya ucapkan terima kasih.

ABSTRAK

Revolusi Industri 4.0 merupakan topik yang cukup banyak dibicarakan, yang mengharuskan kita memanfaatkan teknologi digital untuk memudahkan pekerjaan manusia tak terkecuali pada bidang Konstruksi. Pada bidang Konstruksi sendiri sudah menerapkan *Building Information Modeling* (BIM) sebagai acuan dalam pembuatan Konstruksi. Sedangkan dari segi teknologi nya ada *Augmented Reality* yang membawa model 3D ke dunia nyata. Pengembangan *Augmented Reality* untuk mempermudah pekerjaan Konstruksi ini akan sangat membantu, sehingga dapat mempercepat proses awal Konstruksi. Oleh karena itu Penulis melakukan penelitian ini dengan tujuan untuk mengetahui ketepatan koordinat dari implementasi teknologi *Augmented Reality* dalam kurun waktu tertentu.

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dengan menggunakan data desain 3D *Pile Cap* bangunan Rumah Menter IKN dan Kantor Solo - Jogja. Masing-masing desain diambil total 74 dan 68 titik koordinat untuk diteliti galat yang dihasilkan dari implementasi menggunakan teknologi AR. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah masing-masing memiliki tingkat galat sebesar 0,6148648649 untuk rumah menteri IKN dan 0,6102941177 yang mana masih di bawah 1% untuk standar maksimal galat.

Saran dari penulis adalah diharapkan dalam pengujian menggunakan obyek dengan skala penuh atau 1:1. Kemudian direkomendasikan untuk melakukan penambahan pengukuran seperti kontur, sehingga dapat diuji menggunakan 3 arah (x,y,z).

Kata Kunci : Ilmu Ukur Tanah, *Augmented Reality*, *Building Information Modeling*.



ABSTRACT

Industry Revolution 4.0 is a topic that has been widely discussed, requiring us to utilize digital technology to facilitate human tasks, including in the field of construction. In the field of construction itself, Building Information Modeling (BIM) has been implemented as a reference in construction creation. Meanwhile, in terms of technology, there is Augmented Reality that brings 3D models into the real world. The development of Augmented Reality to simplify construction work will be very helpful in accelerating the initial construction processes. Therefore, the Author conducted this research with the aim of determining the accuracy of coordinates from the implementation of Augmented Reality technology within a certain period.

This research employs a qualitative method by utilizing 3D design data of the Pile Cap of the Minister's Residence building at IKN and the Solo - Jogja Toll Road Office. In which each design consists of a total of 74 and 68 coordinate points, to examine the errors resulting from the implementation using AR technology. The results obtained from this research are errors measured at 0.6148648649 for the IKN Minister's residence and 0.6102941177 for the Solo - Jogja Toll Road Office, both of which are below 1% of the maximum error standard.

The Author's suggestion is to conduct testing using full-scale objects or 1:1 scale. Additionally, it is recommended to include additional measurements such as contours, allowing for testing in 3 dimensions (x, y, z).

Keywords : Surveying, Augmented Reality, Building Information Modeling.



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : ARIF WIDAYANTO

NIM : 20201900012

Dengan ini saya nyatakan bahwa Tesis yang berjudul :

**IMPLEMENTASI DIGITAL KONSTRUKSI DI ERA REVOLUSI
INDUSTRI 4.0 MENGGUNAKAN TEKNOLOGI *AUGMENTED
REALITY* UNTUK MENENTUKAN KOORDINAT BANGUNAN
GEDUNG**

Adalah benar hasil karya saya dan dengan penuh kesadaran bahwa saya tidak melakukan tindakan plagiasi atau mengambil alih seluruh atau sebagian besar karya tulis orang lain tanpa menyebutkan sumbernya. Jika saya terbukti melakukan tindakan plagiasi, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.

Semarang, 23 Agustus 2023

Materai

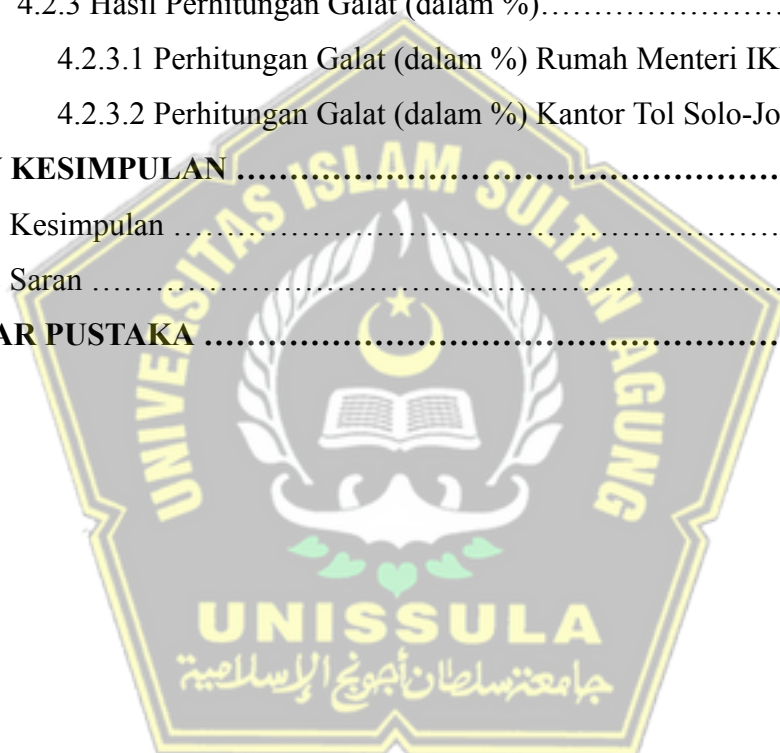
Arif Widayanto, S.T.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN TESIS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN TESIS.....	iii
HALAMAN MOTTO.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pengukuran dan Konsep Dasar <i>Surveying</i>	6
2.1.1 Prinsip-Prinsip <i>Surveying</i>	6
2.1.1 Pengukuran Dasar	7
2.1.1 Alat-Alat <i>Surveying</i>	7
2.1.1 Galat Dalam Pengukuran	8
2.1.1 Alat-Alat <i>Surveying</i>	8
2.2 Teknologi Visual	8
2.2.1 <i>Augmented Reality</i> (AR)	8
2.2.1.1 Komponen <i>Augmented Reality</i>	9
2.2.1.2 Prinsip Kerja <i>Augmented Reality</i>	10
2.2.1.3 <i>Marker Based Tracking</i>	11

2.2.2 <i>Virtual Reality</i> (VR)	11
2.2.2.1 Cara Kerja <i>Virtual Reality</i>	12
2.3 Teknologi <i>Building Information Modeling</i> (BIM)	13
2.4 Perbedaan AR dengan VR	14
2.4.1 Kelebihan <i>Augmented Reality</i>	14
2.4.1 Kelebihan <i>Virtual Reality</i>	15
2.5 Implementasi Teknologi AR di Bidang Konstruksi	15
BAB III METODE PENELITIAN	16
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	16
3.2 Obyek Penelitian	16
3.3 Peta Lokasi Penelitian	16
3.3.1 Lokasi Penelitian	16
3.3.1 Sistem Struktur Gedung	17
3.4 Alat Penelitian	18
3.5 Sistem Struktur Gedung Dasar	20
3.6 Nilai Acuan Searah Sumbu (X,Y)	21
3.7 Denah Bangunan	27
3.7.1 Denah bangunan Rumah Menteri IKN	26
3.7.2 Denah bangunan Kantor Tol Solo-Jogja	28
3.8 Tahapan Analisa	29
3.8.1 Diagram Alir Penelitian	29
3.8.2 Tahapan Prosedur	30
BAB IV HASIL PENELITIAN	33
4.1 Pengukuran Model Uji	33
4.1.1 Gambar Model 3D Pile Cap.....	33
4.1.1.1 Gambar Model 3D Pile Cap Rumah Menteri IKN.....	33
4.1.1.2 Gambar Model 3D Pile Cap Kantor Tol Solo-Jogja.....	33
4.1.2 Pengukuran Model Uji Secara Manual.....	34
4.1.2.1 Pengukuran Manual Rumah Menteri IKN.....	34
4.1.2.2 Pengukuran Manual Kantor Tol Solo-Jogja.....	35
4.1.3 Pengukuran Model Uji Menggunakan <i>Augmented Reality</i>	36
4.1.3.1 Pengukuran <i>Augmented Reality</i> Rumah Menteri IKN.....	36

4.1.3.2 Pengukuran Augmented Reality Kantor Tol Solo-Jogja....	36
4.2 Hasil Pengukuran.....	40
4.2.1 Hasil Pengukuran Galat.....	41
4.2.1.1 Hasil Pengukuran Galat Bangunan Rumah Menteri IKN.	41
4.2.1.2 Hasil Pengukuran Galat Bangunan Kantor Tol Solo-Jogja	60
4.2.2 Perhitungan Rata-Rata Galat.....	78
4.2.2.1 Perhitungan Rata-Rata Galat Rumah Menteri IKN.....	78
4.2.2.2 Perhitungan Rata-Rata Galat Kantor Tol Solo-Jogja.....	79
4.2.3 Hasil Perhitungan Galat (dalam %).	79
4.2.3.1 Perhitungan Galat (dalam %) Rumah Menteri IKN.....	79
4.2.3.2 Perhitungan Galat (dalam %) Kantor Tol Solo-Jogja.....	80
BAB V KESIMPULAN	81
5.1 Kesimpulan	81
5.2 Saran	81
DAFTAR PUSTAKA	82



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Komputer.....	19
Tabel 3.2 Spesifikasi <i>Smartphone</i>	20
Tabel 3.3 Ukuran Bangunan Rumah Menteri IKN.....	20
Tabel 3.4 Ukuran Bangunan Rumah Menteri IKN Skala 1 : 100.....	21
Tabel 3.5 Ukuran Bangunan Kantor Tol Solo-Jogja.....	21
Tabel 3.6 Ukuran Bangunan Kantor Tol Solo-Jogja Skala 1 : 100.....	21
Tabel 3.7 Nilai Acuan Searah Sumbu (X,Y) Bangunan Rumah Menteri IKN..	21
Tabel 3.8 Nilai Acuan Searah Sumbu (X,Y) Bangunan Kantor Tol Solo-Jogja.	24
Tabel 4.1 Hasil pengukuran bangunan ke-1 percobaan ke-1.....	41
Tabel 4.2 Hasil pengukuran bangunan ke-1 percobaan ke-2.....	44
Tabel 4.3 Hasil pengukuran bangunan ke-1 percobaan ke-3.....	47
Tabel 4.4 Hasil pengukuran bangunan ke-1 percobaan ke-4.....	50
Tabel 4.5 Hasil pengukuran bangunan ke-1 percobaan ke-5.....	53
Tabel 4.6 Hasil pengukuran bangunan ke-1 percobaan ke-6.....	56
Tabel 4.7 Hasil pengukuran bangunan ke-2 percobaan ke-1.....	60
Tabel 4.8 Hasil pengukuran bangunan ke-2 percobaan ke-2.....	63
Tabel 4.9 Hasil pengukuran bangunan ke-2 percobaan ke-3.....	66
Tabel 4.10 Hasil pengukuran bangunan ke-2 percobaan ke-4.....	69
Tabel 4.11 Hasil pengukuran bangunan ke-2 percobaan ke-5.....	72
Tabel 4.12 Hasil pengukuran bangunan ke-2 percobaan ke-6.....	74
Tabel 4.13 Hasil total perhitungan galat rumah menteri IKN.....	79
Tabel 4.14 Hasil total perhitungan galat Kantor Tol Solo-Jogja.....	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Alat-alat <i>surveying</i>	7
Gambar 2.2 <i>Augmented Reality</i>	9
Gambar 2.3 Cara kerja <i>Augmented Reality</i>	10
Gambar 2.4 Marker yang digunakan pada <i>Augmented Reality</i>	11
Gambar 2.5 Perangkat VR	12
Gambar 2.6 Cara kerja VR	13
Gambar 2.7 Komponen Pendukung BIM	14
Gambar 2.8 Perbedaan <i>Augmented Reality</i> dan <i>Virtual Reality</i>	15
Gambar 3.1 Lokasi Studi Kasus Penelitian Rumah IKN.....	17
Gambar 3.2 Lokasi Studi Kasus Penelitian Kantor Tol Solo-Jogja.....	17
Gambar 3.3 Kertas milimeter	18
Gambar 3.4 Kertas marker	19
Gambar 3.5 Ukuran denah gedung rumah IKN <i>polygon</i>	27
Gambar 3.6 Gambar 3D gedung rumah IKN <i>isometric</i>	28
Gambar 3.7 Ukuran denah Kantor Tol Solo - Jogja <i>polygon</i>	28
Gambar 3.8 Gambar 3D gedung Kantor Tol Solo - Jogja <i>isometric</i>	29
Gambar 3.9 Bagan Alir Penelitian.....	29
Gambar 3.10 Bagan Alir AR <i>construction</i>	30
Gambar 3.11 <i>Interface main menu</i>	31
Gambar 3.12 <i>Tool about</i>	31
Gambar 3.13 <i>Mode AR scene</i>	32
Gambar 4.1 Gambar <i>Pile Cap</i> rumah menteri IKN.....	33
Gambar 4.2 Gambar <i>Pile Cap</i> Kantor Tol Solo-Jogja.....	34
Gambar 4.3 Pengukuran acuan Rumah IKN.....	35
Gambar 4.4 Pengukuran acuan Kantor Tol Solo-Jogja.....	35
Gambar 4.5 Pengukuran menggunakan AR Bangunan ke-1 Pengujian ke-1.....	36
Gambar 4.6 Pengukuran menggunakan AR Bangunan ke-1 Pengujian ke-2.....	36
Gambar 4.7 Pengukuran menggunakan AR Bangunan ke-1 Pengujian ke-3.....	37
Gambar 4.8 Pengukuran menggunakan AR Bangunan ke-1 Pengujian ke-4.....	37

Gambar 4.9 Pengukuran menggunakan AR Bangunan ke-1 Pengujian ke-5.....	38
Gambar 4.10 Pengukuran menggunakan AR Bangunan ke-1 Pengujian ke-6.....	38
Gambar 4.11 Pengukuran menggunakan AR Bangunan ke-2 Pengujian ke-1.....	38
Gambar 4.12 Pengukuran menggunakan AR Bangunan ke-2 Pengujian ke-2.....	39
Gambar 4.13 Pengukuran menggunakan AR Bangunan ke-2 Pengujian ke-3.....	39
Gambar 4.14 Pengukuran menggunakan AR Bangunan ke-2 Pengujian ke-4.....	39
Gambar 4.15 Pengukuran menggunakan AR Bangunan ke-2 Pengujian ke-5.....	40
Gambar 4.16 Pengukuran menggunakan AR Bangunan ke-2 Pengujian ke-6.....	40
Gambar 4.17 Hasil perhitungan rata rata galat rumah menteri IKN.....	78
Gambar 4.18 Hasil perhitungan rata rata galat Kantor Tol Solo-Jogja.....	79



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Revolusi Industri belakangan ini menjadi topik yang cukup banyak dibicarakan, mulai dari tokoh nasional maupun internasional. Berbagai pernyataan seperti mengharuskan kita untuk bersiap menghadapi Revolusi Industri 4.0 dan memanfaatkannya sebaik mungkin agar tidak terkena dampak ruginya. Revolusi Industri sendiri dapat dikatakan perubahan besar terhadap cara memproduksi sesuatu. Perubahan besar ini sudah terjadi sebanyak tiga kali dan di setiap perubahan tersebut selalu diikuti hilangnya beberapa jenis pekerjaan lama dan digantikan oleh jenis pekerjaan yang baru.

Revolusi Industri membuat hal yang semula sulit, lama dan mahal dalam proses produksi menjadi lebih mudah, cepat dan murah. Revolusi Industri Pertama, kehadiran mesin uap pada sistem produksi sangat memudahkan pekerjaan dan secara signifikan menunjang sektor ekonomi. Revolusi Industri yang Kedua terjadi saat dikenalkannya energi listrik. Penggunaan energi listrik pada sektor produksi telah membentuk sebuah sistem baru yang disebut dengan produksi massal. Revolusi Industri Ketiga terjadi seiring dengan berkembangnya peralatan - peralatan elektronik. Penemuan komputer atau bermulanya inovasi teknologi dari perangkat mekanis dan analog hingga menjadi seperti sekarang, disebut sebagai Revolusi Digital. Dampak yang terjadi pada sektor Industri adalah dengan maraknya penggunaan sistem komputerisasi pada proses produksi.

Seperti Revolusi Industri yang telah terjadi sebelumnya, Revolusi Industri Keempat juga bertujuan untuk membuat proses produksi menjadi lebih mudah dan cepat. Revolusi Digital menjadi dasar berkembangnya Revolusi Industri 4.0, yaitu ketika orang - orang terhubung dengan teknologi. Kehadiran teknologi mampu menghapuskan batas - batas antara fisik, digital dan entitas biologis. Kemajuan jaringan internet yang berkembang pesat serta ditunjang perangkat elektronik yang canggih, memudahkan dalam mendapatkan dan memanfaatkan informasi. Sektor Industri sendiri telah berubah mulai dari kecenderungan digitalisasi, otomatisasi serta Penggunaan teknologi informasi dan inovasi (TIK). Perubahan tersebut ditunjang oleh beberapa sistem yaitu *technology of cyber-physical system*,

internet of things (IoT), cloud and cognitive computing. Kemajuan sektor Industri yang berbasis sistem - sistem tersebut dapat dideskripsikan sebagai Revolusi Industri 4.0.

Industri Konstruksi juga mengalami dampak dari Revolusi Industri, hal ini ditandai dengan Penggunaan teknologi informasi dalam setiap aspek pekerjaan. Pada Industri Konstruksi 4.0 terdapat tiga Pelaku utama yaitu Penyedia Teknologi, Penyedia Infrastruktur Digital serta Pengguna Teknologi dan Infrastruktur Industri 4.0, dengan tanggung jawab dan kewenangan masing – masing. Penerapan teknologi informasi (internet) sejak dari perencanaan, perancangan, penyelenggaraan, pemeliharaan, sampai pembangunan kembali merupakan suatu sistem yang masuk dalam Industri Konstruksi 4.0. Dengan menerapkan teknologi informasi diharapkan akan menciptakan manajemen proyek yang tepat biaya, tepat waktu dan tepat mutu. Digitalisasi juga mulai diterapkan pada proses pengadaan (*e-procurement*), *monitoring* dan pengawasan. (*e-monitoring & e-supervisi*) serta pasar digital sektor Konstruksi (*library data*). Pada saat ini, dikenal teknologi BIM (*Building Information Modelling*) yang dibuat secara digital dan mendukung seluruh fase desain, sehingga memungkinkan analisis yang lebih baik dari proses manual. Kemajuan daya komputerisasi pada Industri Konstruksi membuat teknik fabrikasi menjadi digital, sehingga dapat membuat kita lebih memahami obyek produk dan memangkas biaya serta kesalahan metode konvensional.

Perencanaan Konstruksi secara model-based *definition* atau sederhananya 3D model banyak diterapkan pada pekerjaan - pekerjaan Konstruksi di Indonesia, tetapi hal tersebut hanya dapat diakses dengan perangkat media dengan spesifikasi khusus dan hanya terbatas pada gambar visual yang dapat menampilkan informasi. Pada sektor manufaktur, tahapan ini sudah berkembang jauh lebih pesat yaitu menggunakan gabungan *model-based definition* dan teknologi *Augmented Reality* (AR) dalam proses produksinya. *Model-based definition* dan *Augmented Reality* merupakan kombinasi yang dapat meningkatkan efisiensi waktu ketelitian selama proses produksi. Keduanya memiliki peranan penting dalam Revolusi Industri 4.0. Kombinasi dari *model-based definition* dan *Augmented Reality* pada sektor manufaktur menghadirkan era baru dalam hal inspeksi, *quality control* dan

perawatan. Penggunaan *Augmented Reality* dapat memberikan gambaran 3D model (lengkap dengan dan kondisi *real time*) pada tempat yang diinginkan, yang nantinya akan ditimpa dengan wujud aslinya, sehingga meminimalisir cacat produksi dan waktu terbuang. Berkaca dari sektor manufaktur, Industri Konstruksi juga dapat menggunakan *Augmented Reality* pada pelaksanaannya, terutama karena Industri Konstruksi sendiri sudah menerapkan *model-based definition* atau bisa berupa BIM 3D. Tahapan pertama dalam pelaksanaan Konstruksi adalah menentukan titik koordinat bangunan, dimana saat ini untuk menentukan koordinat bangunan masih dilakukan secara konvensional. Penelitian ini bermaksud untuk mengembangkan teknologi *Augmented Reality* ke dalam tahap proses Konstruksi awal, yaitu penentuan koordinat bangunan. Dalam penentuan koordinat menggunakan *model-based definition* dan *Augmented Reality* yang nantinya diproyeksikan langsung pada aspek digitalisasi Industri Konstruksi mulai bergerak. Hal ini dapat dilihat melalui perkembangan *Building Information Modelling* (BIM), serta departemen 3D pada Industri besar di Asia.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, rumusan masalah penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana cara mengukur ketepatan *output* koordinat dari pemodelan pada teknologi *Augmented Reality*?
2. Berapa nilai galat untuk membuktikan bahwa teknologi *Augmented Reality* dapat diandalkan?

1.3. Tujuan Penelitian

Penulis melakukan penelitian ini dengan tujuan antara lain :

1. Dapat mengetahui hasil *output* koordinat model dari penerapan teknologi *Augmented Reality* beserta galatnya.
2. Dapat memperoleh metode baru dalam menentukan titik koordinat bangunan.

1.4. Batasan Masalah

Agar permasalahan dalam penelitian ini lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan penelitian, maka Peneliti membatasi masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Aplikasi *Augmented Reality* yang akan diterapkan adalah aplikasi yang menggunakan marker untuk menampilkan denah bangunan virtual dua dimensi (Sumbu X dan Y).
2. Kasus yang digunakan adalah kasus pemodelan konstruksi *Pile Cap* dua dimensi dengan skala 1 : 100.
3. Media pengukuran menggunakan kertas milimeter.
4. Marker yang digunakan adalah marker dengan warna abstrak.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat teoritis
Penelitian ini diharapkan menjadi sumber pengembangan ilmu pengetahuan di Bidang Teknik Sipil khususnya mengenai pengembangan dari output pemodelan yang dihasilkan dari BIM dan tentunya dengan semakin presisi Konstruksi yang dihasilkan maka perencanaan struktur gedung beton bertulang bertingkat yang tahan gempa dan efisien bisa dicapai.
2. Manfaat praktis
Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi atau sumber masukan untuk semua pihak dalam pengembangan lanjutan teknologi *Augmented Reality* ini untuk sampai pada produk teknologi yg bisa dipakai dalam proses konstruksi.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika dalam penulisan ini terdiri dari 3 (tiga) bab. Masing-masing bab memiliki keterkaitan antara satu dengan yang lainnya. Adapun sistematika penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

BAB I, : PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, maksud dan tujuan, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II, : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori yang berhubungan dengan *augmented reality*, *GPS based tracking* dan data pemetaan yang sangat diperlukan untuk memahami permasalahan pada penelitian.

BAB III, : METODE PENELITIAN

Bab ini berisi analisis dan rancangan arsitektur sistem, tampilan antarmuka, pengumpulan data pemetaan, serta metode yang digunakan pada aplikasi *Augmented Reality* yang akan dibangun.

BAB IV, : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang implementasi dari perancangan yang telah dijelaskan pada Bab 3. Selain itu, bab ini juga menjabarkan hasil pengujian dari implementasi yang telah dilakukan.

BAB V, : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi ringkasan dan kesimpulan dari rancangan sistem yang telah dibahas pada Bab 3, serta hasil penelitian yang dijelaskan pada Bab 4. Selain itu pada bab ini juga berisi saran-saran yang akan diajukan untuk pengembangan penelitian yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi daftar referensi yang digunakan dalam penulisan tesis ini.

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengukuran dan Konsep Dasar *Surveying*

Surveying dapat didefinisikan sebagai ilmu untuk menentukan posisi, dalam 3-dimensi suatu ruang alam dan/atau artifisial di atas maupun di bawah permukaan tanah. Hasil pengukuran direpresentasikan dalam peta kontur, gambar/skema rencana, dan bentuk digital sebagai digital *ground model* (DGM) (Purnaditya, 2021).

Dalam *engineering* khususnya teknik sipil, kegiatan *surveying* dibutuhkan dalam kegiatan perencanaan/desain dan konstruksi, baik untuk pekerjaan atas dan/atau bawah permukaan tanah. Lebih jauh lagi, *surveying* dilakukan untuk melakukan pengendalian dan pengecekan posisi elemen bangunan dalam Konstruksi, selain itu digunakan untuk melakukan *monitoring* seperti perubahan elemen struktur, Deformasi, perubahan kontur tanah, *cross section* sungai, dll.

2.1.1 Prinsip - Prinsip *Surveying*

Berikut ini adalah prinsip-prinsip dasar dalam *surveying* yang harus dikendalikan:

- a. Prinsip kontrol. Dalam hal ini *surveying* harus memiliki *framework* titik survey yang jelas. Titik *survey* sebagai referensi merujuk pada *survey station*. *Survey station* bisa berupa *reference monuments*. Kerap kali disebut sebagai titik BM atau *benchmark*. Dalam prinsip kontrol ini sangat menjunjung tinggi kepresisian pada hasil survey, lengkap, dan hasil tersebut dapat diandalkan (*reliable*). Hal ini akan didukung dengan alat yang baik, metode analisis yang sesuai kaidahnya dan data processing yang memberikan hasil presisi dan *reliable*.
- b. Prinsip ekonomis. Seperti dijelaskan bahwa, hasil *survey* harus presisi dan *reliable*, namun meskipun dilakukan dengan alat yang *sophisticated*, data processing yang *robust*, sistem yang digunakan sudah otomatis dan menggunakan tenaga yang terampil, tetap harus mempertimbangkan segi ekonomisnya.

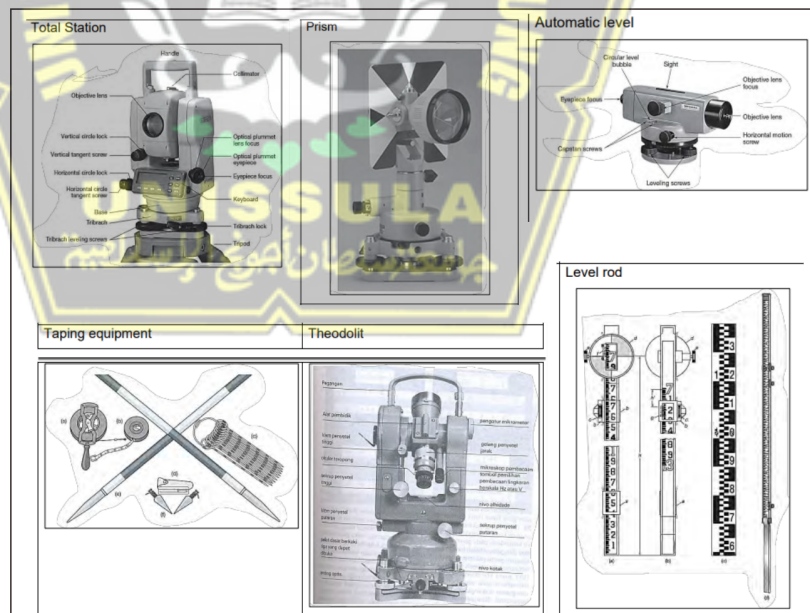
- c. Prinsip konsistensi. Menjaga kualitas baik dalam pelaksanaan *survey* dan kontrol wajib hukumnya untuk menjaga konsistensi hasil *survey* yang dilakukan.
- d. *Independent check*.
- e. *Safeguarding*.

2.1.2 Pengukuran Dasar

Surveying membutuhkan titik kontrol atau titik acuan dasar untuk menentukan posisi relatif dari titik-titik yang diukur. Dalam hal ini, permukaan tanah tidak bisa dijadikan referensi. Alternatifnya adalah, titik referensi bisa menggunakan permukaan level muka air normal air laut (MSL). Titik referensi ini disebut sebagai titik *equipotensial*, dimana titik ini berlaku secara umum dan tidak terikat/tidak terbatas akan titik lokasi pengukuran di permukaan tanah. Titik referensi pengukuran kadang disebut sebagai datum.

2.1.3 Alat-Alat *Surveying*

Berikut adalah berbagai macam alat-alat *surveying* :



Gambar 2.1 Alat-alat *surveying*

- a. *Total Station*
- b. *Prism*

- c. *Automatic Level*
- d. *Taping Equipment*
- e. *Theodolit*
- f. *Level ROD*

2.1.4 Galat Dalam Pengukuran

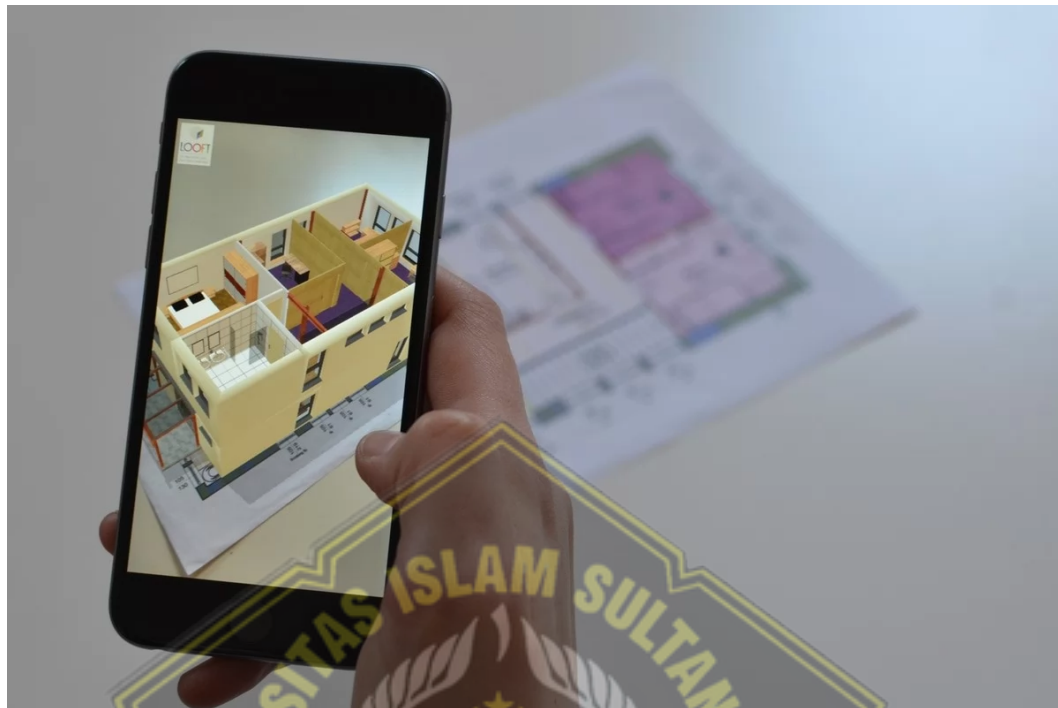
Dalam setiap pengukuran, tidak peduli seberapa baik saat eksekusi, selalu akan ada galat atau kesalahan, sehingga “nilai yang sebenarnya” tidak akan pernah diketahui. Sumber-sumber kesalahan secara luas dibagi menjadi 3 kategori:

- a. Kesalahan alami, yang dipengaruhi oleh variasi kondisi cuaca, refraksi, dan gravitasi.
- b. Kesalahan alat ukur, yang dipengaruhi saat *setting* alat yang kurang baik atau Konstruksi alat yang kurang baik.
- c. Kesalahan personal, yang dipengaruhi karena ketidakmampuan individu/pengukur untuk menentukan nilai eksak dari pengukuran. Hal ini diakibatkan dari keterbatasan pandangan/penglihatan manusia, sentuhan dan pendengaran.

2.2 Teknologi Visual

2.2.1 *Augmented Reality*

Augmented reality atau yang sering disebut *AR* adalah sebuah teknologi yang menggabungkan benda maya dua dimensi maupun tiga dimensi ke dalam suatu lingkungan nyata tiga dimensi lalu memproyeksikan benda-benda maya tersebut ke dalam waktu nyata (*real time*) (Pamoedji dkk., 2017). Teknologi *Augmented Reality* adalah sebuah sistem yang memiliki beberapa karakteristik seperti menggabungkan lingkungan nyata dan maya, berjalan secara interaktif dalam waktu nyata, dan integrasi obyek dalam bentuk tiga dimensi. Bentuk data dalam sistem *Augmented Reality* dapat berupa data lokasi/koordinat, *audio*, *video*, *images* maupun data dalam model tiga dimensi (Nugraha dkk., 2014).



Gambar 2.2 *Augmented Reality*

2.2.1.1 *Komponen Augmented Reality*

Dalam pembuatan ataupun pengembangan suatu sistem aplikasi *Augmented Reality* dibutuhkan beberapa komponen pendukung dalam pembuatannya. Beberapa komponen yang diperlukan adalah sebagai berikut (Martono, 2011):

1. Komputer

Komputer merupakan komponen yang digunakan untuk mengendalikan semua proses yang akan terjadi dalam sebuah aplikasi yang Penggunaannya disesuaikan dengan kondisi pada aplikasi yang akan digunakan. Selanjutnya *output* aplikasi akan ditampilkan melalui monitor.

2. *Marker*

Marker merupakan gambar berwarna berbentuk persegi. *Marker* digunakan sebagai proses *tracking* pada saat aplikasi digunakan. Komputer akan mengenali posisi dan orientasi dari suatu *marker* yang

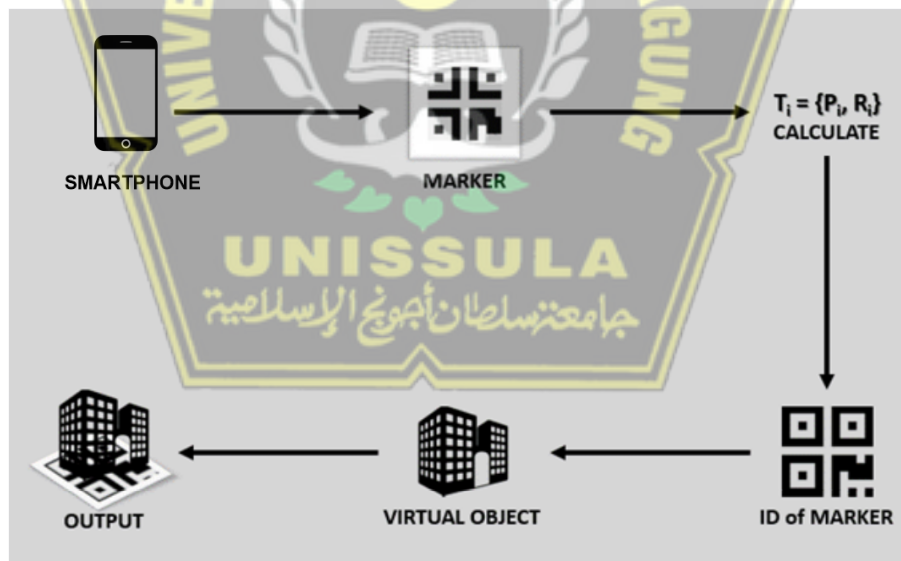
kemudian akan diciptakan suatu obyek maya berupa obyek dua dimensi yaitu pada titik (0, 0) dan sumbu (X, Y).

3. *Smartphone*

Smartphone merupakan komponen yang digunakan sebagai jembatan antara interaksi *virtual* dan nyata. Bentuk output dari sistem ini adalah aplikasi Android. *Smartphone* akan memproses gambar yang ditangkap oleh sensor kamera. Jika kamera berhasil menangkap gambar yang mengandung *marker*, maka aplikasi yang ada pada *smartphone* akan mengenali *marker* tersebut. Kemudian *smartphone* akan menghitung posisi dan jarak *marker*, lalu akan menampilkan obyek tiga dimensi diatas *marker*.

2.2.1.2 Prinsip Kerja *Augmented Reality*

Gambar 2.2 menjelaskan prinsip kerja dari *Augmented Reality*. Adapun cara kerja *Augmented Reality* dalam menambahkan obyek maya ke lingkungan nyata adalah sebagai berikut:



Gambar 2.3 Cara kerja Augmented Reality

1. Pertama *smartphone* akan menangkap data *marker* dalam lingkungan nyata dan mengirimkan data tersebut ke komputer.
2. Sistem pada komputer akan melacak bentuk dari *marker* dan mendeteksi berapa jumlah *video frame*.

3. Jika bentuk *marker* telah ditemukan, maka selanjutnya sistem akan melakukan perhitungan matematis untuk menghitung posisi dari kamera yang relatif terhadap bentuk pada *marker*.
4. Setelah perhitungan selesai, kemudian model obyek Augmented Reality akan ditampilkan pada posisi yang sama dan berada tepat di dalam ruang lingkup *marker*, lalu ditampilkan ke layar untuk melihat obyek *virtual* yang telah ditambahkan pada lingkungan nyata.

2.2.1.3 Marker Based Tracking

Augmented reality memiliki beberapa metode yang digunakan salah satunya adalah *marker based tracking*. *Marker based tracking* sudah lama dikembangkan sekitar tahun 1980 dan pada awal tahun 1990 mulai dikembangkan pada *Augmented Reality*. Marker yang biasa digunakan berupa ilustrasi warna hitam dan putih berbentuk persegi dengan batas warna hitam tebal dan latar berwarna putih yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.4 *Marker* yang digunakan pada *Augmented Reality* (Lazuardy, 2012)

Komputer akan mengenali posisi dan orientasi dari suatu *marker* kemudian akan menciptakan sebuah obyek maya tiga dimensi yaitu pada titik (0, 0, 0) dan sumbu yaitu (X, Y, Z). Keuntungan dari Penggunaan *marker* berwarna hitam dan putih adalah dapat dengan mudah memisahkan antara *marker* dan latar belakangnya. *Marker* yang seperti Gambar 2.3 biasa disebut sebagai *fiducial marker* (Aulia, 2016).

2.2.2 Virtual Reality (VR)

Virtual Reality atau realitas maya adalah sebuah teknologi yang telah membuat perbedaan besar pada sejarah pemikiran manusia dan

saat ini sedang menjadi *trend* untuk membantu meningkatkan kualitas kinerja dan produk. VR atau Realitas Maya adalah teknologi yang dibuat sehingga Pengguna dapat berinteraksi dengan suatu lingkungan yang disimulasikan oleh komputer (Nugraha, 2014). Lingkungan yang ditirukan dapat menjadi mirip dengan dunia nyata, pengalaman realitas maya yang representatif dengan mengikutsertakan simulasi kombinasi hasil penginderaan (visual, audio, peraba). Komputer membantu simulasi terhadap suatu obyek nyata dengan membangkitkan suasana tiga dimensi (3D) sehingga membuat Pemakai seolah-olah terlibat secara fisik .

Virtual reality bekerja berdasarkan prinsip dasar persepsi manusia tentang interaksi dengan dunia virtual. Para desainer merancang lingkungan *virtual* tersebut dengan sangat autentik hingga rasanya sama seperti dunia nyata. Untuk dapat merasakan sensasi tersebut, seseorang harus menggunakan *headset* VR.

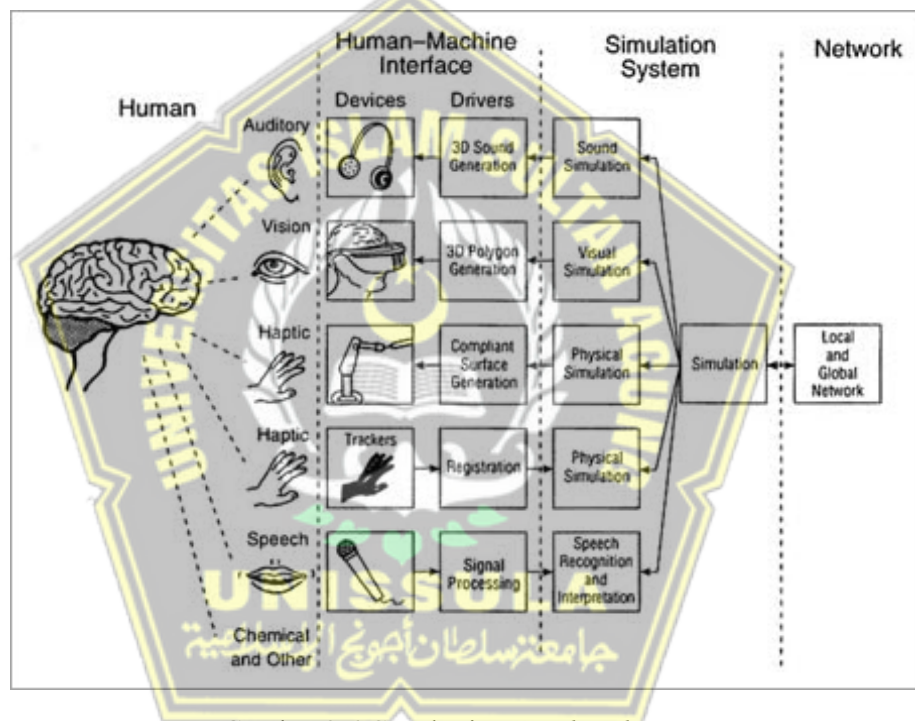
Headset tersebut kemudian diprogram untuk menangkap refleksi Pengguna terhadap rangsangan alami yang didukung oleh perangkat lunak bertenaga kecerdasan buatan. Rangsangan tersebut kemudian disimpan dalam bentuk kumpulan data untuk digunakan sebagai dasar saat membuat obyek *virtual*.



Gambar 2.5 Perangkat VR

2.2.2.1 Cara Kerja *Virtual Reality*

Virtual reality bekerja berdasarkan prinsip dasar persepsi manusia tentang interaksi dengan dunia *virtual*. Para Desainer merancang lingkungan *virtual* tersebut dengan sangat autentik hingga rasanya sama seperti dunia nyata. Untuk dapat merasakan sensasi tersebut, seseorang harus menggunakan *headset* VR. Headset tersebut kemudian diprogram untuk menangkap refleks Pengguna terhadap rangsangan alami yang didukung oleh perangkat lunak bertenaga kecerdasan buatan. Rangsangan tersebut kemudian disimpan dalam bentuk kumpulan data untuk digunakan sebagai dasar saat membuat obyek *virtual*.

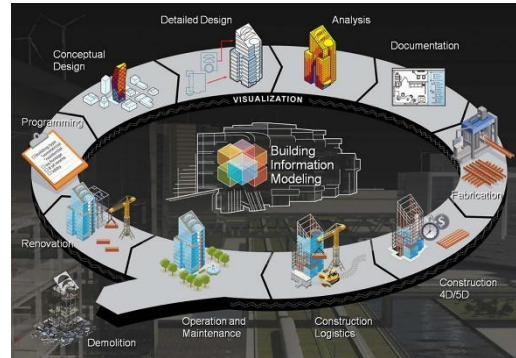


Gambar 2.6 Cara kerja *virtual reality*

2.3 Teknologi *Building Information Modeling* (BIM)

Penerapan *Building Information Modelling* (BIM) memang salah satu cara untuk menghadapi Revolusi Industri 4.0. BIM ini merupakan teknologi Konstruksi berbasis digital dan internet. Tidak jauh berbeda dengan Industri lain, penerapan BIM juga diharapkan mampu menghemat biaya proyek dan meminimalisir resiko pekerjaan serta mempermudah koordinasi antar pihak. Kontraktor - Kontraktor Nasional saat ini sudah mewajibkan tiap proyek untuk menggunakan BIM dalam Proses Perencanaan, Pelaksanaan dan Operasional.

fungsi BIM di proyek sangat membantu dalam proses koordinasi antar pihak dan memudahkan Owner Proyek untuk *monitoring* pekerjaan.



Gambar 2.7 Komponen pendukung BIM

2.4 Perbedaan AR dengan VR

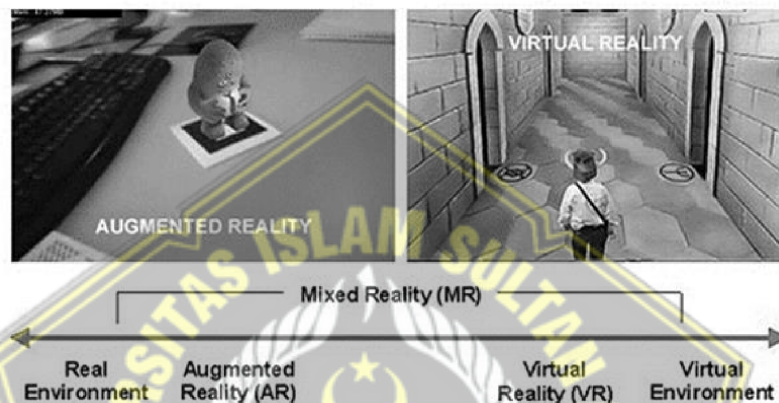
AR dan VR adalah dua teknologi yang penerapannya bertolak belakang. Teknologi *Virtual Reality* membuat Pengguna tergabung dalam sebuah lingkungan maya secara keseluruhan. Ketika tergabung dalam lingkungan maya, Pengguna tidak dapat melihat lingkungan nyata di sekitarnya. Sebaliknya, *Augmented Reality* memungkinkan Pengguna untuk melihat lingkungan nyata, dengan obyek maya yang ditambahkan dengan lingkungan nyata. Tidak seperti *Virtual Reality* yang sepenuhnya menggantikan lingkungan nyata, *Augmented Reality* hanya sekedar menambahkan atau melengkapi lingkungan nyata saja.

2.4.1 Kelebihan *Augmented Reality*

Augmented Reality memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan *Virtual Reality*. *Augmented Reality* memanipulasi dunia nyata pada layar perangkat menggunakan kamera atau perangkat pengambil gambar lainnya pada *smartphone* sedangkan *Virtual Reality* memanfaatkan sensor dan *peripheral* lain dan membuat Penggunaanya merasa di dunia lain yang benar-benar tergambar secara *virtual*. Disatu sisi memang *Augmented Reality* lebih terkenal di awal dibandingkan dengan *Virtual Reality* dan *Augmented Reality* kini sudah siap pakai dan *Virtual Reality* masih dikembangkan dengan peningkatan dengan program dan berbagai macam perangkat keras (Indrawan, 2021).

2.4.2 Kelebihan *Virtual Reality*

Virtual reality (VR) adalah salah satu aplikasi dari teknologi multimedia memiliki kelebihan dalam mendeskripsikan sebuah keadaan atau sebuah obyek dimana visualisasi yang ditampilkan tidak hanya dapat dilihat dari satu sudut pandang saja namun dapat dilihat dari segala sudut, karena memiliki 3 dimensi visual sehingga Pengguna dapat berinteraksi dengan suatu lingkungan yang disimulasikan oleh komputer (*Virtual Environment*) (Putro, 2015).



Gambar 2.8 Perbedaan *augmented reality* dan *virtual reality* (Lazuardy, 2012)

2.5 Implementasi Teknologi AR di bidang Konstruksi

Dengan penerapan teknologi *Augmented Reality* pada bidang konstruksi mengubah *mindset* dimana yang sebelumnya dalam proses pengukuran memerlukan 3 komponen utama seperti *manpower*, pengolah data dan alat survei. maka, apabila menggunakan teknologi *Augmented Reality* ini hanya menggunakan 1 komponen utama yakni *Smartphone*. Kemudian dari segi biaya, dengan berlakunya persistensi pengukuran dari waktu ke waktu, implementasi teknologi ini akan lebih efektif dan efisien.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kantor Pengembangan *Augmented Reality* yang beralamat di Plamongan Indah Blok E2 No.17 Semarang. Penelitian ini dilakukan pada tanggal 23 bulan Juni 2023.

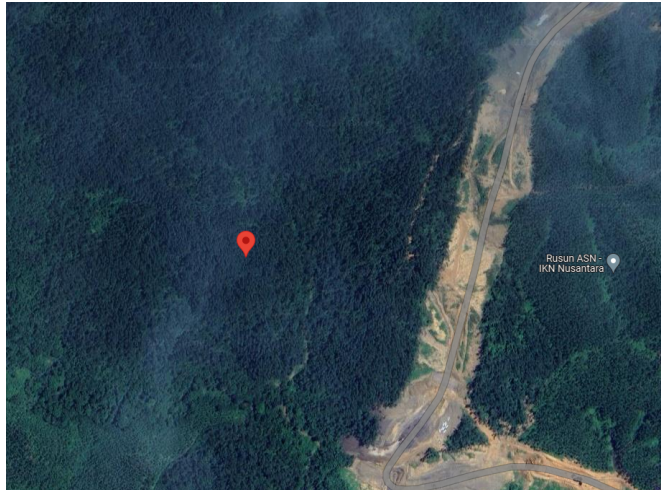
3.2. Obyek Penelitian

Pada penelitian ini terdapat 2 obyek bangunan yang akan digunakan sebagai bahan uji yakni Bangunan Rumah IKN dan Kantor Tol Solo Jogja. Obyek tersebut didapatkan dari proyeksi BIM 3D Developer yang kemudian diolah sehingga mendapatkan titik-titik koordinat *Pile Cap* bangunan.

3.3. Peta Lokasi Penelitian

3.3.1. Lokasi penelitian

Bangunan yang pertama dilakukan pada Rumah Tapak Menteri IKN di Kawasan Inti Pusat Pemerintahan IKN Kalimantan Timur. Untuk lokasi ke-2 di kantor Gerbang Tol Kartasura, Karanganyar & Klaten. Dengan bantuan *Google Earth*, bisa diketahui posisi kedua bangunan tersebut. Untuk Rumah Tapak Menteri IKN terletak pada koordinat (Lat: -0.973096, Long: 116.6931). Kemudian untuk lokasi bangunan ke-2 terletak pada koordinat (Lat: -7.540749, Long: 110.70912). Untuk Lebih jelasnya mengenai posisi bangunan gedung dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 berikut ini:



Gambar 3.1 Lokasi Studi Kasus Penelitian Rumah IKN

Sumber: (GoogleEarth, 2023)



Gambar 3.2 Lokasi Studi Kasus Penelitian Kantor Tol Solo-Jogja

Sumber: (GoogleEarth, 2023)

3.3.2. Sistem Struktur Gedung

a. Data bangunan pertama yang akan digunakan dalam pemodelan ini merupakan data dari Perencana. Data tersebut adalah :

1. Fungsi bangunan : Rumah Tapak Menteri IKN
2. Jenis struktur : Struktur beton bertulang
3. Jumlah lantai : 2 lantai + 1 *Basement*
4. Penutup atap : genteng

5. Lokasi bangunan : Kawasan Inti Pusat Pemerintahan IKN
- b. Data bangunan kedua yang akan digunakan dalam pemodelan ini merupakan data dari Perencana. Data tersebut adalah :
 1. Fungsi bangunan : Gerbang Tol
 2. Jenis struktur : Struktur Beton Bertulang
 3. Jumlah lantai : 1 Lantai
 4. Penutup atap : Dak beton dan baja
 5. Lokasi bangunan : Kartasura, Karanganyar & Klaten

3.4. Alat Penelitian

Alat dan bahan yang akan digunakan antara lain:

- a. Kertas millimeter

Kertas milimeter digunakan sebagai alas dan tempat pengukuran. Kertas yang digunakan untuk satu kali uji coba memiliki ukuran 1 meter x 1 meter.



Gambar 3.3 Kertas milimeter

- b. *Marker*

Kertas *Marker* digunakan untuk acuan koordinat bangunan pada *Augmented Reality*. *Marker* ini berukuran 15 cm x 15 cm dengan gambar abstrak.



Gambar 3.4 Kertas *Marker*

c. Komputer

Komputer berfungsi untuk menjalankan sistem untuk pembuatan Aplikasi Augmented reality dengan spesifikasi :

Tabel 3.1 Spesifikasi Komputer

<i>Item</i>	Spesifikasi Komputer
Processor	AMD Ryzen 5 5600
Motherboard	ASRock B550M Pro4
VGA	NVIDIA RTX 2060 SUPER 8GB
SSD	ADATA LEGEND 850 Lite 1TB NVME
RAM	KLEVV DDR4 BOLT X Series PC25600 3200MHz Dual Channel 16GB
PSU	be quiet! SYSTEM POWER 9 500W CM

d. *Smartphone*

Smartphone digunakan untuk menampilkan bangunan secara virtual dengan spesifikasi :

Tabel 3.2 Spesifikasi *Smartphone*

<i>Item</i>	<i>Spesifikasi Smartphone</i>
OS	Android 9.0 (Pie)
Chipset	Mediatek Helio G90T (12nm)
CPU	Octa-core (2x2.05 GHz Cortex-A76 & 6x2.0 GHz Cortex-A55)
GPU	Mali-G76 MC4
Sensor	Fingerprint (rear-mounted), accelerometer, gyro, proximity, compass

e. **Struktur gedung dasar**

Struktur Gedung dasar sebagai acuan model bangunan secara riil.

3.5. Sistem Struktur Gedung Dasar

3.5.1. Luas Bangunan

a. Bangunan Rumah IKN

Data bangunan yang akan digunakan dalam pemodelan ini merupakan data ukuran bangunan Rumah Menteri IKN yang telah dilakukan skala sebesar 1 : 1 yang digunakan sebagai acuan dengan ukuran sebagai berikut :

Tabel 3.3 Ukuran bangunan rumah menteri IKN

Lantai Struktur	Ukuran	Satuan
Panjang	26,2	meter
Lebar	20,5	meter

Dengan mengaplikasikan skala 1 : 100 dan konversi ke ukuran milimeter, maka hasil ukuran yang akan diuji sebagai berikut :

Tabel 3.4 Ukuran bangunan rumah menteri IKN skala 1:100

Lantai Struktur	Ukuran	Satuan
Panjang	262	milimeter
Lebar	205	milimeter

b. Kantor Tol Solo Jogja

Data bangunan yang akan digunakan dalam pemodelan ini merupakan data yang telah dilakukan skala sebesar 1 : 1 yang digunakan sebagai acuan dengan ukuran sebagai berikut :

Tabel 3.5 Ukuran bangunan Kantor Tol Solo-Jogja

Lantai Struktur	Ukuran	Satuan
Panjang	42	meter
Lebar	25	meter

Dengan mengaplikasikan skala 1 : 100 dan konversi ke ukuran milimeter, maka hasil ukuran yang akan diuji sebagai berikut :

Tabel 3.6 Ukuran bangunan Kantor Tol Solo-Jogja skala 1:100

Lantai Struktur	Ukuran	Satuan
Panjang	420	milimeter
Lebar	250	milimeter

3.6. Nilai Acuan searah sumbu (X,Y) dalam millimeter

3.6.1. Tabel Nilai Acuan

a. Tabel Acuan Rumah Menteri IKN

Tabel 3.7 Nilai acuan searah sumbu (X,Y) Bangunan Rumah Menteri IKN

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)	
		X	Y
A	A1	0	0
	A2	0	240
	A3	240	240
	A4	240	0

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)	
		X	Y
B	B1	-250	440
	B2	-250	680
	B3	0	680
	B4	440	0
C	C1	-250	1050
	C2	-250	1200
	C3	0	1200
	C4	0	1050
D	D1	410	661
	D2	410	900
	D3	650	900
	D4	650	660
E	E1	410	410
	E2	410	640
	E3	650	640
	E4	650	410
F	F1	340	0
	F2	340	240
	F3	380	240
	F4	580	0
G	G1	790	110
	G2	790	350
	G3	1030	350
	G4	1030	110
H	H1	790	410
	H2	790	640
	H3	1030	640
	H4	1030	410

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)	
		X	Y
I	I1	790	660
	I2	790	900
	I3	1030	900
	I4	1030	660
J	J1	1480	660
	J2	1480	900
	J3	1730	900
	J4	1730	660
K	K1	1480	410
	K2	1480	640
	K3	1030	640
	K4	1730	410
L	L1	1480	111
	L2	1480	350
	L3	1730	353
	L4	1730	110
M	M1	1900	112
	M2	1900	350
	M3	2130	349
	M4	2130	110
N	N1	1900	410
	N2	1900	641
	N3	2130	350
	N4	2130	410
O	O1	1900	660
	O2	1900	900
	O3	2130	900
	O4	2130	660

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)	
		X	Y
P	P1	410	1060
	P2	410	2030
	P3	780	2030
	P4	780	1375
	P5	1420	1375
	P6	1420	1875
	P7	2060	1875
	P8	2060	1290
	P9	2130	1290
	P10	2130	1210
	P11	2370	1210
	P12	2370	930
	P13	1730	930
	P14	410	1060

b. Tabel Acuan Kantor Tol Solo-Jogja

Tabel 3.8 Nilai acuan searah sumbu (X,Y) Bangunan Kantor Tol Solo-Jogja

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)	
		x	y
1	A	0	0
	B	0	130
	C	130	130
	D	130	0
4	A	-592	107
	B	-592	212
	C	-462	212
	D	-462	107
5	A	-592	478
	B	-592	628

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)	
		X	Y
5	C	-462	628
	D	-462	478
8	A	-602	1395
	B	-602	1525
	C	-472	1525
	D	-472	1395
9	A	-44	1395
	B	-44	1525
	C	86	1525
	D	86	1395
10	A	-44	1887
	B	-44	2017
	C	86	2017
	D	86	1887
11	A	-340	2283
	B	-340	2413
	C	-210	2413
	D	-210	2283
28	A	1655	2283
	B	1655	2413
	C	1785	2413
	D	1785	2283
39	A	3708	2283
	B	3708	2433
	C	3858	2433
	D	3858	2283
42	A	3708	1182
	B	3708	1312
	C	3858	1312

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)	
		X	Y
42	D	3858	1182
44	A	373	195
	B	373	326
	C	385	326
	D	385	195
47	A	2332	181
	B	2332	341
	C	2492	341
	D	2492	181
48	A	1656	295
	B	1656	425
	C	1786	425
	D	1786	295
49	A	1158	165
	B	1158	295
	C	1288	295
	D	1288	165
50	A	1158	0
	B	1158	130
	C	1288	130
	D	1288	0
51	A	763	0
	B	763	130
	C	893	130
	D	893	0
52	A	516	0
	B	516	130
	C	646	130
	D	646	0

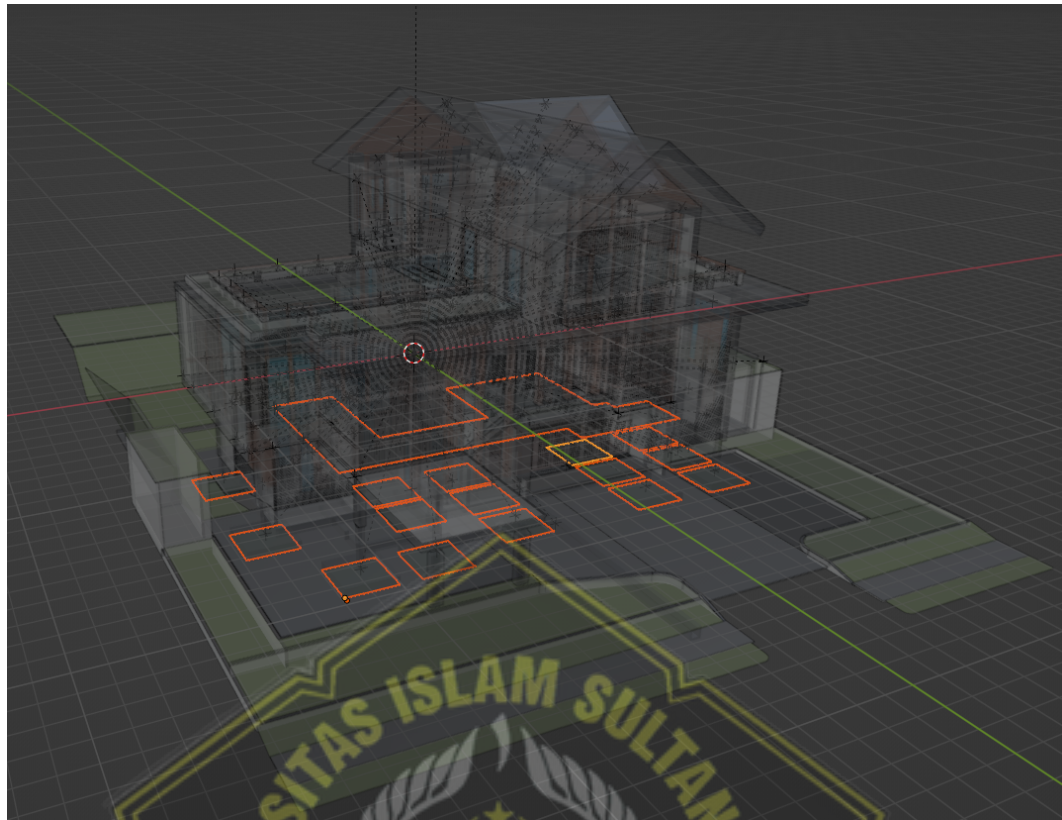
3.7. Denah Bangunan Poligon dan Isometric

3.7.1. Denah Bangunan Rumah Menteri IKN

Denah Gedung secara poligon dan isometric Rumah Menteri IKN dapat dilihat pada gambar dibawah ini,



Gambar 3.5 Ukuran denah gedung Rumah IKN *polygon*

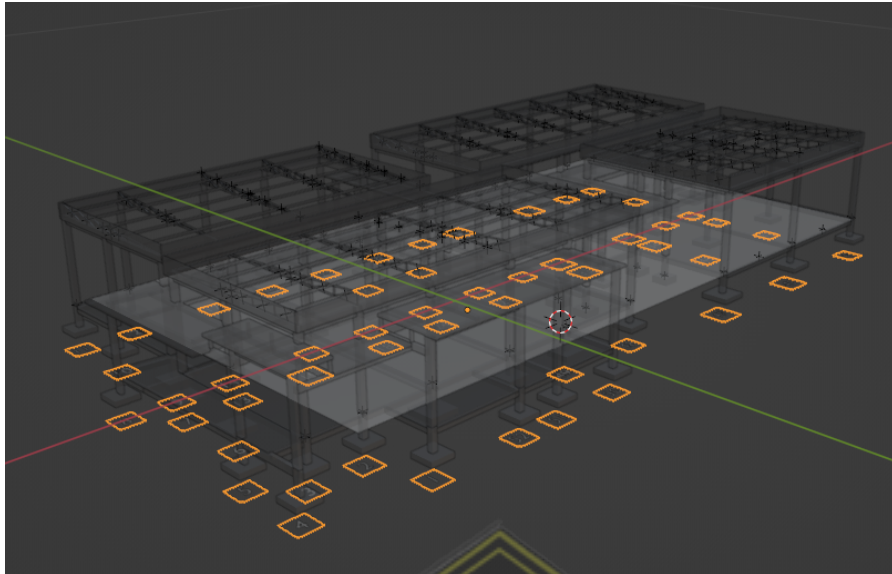


Gambar 3.6 Gambar 3D gedung Rumah IKN *isometric*.

3.7.2. Denah Bangunan Poligon Kantor Tol Solo-Jogja



Gambar 3.7 Ukuran denah Kantor Tol Solo - Jogja *polygon*

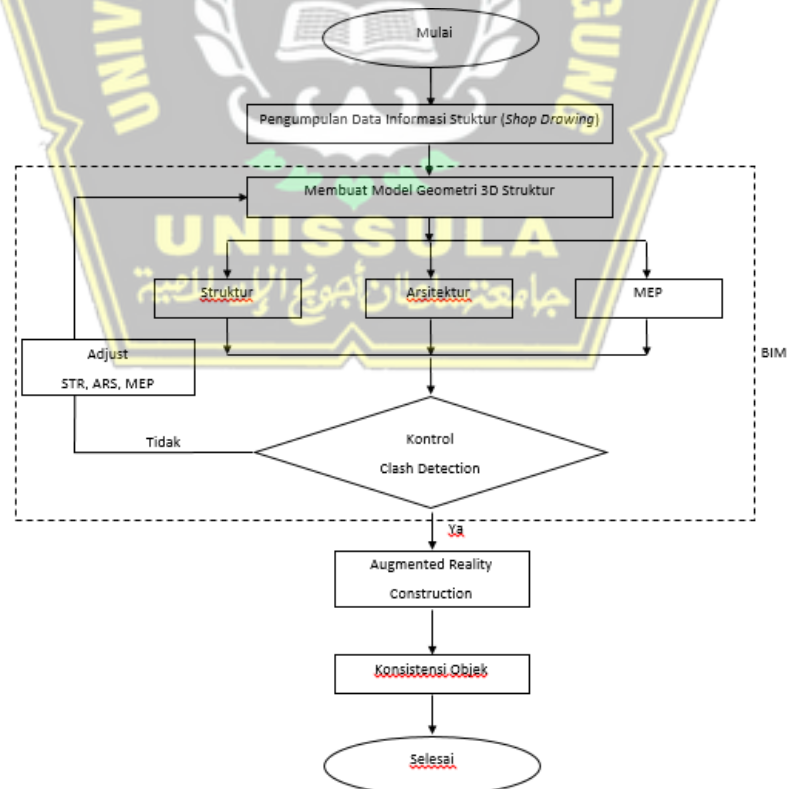


Gambar 3.8 Gambar 3D gedung Kantor Tol Solo - Jogja *isometric*.

3.8. Tahapan Analisa

3.8.1. Diagram Alir Penelitian

Secara keseluruhan tahapan analisis pada penelitian ini dapat disederhanakan menjadi diagram alir yang disajikan pada Gambar berikut ini :



Gambar 3.9. Bagan Alir Penelitian

3.8.2. Tahapan Prosedur

Pada penelitian ini dilakukan dua tahapan prosedur yaitu pemodelan gedung menggunakan 3D BIM (*Building Information Modelling*) dan AR *Construction*. dua tahapan Prosedur ini menentukan presisi bangunan serta konsistensi bangunan. Penjelasan mengenai tahapan prosedur yang dilakukan adalah sebagai berikut:

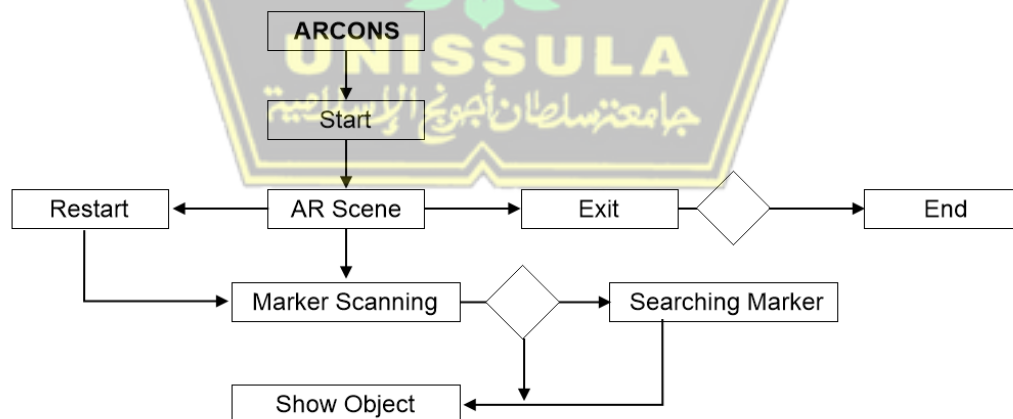
a. 3D BIM (*Building Information Modelling*)

Pada tahapan 3D BIM, dilakukan pemodelan gedung mulai dari pemodelan struktur, arsitektur serta mekanikal elektrik dan plumbing. Seluruh tahapan 3D BIM harus dilakukan *control clash detection* yang bertujuan untuk memitigasi terjadinya *Crash* antara obyek desain struktur, arsitektur, maupun mekanikal elektrik dan plumbing.

b. AR Construction (*Augmented Reality Construction*)

Pada tahapan prosedur AR Construction, hasil dari 3D BIM yang telah di control terhadap clash detection di input kedalam AR Construction, dengan tahapan sebagai berikut:

i. Flowchart ARConstruction



Gambar 3.10. Bagan Alir AR construction

ii. Struktur Scene

1. Main Menu

Tampilan awal pada aplikasi yang berisi navigasi yang ada pada aplikasi AR Cons. Terdapat 3 Tombol pada scene ini yaitu Scan, About, dan Exit. Tombol scan berfungsi untuk menuju ke AR Scene. Tombol About berfungsi untuk menuju ke menu About. Tombol Exit berfungsi untuk keluar dari aplikasi.



Gambar 3.11. *Interface main menu*

2. About

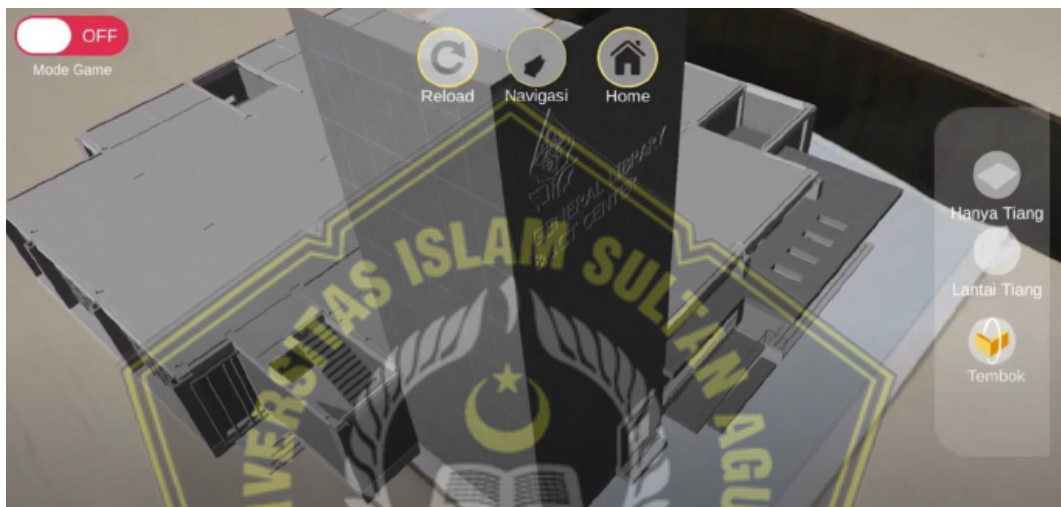
Berisi tentang sedikit mengenai ARCons dan juga termasuk beberapa kredit aplikasi ARCons.



Gambar 3.12. *Tool about*

3. AR Scene

Scene utama yang berfungsi untuk menampilkan 3D AR atau obyek lainnya. Dalam *scene* ini terdapat beberapa Tombol yang bisa dipakai. Tombol *Layering* berfungsi untuk memilih bagian layer yang dipilih. Tombol *Refresh* berguna untuk menampilkan ulang obyek jika terjadi sedikit ketidaksesuaian. Tombol *Home* berfungsi untuk menuju ke *scene main menu*.



Gambar 3.13. Mode AR scene

BAB IV

HASIL PENELITIAN

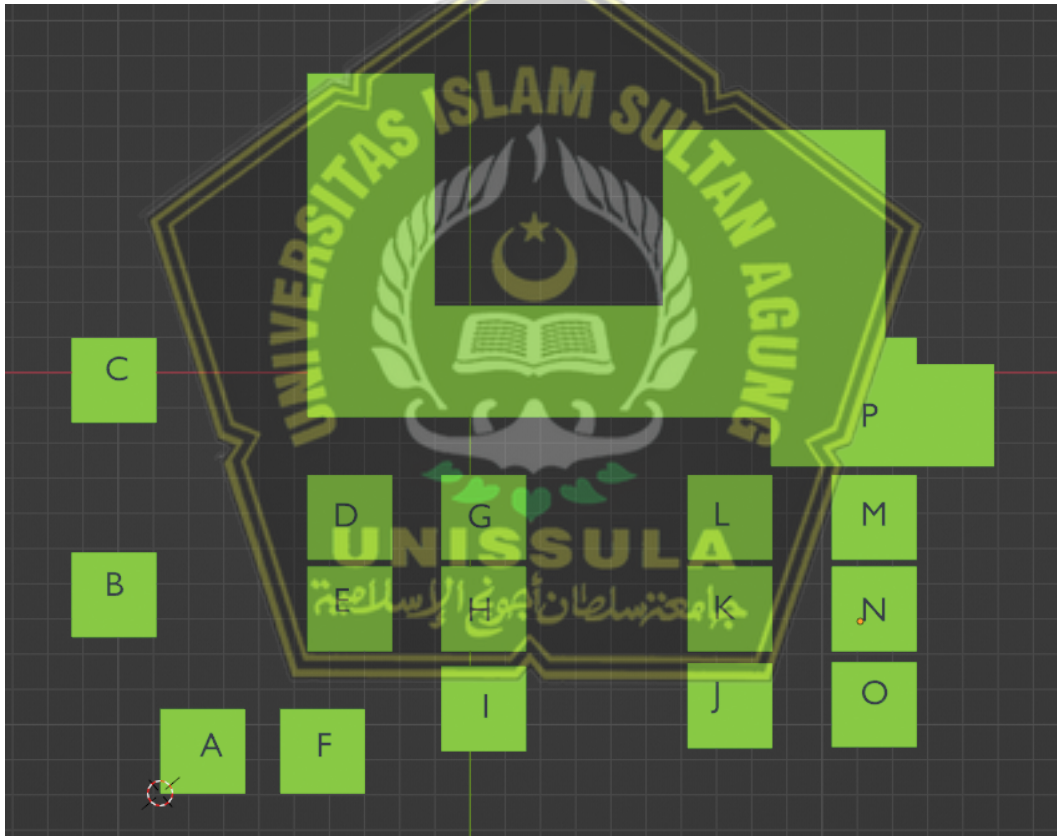
4.1 Pengukuran Model Uji

4.1.1 Gambar Model 3D *Pile Cap*

Objek *Pile Cap* yang digunakan adalah model asli dari file *Building Information Modeling* yang di skala 1 : 100.

4.1.1.1 Gambar Model 3D *Pile Cap* Rumah Menteri IKN

Pengujian dilakukan dengan mengambil titik koordinat acuan dengan obyek bangunan yang memiliki 16 Kolom dari Kolom A sampai P dengan 74 titik koordinat dengan ukuran milimeter.

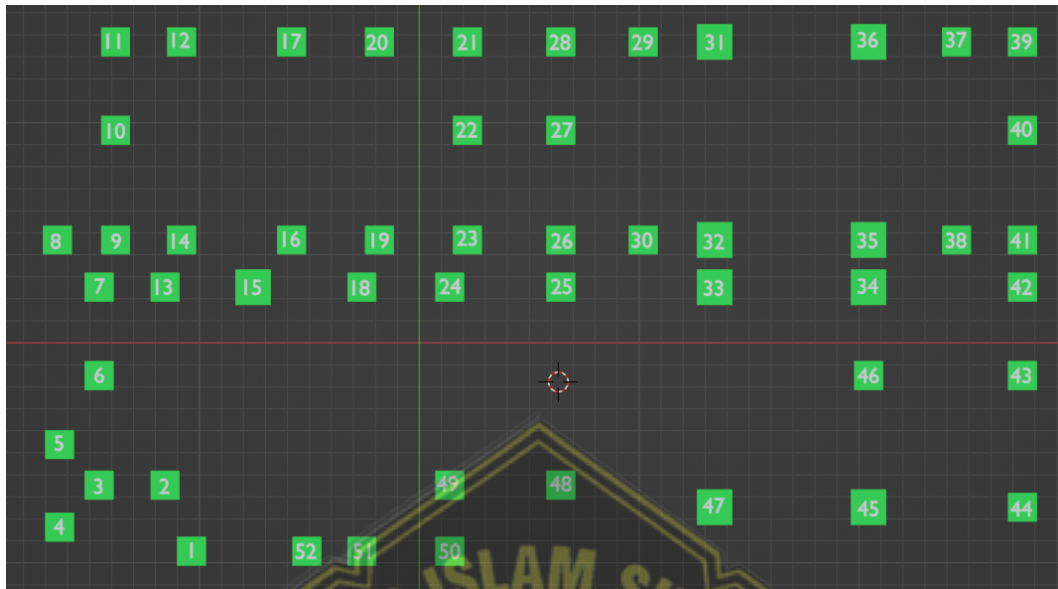


Gambar 4.1. Gambar pile cap rumah menteri IKN

4.1.1.2 Gambar Model 3D *Pile Cap* Kantor Tol Solo-Jogja

Pengujian dilakukan dengan mengambil titik koordinat acuan dengan obyek bangunan menggunakan teknologi *Augmented Reality*. Kantor Tol yang memiliki 52 Kolom dari Kolom 1 sampai 52 dengan 208

titik koordinat. Oleh karena itu peneliti mengambil sampel sebanyak 17 Kolom dengan 68 titik koordinat dengan ukuran milimeter.



Gambar 4.2. Gambar pile cap Kantor Tol solo-jogja

4.1.2 Pengukuran Model Uji Secara Manual

4.1.2.1 Cara Pengukuran Manual Rumah Menteri IKN

Pada penelitian ini pengukuran acuan sebagai landasan untuk *Augmented Reality* adalah sebagai berikut :

1. Siapkan kertas milimeter.
2. Rekatkan kertas Marker pada kertas milimeter.
3. Buat koordinat searah sumbu X dan Y.
4. Buat garis kolom menggunakan koordinat tersebut sesuai dengan model uji.

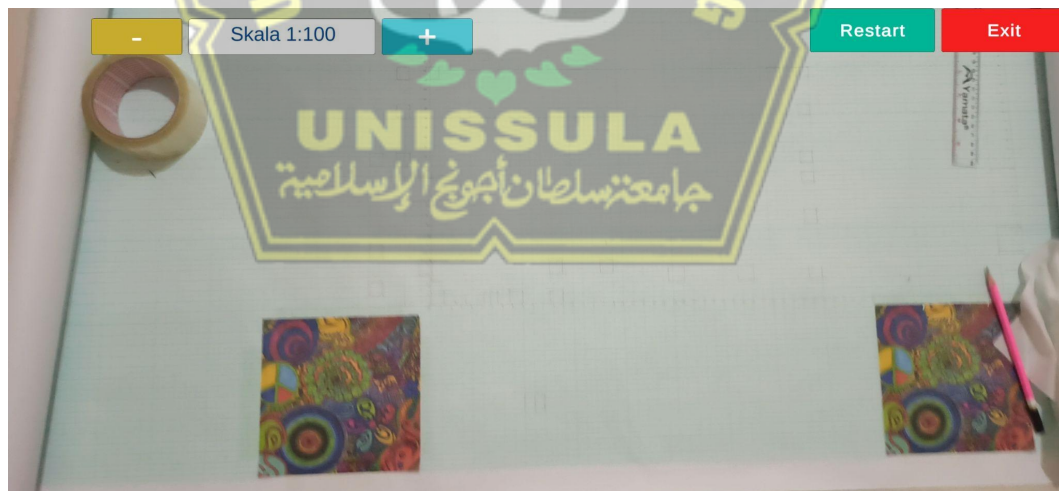


Gambar 4.3. Pengukuran acuan Rumah IKN

4.1.2.2 Cara Pengukuran Manual Kantor Tol Solo-Jogja

Pada penelitian ini pengukuran acuan sebagai landasan untuk *Augmented Reality* adalah sebagai berikut :

1. Siapkan kertas milimeter.
2. Rekatkan kertas *Marker* pada kertas milimeter.
3. Buat koordinat searah sumbu X dan Y.
4. Buat garis kolom menggunakan koordinat tersebut sesuai dengan model uji.



Gambar 4.4. Pengukuran Acuan Kantor Tol Solo-Jogja

4.1.3 Pengukuran Model Uji menggunakan *Augmented Reality*

4.1.3.1 Pengukuran *Augmented Reality* Rumah Menteri IKN

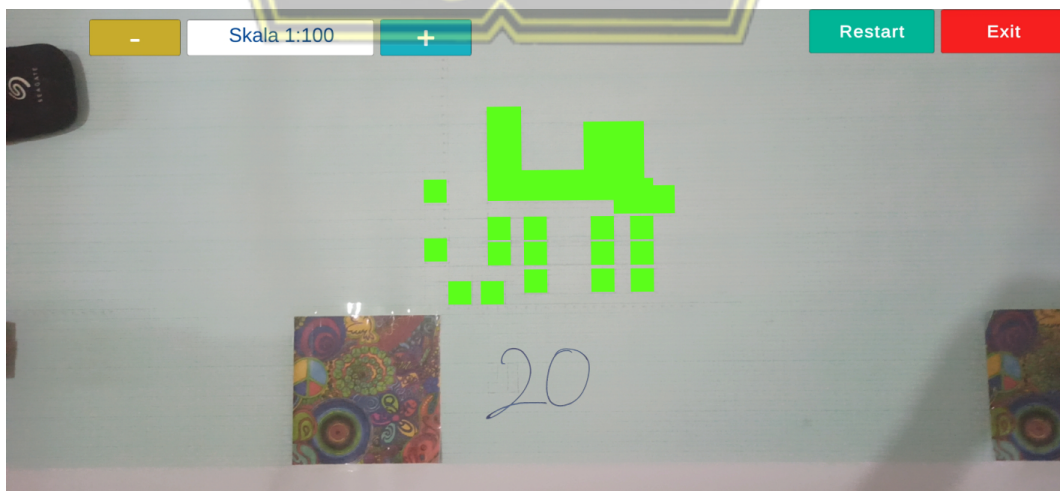
Cara pengukuran menggunakan aplikasi ARCons adalah sebagai berikut :

1. Instal aplikasi Arcons *Augmented Reality*.
2. Tekan tombol Scan.
3. Arahkan kamera ke *marker*. (apabila terdeteksi maka akan muncul *visual* bangunan *Pile Cap*).
4. Buat titik titik menggunakan pensil atau spidol sesuai dengan model yang dihasilkan AR.

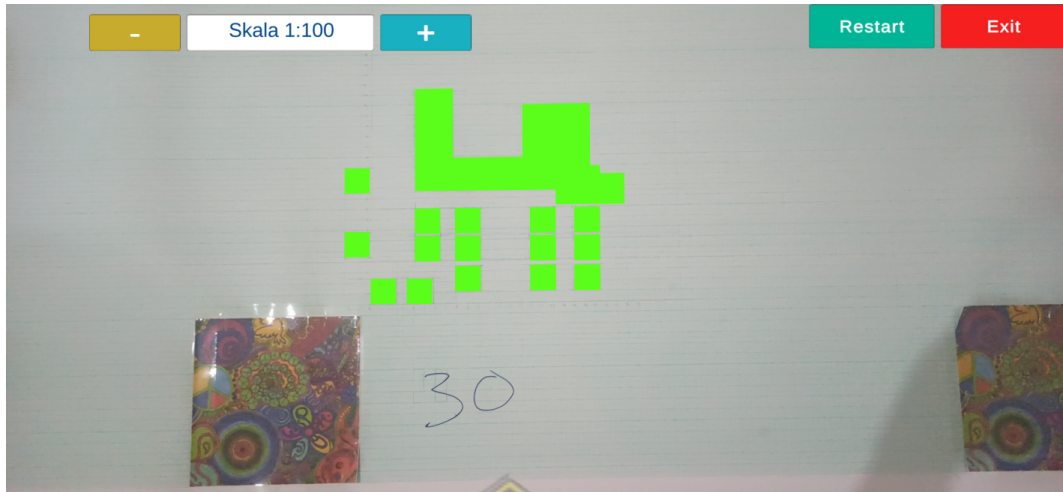
Berikut adalah 6 kali pengukuran menggunakan *Augmented Reality* per 10 menit dengan obyek bangunan Rumah Menteri IKN :



Gambar 4.5. Pengukuran menggunakan AR Bangunan ke-1 Pengujian ke-1 (menit ke 10)



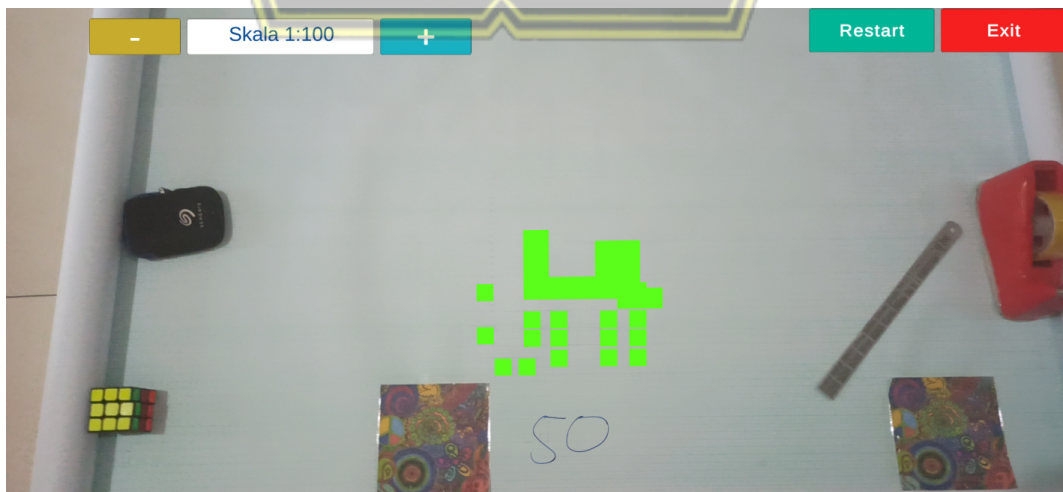
Gambar 4.6. Pengukuran menggunakan AR Bangunan ke-1 Pengujian ke-2 (menit ke 20)



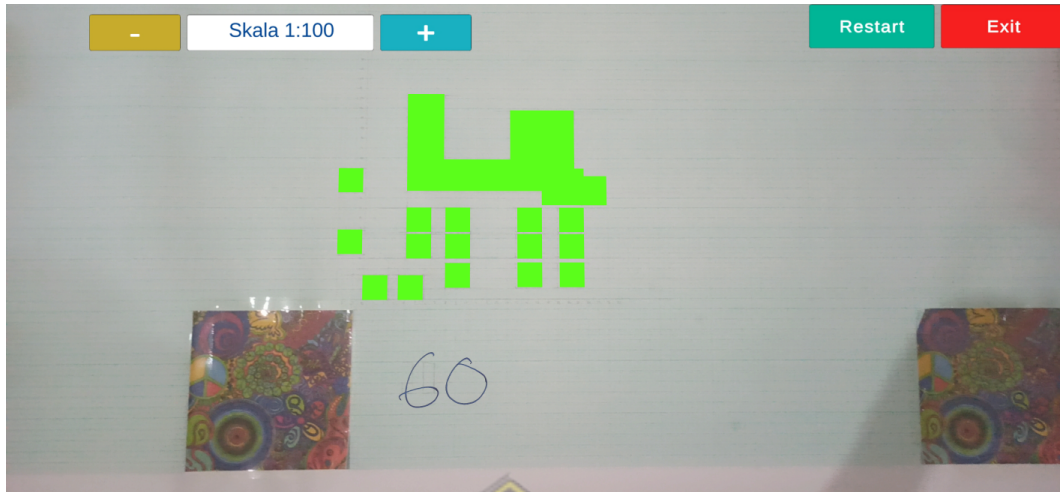
Gambar 4.7. Pengukuran menggunakan AR Bangunan ke-1 Pengujian ke-3 (menit ke 30)



Gambar 4.8. Pengukuran menggunakan AR Bangunan ke-1 Pengujian ke-4 (menit ke 40)



Gambar 4.9. Pengukuran menggunakan AR Bangunan ke-1 Pengujian ke-5 (menit ke 50)



Gambar 4.10. Pengukuran menggunakan AR Bangunan ke-1 Pengujian ke-6 (menit ke 60)

4.1.3.2 Pengukuran *Augmented Reality* Kantor Tol Solo-Jogja

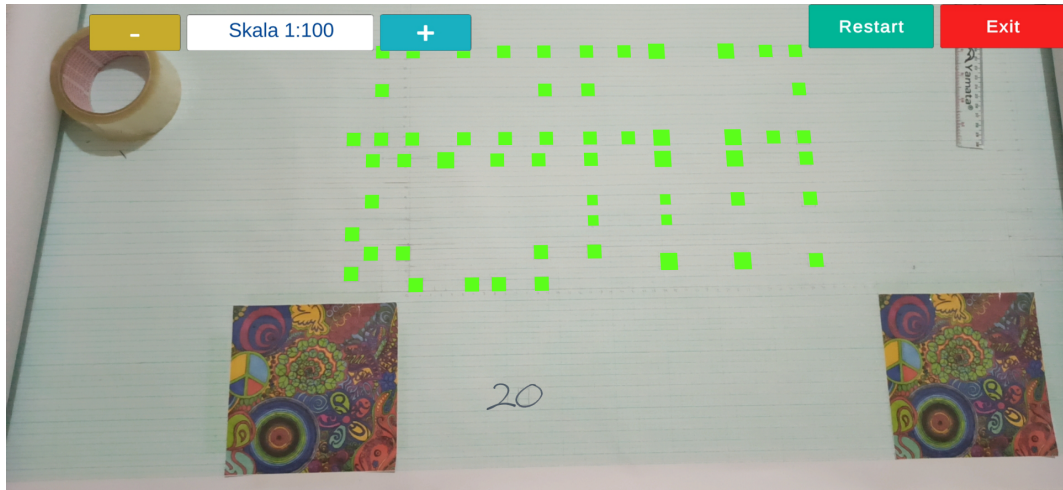
Cara pengukuran menggunakan aplikasi ARCons adalah sebagai berikut :

1. Instal aplikasi Arcons *Augmented Reality*.
2. Tekan tombol *Scan*.
3. Arahkan kamera ke *marker*. (apabila terdeteksi maka akan muncul *visual* bangunan *Pile Cap*).
4. Buat titik titik menggunakan pensil atau spidol sesuai dengan model yang dihasilkan AR.

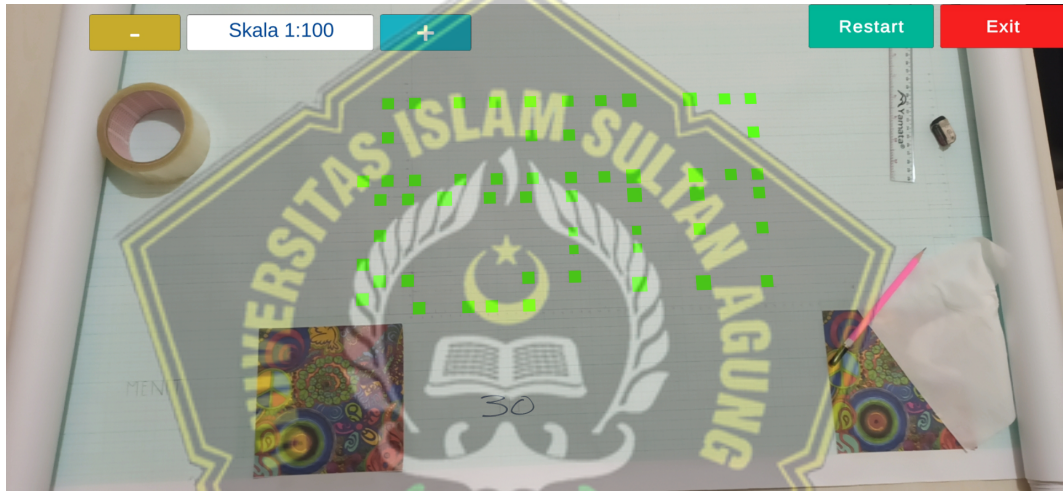
Berikut adalah 6 kali pengukuran menggunakan *Augmented Reality* per 10 menit dengan obyek bangunan Kantor Tol Solo-Jogja :



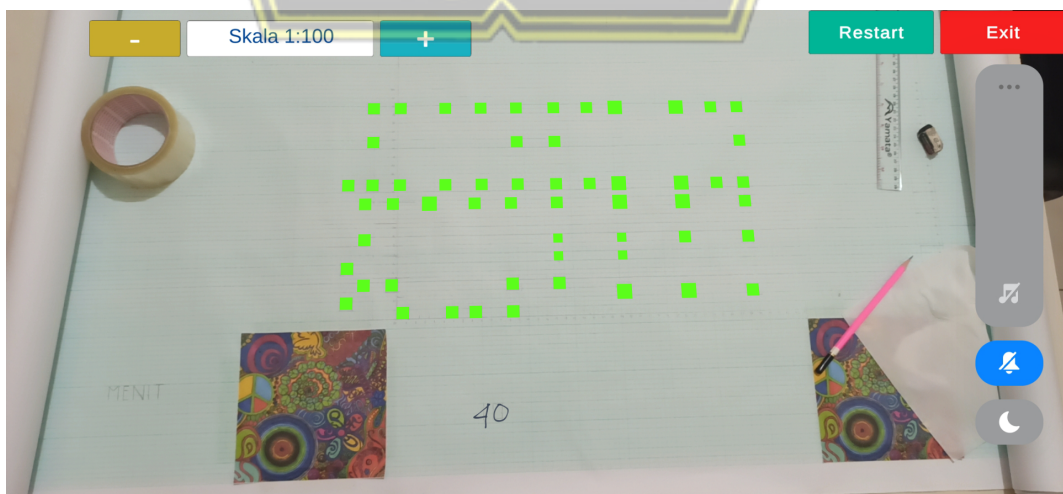
Gambar 4.11. Pengukuran menggunakan AR Bangunan ke-1 Pengujian ke-1 (menit ke 10)



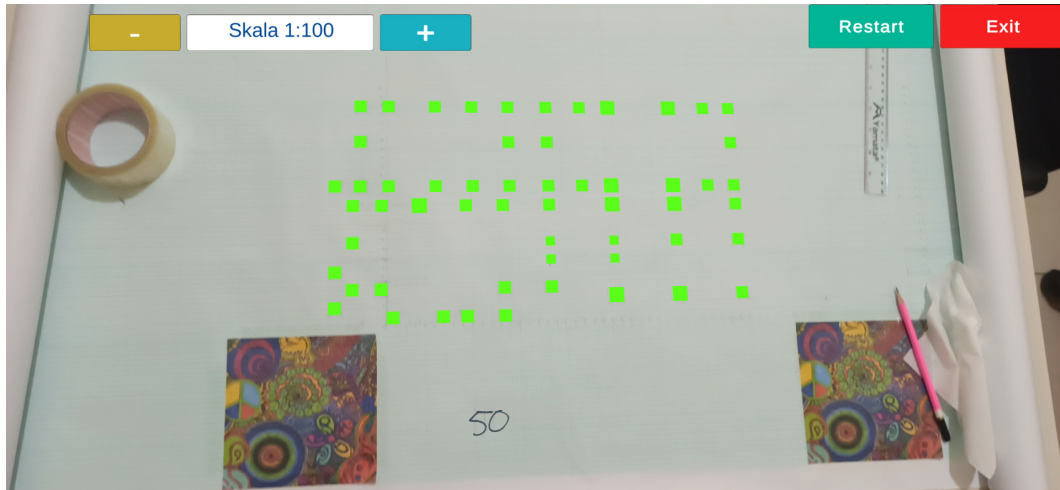
Gambar 4.12. Pengukuran menggunakan AR Bangunan ke-1 Pengujian ke-2 (menit ke 20)



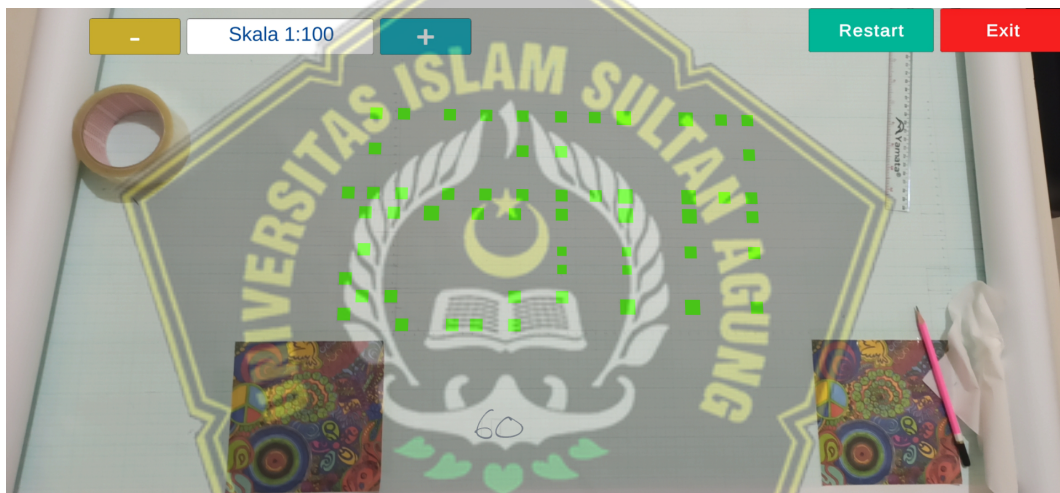
Gambar 4.13. Pengukuran menggunakan AR Bangunan ke-1 Pengujian ke-3 (menit ke 30)



Gambar 4.14. Pengukuran menggunakan AR Bangunan ke-1 Pengujian ke-4 (menit ke 40)



Gambar 4.15. Pengukuran menggunakan AR Bangunan ke-1 Pengujian ke-5 (menit ke 50)



Gambar 4.16. Pengukuran menggunakan AR Bangunan ke-1 Pengujian ke-6 (menit ke 60)

4.2 Hasil Pengukuran

Pada penelitian ini, nilai acuan diperoleh dari perhitungan manual koordinat (X,Y) *Pile Cap* bangunan yang sudah di skala 1 : 100 dan menggunakan ukuran milimeter. Nilai pengukuran adalah hasil dari penyesuaian bangunan yang dimunculkan oleh AR. Galat adalah selisih antara koordinat manual dengan koordinat bangunan yang diperoleh dari visualisasi AR. Galat dalam Persen (%) adalah Hasil Galat yang dikalikan 100%.

4.2.1 Hasil Pengukuran Galat

4.2.1.1 Hasil Pengukuran Galat Bangunan Rumah Menteri IKN

a. Hasil Pengukuran Model Bangunan ke-1 Pengujian ke-1

Tabel 4.1. Hasil pengukuran bangunan ke-1 percobaan ke-1

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
A	A1	0	0	0	0	0	0	0	0
	A2	0	240	1	245	1	5	0,01	0,05
	A3	240	240	239	243	-1	3	-0,01	0,03
	A4	240	0	240	1	0	1	0	0,01
B	B1	-250	440	-251	441	-1	1	-0,01	0,01
	B2	-250	680	-251	681	-1	1	-0,01	0,01
	B3	0	680	-1	691	-1	11	-0,01	0,11
	B4	440	0	450	-2	10	-2	0,1	-0,02
C	C1	-250	1050	-250	1050	0	0	0	0
	C2	-250	1200	-250	1200	0	0	0	0
	C3	0	1200	1	1200	1	0	0,01	0
	C4	0	1050	1	1051	1	1	0,01	0,01
D	D1	410	660	410	660	0	0	0	0
	D2	410	900	410	902	0	2	0	0,02
	D3	650	900	650	900	0	0	0	0
	D4	650	660	654	661	4	1	0,04	0,01
E	E1	410	410	414	410	4	0	0,04	0
	E2	410	640	410	639	0	-1	0	-0,01
	E3	650	640	650	640	0	0	0	0
	E4	650	410	650	410	0	0	0	0
F	F1	340	0	340	1	0	1	0	0,01
	F2	340	240	340	240	0	0	0	0

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
F	F3	380	240	381	239	1	-1	0,01	-0,01
	F4	580	0	581	1	1	1	0,01	0,01
G	G1	790	110	790	110	0	0	0	0
	G2	790	350	792	352	2	2	0,02	0,02
	G3	1030	350	1030	350	0	0	0	0
	G4	1030	110	1031	111	1	1	0,01	0,01
H	H1	790	410	790	410	0	0	0	0
	H2	790	640	790	640	0	0	0	0
	H3	1030	640	1030	640	0	0	0	0
	H4	1030	410	1032	413	2	3	0,02	0,03
I	I1	790	660	790	660	0	0	0	0
	I2	790	900	791	901	1	1	0,01	0,01
	I3	1030	900	1030	900	0	0	0	0
	I4	1030	660	1032	663	2	3	0,02	0,03
J	J1	1480	660	1480	660	0	0	0	0
	J2	1480	900	1480	900	0	0	0	0
	J3	1730	900	1728	899	-2	-1	-0,02	-0,01
	J4	1730	660	1730	660	0	0	0	0
K	K1	1480	410	1479	409	-1	-1	-0,01	-0,01
	K2	1480	640	1480	640	0	0	0	0
	K3	1030	640	1030	640	0	0	0	0
	K4	1730	410	1733	410	3	0	0,03	0
L	L1	1480	111	1480	110	0	-1	0	-0,01
	L2	1480	350	1480	350	0	0	0	0
	L3	1730	350	1730	350	0	0	0	0

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
L	L4	1730	110	1730	110	0	0	0	0
M	M1	1900	112	1900	110	0	-2	0	-0,02
	M2	1900	350	1900	350	0	0	0	0
	M3	2130	350	2128	350	-2	0	-0,02	0
	M4	2130	110	2130	110	0	0	0	0
N	N1	1900	410	1900	410	0	0	0	0
	N2	1900	640	1901	640	1	0	0,01	0
	N3	2130	350	2130	350	0	0	0	0
	N4	2130	410	2130	410	0	0	0	0
O	O1	1900	660	1910	650	10	-10	0,1	-0,1
	O2	1900	900	1901	900	1	0	0,01	0
	O3	2130	900	2130	900	0	0	0	0
	O4	2130	660	2132	660	2	0	0,02	0
P	P1	410	1060	410	1060	0	0	0	0
	P2	410	2030	413	2030	3	0	0,03	0
	P3	780	2030	780	2030	0	0	0	0
	P4	780	1375	781	1375	1	0	0,01	0
	P5	1420	1375	1420	1377	0	2	0	0,02
	P6	1420	1875	1419	1875	-1	0	-0,01	0
	P7	2060	1875	2059	1886	-1	11	-0,01	0,11
	P8	2060	1290	2059	1290	-1	0	-0,01	0
	P9	2130	1290	2130	1290	0	0	0	0
	P10	2130	1210	2130	1209	0	-1	0	-0,01
	P11	2370	1210	2370	1210	0	0	0	0
	P12	2370	930	2370	931	0	1	0	0,01

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
P	P13	1730	930	1730	932	0	2	0	0,02
	P14	410	1060	410	1061	0	1	0	0,01

b. Hasil Pengukuran Model Bangunan ke-1 Pengujian ke-2

Tabel 4.2. Hasil pengukuran bangunan ke-1 percobaan ke-2

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
A	A1	0	0	0	0	0	0	0	0
	A2	0	240	1	245	1	5	0,01	0,05
	A3	240	240	250	243	10	3	0,1	0,03
	A4	240	0	251	1	11	1	0,11	0,01
B	B1	-250	440	-255	441	-5	1	-0,05	0,01
	B2	-250	680	-255	681	-5	1	-0,05	0,01
	B3	0	680	-5	691	-5	11	-0,05	0,11
	B4	440	0	444	-2	4	-2	0,04	-0,02
C	C1	-250	1050	-252	1050	-2	0	-0,02	0
	C2	-250	1200	-254	1201	-4	1	-0,04	0,01
	C3	0	1200	3	1201	3	1	0,03	0,01
	C4	0	1050	3	1051	3	1	0,03	0,01
D	D1	410	660	411	661	1	1	0,01	0,01
	D2	410	900	414	902	4	2	0,04	0,02
	D3	650	900	650	901	0	1	0	0,01
	D4	650	660	654	661	4	1	0,04	0,01
E	E1	410	410	414	410	4	0	0,04	0
	E2	410	640	411	639	1	-1	0,01	-0,01

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
E	E3	650	640	652	641	2	1	0,02	0,01
	E4	650	410	652	410	2	0	0,02	0
F	F1	340	0	341	1	1	1	0,01	0,01
	F2	340	240	340	240	0	0	0	0
	F3	380	240	382	239	2	-1	0,02	-0,01
	F4	580	0	583	2	3	2	0,03	0,02
G	G1	790	110	788	110	-2	0	-0,02	0
	G2	790	350	785	352	-5	2	-0,05	0,02
	G3	1030	350	1028	350	-2	0	-0,02	0
	G4	1030	110	1028	112	-2	2	-0,02	0,02
H	H1	790	410	788	412	-2	2	-0,02	0,02
	H2	790	640	791	641	1	1	0,01	0,01
	H3	1030	640	1030	640	0	0	0	0
	H4	1030	410	1030	411	0	1	0	0,01
I	I1	790	660	791	660	1	0	0,01	0
	I2	790	900	791	901	1	1	0,01	0,01
	I3	1030	900	1033	900	3	0	0,03	0
	I4	1030	660	1033	663	3	3	0,03	0,03
J	J1	1480	660	1477	661	-3	1	-0,03	0,01
	J2	1480	900	1478	889	-2	-11	-0,02	-0,11
	J3	1730	900	1730	899	0	-1	0	-0,01
	J4	1730	660	1730	660	0	0	0	0
K	K1	1480	410	1484	409	4	-1	0,04	-0,01
	K2	1480	640	1484	640	4	0	0,04	0

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
K	K3	1030	640	1030	640	0	0	0	0
	K4	1730	410	1733	410	3	0	0,03	0
L	L1	1480	111	1480	110	0	-1	0	-0,01
	L2	1480	350	1480	350	0	0	0	0
	L3	1730	353	1732	350	2	-3	0,02	-0,03
	L4	1730	110	1730	110	0	0	0	0
M	M1	1900	112	1902	110	2	-2	0,02	-0,02
	M2	1900	350	1903	350	3	0	0,03	0
	M3	2130	349	2126	350	-4	1	-0,04	0,01
	M4	2130	110	2131	110	1	0	0,01	0
N	N1	1900	410	1901	410	1	0	0,01	0
	N2	1900	641	1901	640	1	-1	0,01	-0,01
	N3	2130	350	2130	350	0	0	0	0
	N4	2130	410	2130	410	0	0	0	0
O	O1	1900	660	1910	650	10	-10	0,1	-0,1
	O2	1900	900	1900	900	0	0	0	0
	O3	2130	900	2130	900	0	0	0	0
	O4	2130	660	2132	660	2	0	0,02	0
P	P1	410	1060	410	1060	0	0	0	0
	P2	410	2030	412	2030	2	0	0,02	0
	P3	780	2030	780	2030	0	0	0	0
	P4	780	1375	781	1375	1	0	0,01	0
	P5	1420	1375	1420	1377	0	2	0	0,02
	P6	1420	1875	1419	1875	-1	0	-0,01	0
	P7	2060	1875	2059	1886	-1	11	-0,01	0,11
	P8	2060	1290	2059	1290	-1	0	-0,01	0

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
P	P9	2130	1290	2129	1290	-1	0	-0,01	0
	P10	2130	1210	2129	1209	-1	-1	-0,01	-0,01
	P11	2370	1210	2367	1210	-3	0	-0,03	0
	P12	2370	930	2371	931	1	1	0,01	0,01
	P13	1730	930	1732	932	2	2	0,02	0,02
	P14	410	1060	410	1061	0	1	0	0,01

c. Hasil Pengukuran Model Bangunan ke-1 Pengujian ke-3

Tabel 4.3. Hasil pengukuran bangunan ke-1 percobaan ke-3

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
A	A1	0	0	0	0	0	0	0	0
	A2	0	240	1	240	1	0	0,01	0
	A3	240	240	240	240	0	0	0	0
	A4	240	0	240	0	0	0	0	0
B	B1	-250	440	-250	441	0	1	0	0,01
	B2	-250	680	-250	681	0	1	0	0,01
	B3	0	680	0	681	0	1	0	0,01
	B4	440	0	440	2	0	2	0	0,02
C	C1	-250	1050	-250	1050	0	0	0	0
	C2	-250	1200	-250	1200	0	0	0	0
	C3	0	1200	1	1199	1	-1	0,01	-0,01
	C4	0	1050	1	1049	1	-1	0,01	-0,01
D	D1	410	660	410	661	0	1	0	0,01
	D2	410	900	410	900	0	0	0	0

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
D	D3	650	900	650	899	0	-1	0	-0,01
	D4	650	660	654	660	4	0	0,04	0
E	E1	410	410	414	412	4	2	0,04	0,02
	E2	410	640	410	640	0	0	0	0
	E3	650	640	650	640	0	0	0	0
	E4	650	410	650	410	0	0	0	0
F	F1	340	0	340	1	0	1	0	0,01
	F2	340	240	340	242	0	2	0	0,02
	F3	380	240	381	235	1	-5	0,01	-0,05
	F4	580	0	581	2	1	2	0,01	0,02
G	G1	790	110	790	112	0	2	0	0,02
	G2	790	350	792	352	2	2	0,02	0,02
	G3	1030	350	1030	350	0	0	0	0
	G4	1030	110	1031	112	1	2	0,01	0,02
H	H1	790	410	790	409	0	-1	0	-0,01
	H2	790	640	790	640	0	0	0	0
	H3	1030	640	1030	640	0	0	0	0
	H4	1030	410	1032	413	2	3	0,02	0,03
I	I1	790	660	790	660	0	0	0	0
	I2	790	900	791	902	1	2	0,01	0,02
	I3	1030	900	1031	902	1	2	0,01	0,02
	I4	1030	660	1032	663	2	3	0,02	0,03
J	J1	1480	660	1480	662	0	2	0	0,02
	J2	1480	900	1481	900	1	0	0,01	0
	J3	1730	900	1728	898	-2	-2	-0,02	-0,02
	J4	1730	660	1730	661	0	1	0	0,01

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
K	K1	1480	410	1475	409	-5	-1	-0,05	-0,01
	K2	1480	640	1480	640	0	0	0	0
	K3	1030	640	1030	640	0	0	0	0
	K4	1730	410	1732	411	2	1	0,02	0,01
L	L1	1480	111	1480	110	0	-1	0	-0,01
	L2	1480	350	1481	350	1	0	0,01	0
	L3	1730	353	1732	350	2	-3	0,02	-0,03
	L4	1730	110	1731	110	1	0	0,01	0
M	M1	1900	112	1900	110	0	-2	0	-0,02
	M2	1900	350	1901	350	1	0	0,01	0
	M3	2130	349	2128	350	-2	1	-0,02	0,01
	M4	2130	110	2132	111	2	1	0,02	0,01
N	N1	1900	410	1902	412	2	2	0,02	0,02
	N2	1900	641	1901	640	1	-1	0,01	-0,01
	N3	2130	350	2130	350	0	0	0	0
	N4	2130	410	2130	410	0	0	0	0
O	O1	1900	660	1910	650	10	-10	0,1	-0,1
	O2	1900	900	1901	900	1	0	0,01	0
	O3	2130	900	2130	900	0	0	0	0
	O4	2130	660	2132	660	2	0	0,02	0
P	P1	410	1060	410	1060	0	0	0	0
	P2	410	2030	413	2030	3	0	0,03	0
	P3	780	2030	782	2032	2	2	0,02	0,02
	P4	780	1375	781	1375	1	0	0,01	0
	P5	1420	1375	1420	1377	0	2	0	0,02
	P6	1420	1875	1419	1875	-1	0	-0,01	0

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
P	P7	2060	1875	2059	1886	-1	11	-0,01	0,11
	P8	2060	1290	2059	1290	-1	0	-0,01	0
	P9	2130	1290	2131	1291	1	1	0,01	0,01
	P10	2130	1210	2129	1208	-1	-2	-0,01	-0,02
	P11	2370	1210	2371	1211	1	1	0,01	0,01
	P12	2370	930	2371	931	1	1	0,01	0,01
	P13	1730	930	1731	932	1	2	0,01	0,02
	P14	410	1060	409	1061	-1	1	-0,01	0,01

d. Hasil Pengukuran Model Bangunan ke-1 Pengujian ke-4

Tabel 4.4. Hasil pengukuran bangunan ke-1 percobaan ke-4

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
A	A1	0	0	0	0	0	0	0	0
	A2	0	240	1	240	1	0	0,01	0
	A3	240	240	240	241	0	1	0	0,01
	A4	240	0	240	1	0	1	0	0,01
B	B1	-250	440	-251	441	-1	1	-0,01	0,01
	B2	-250	680	-251	681	-1	1	-0,01	0,01
	B3	0	680	0	681	0	1	0	0,01
	B4	440	0	440	2	0	2	0	0,02
C	C1	-250	1050	-250	1051	0	1	0	0,01
	C2	-250	1200	-250	1202	0	2	0	0,02
	C3	0	1200	1	1198	1	-2	0,01	-0,02
	C4	0	1050	1	1049	1	-1	0,01	-0,01

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
D	D1	410	660	411	661	1	1	0,01	0,01
	D2	410	900	413	902	3	2	0,03	0,02
	D3	650	900	651	899	1	-1	0,01	-0,01
	D4	650	660	653	665	3	5	0,03	0,05
E	E1	410	410	412	412	2	2	0,02	0,02
	E2	410	640	412	640	2	0	0,02	0
	E3	650	640	652	642	2	2	0,02	0,02
	E4	650	410	651	411	1	1	0,01	0,01
F	F1	340	0	341	2	1	2	0,01	0,02
	F2	340	240	341	242	1	2	0,01	0,02
	F3	380	240	378	241	-2	1	-0,02	0,01
	F4	580	0	582	1	2	1	0,02	0,01
G	G1	790	110	791	112	1	2	0,01	0,02
	G2	790	350	792	352	2	2	0,02	0,02
	G3	1030	350	1032	352	2	2	0,02	0,02
	G4	1030	110	1031	112	1	2	0,01	0,02
H	H1	790	410	792	405	2	-5	0,02	-0,05
	H2	790	640	791	642	1	2	0,01	0,02
	H3	1030	640	1032	643	2	3	0,02	0,03
	H4	1030	410	1032	413	2	3	0,02	0,03
I	I1	790	660	790	662	0	2	0	0,02
	I2	790	900	791	902	1	2	0,01	0,02
	I3	1030	900	1031	901	1	1	0,01	0,01
	I4	1030	660	1032	661	2	1	0,02	0,01
J	J1	1480	660	1482	663	2	3	0,02	0,03

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
J	J2	1480	900	1481	899	1	-1	0,01	-0,01
	J3	1730	900	1728	898	-2	-2	-0,02	-0,02
	J4	1730	660	1730	661	0	1	0	0,01
K	K1	1480	410	1475	409	-5	-1	-0,05	-0,01
	K2	1480	640	1480	640	0	0	0	0
	K3	1030	640	1030	642	0	2	0	0,02
	K4	1730	410	1732	411	2	1	0,02	0,01
L	L1	1480	111	1480	110	0	-1	0	-0,01
	L2	1480	350	1481	350	1	0	0,01	0
	L3	1730	353	1732	350	2	-3	0,02	-0,03
	L4	1730	110	1731	110	1	0	0,01	0
M	M1	1900	112	1900	110	0	-2	0	-0,02
	M2	1900	350	1901	350	1	0	0,01	0
	M3	2130	349	2128	350	-2	1	-0,02	0,01
	M4	2130	110	2132	111	2	1	0,02	0,01
N	N1	1900	410	1902	412	2	2	0,02	0,02
	N2	1900	641	1901	640	1	-1	0,01	-0,01
	N3	2130	350	2130	352	0	2	0	0,02
	N4	2130	410	2130	412	0	2	0	0,02
O	O1	1900	660	1910	650	10	-10	0,1	-0,1
	O2	1900	900	1901	901	1	1	0,01	0,01
	O3	2130	900	2130	901	0	1	0	0,01
	O4	2130	660	2132	662	2	2	0,02	0,02
P	P1	410	1060	410	1058	0	-2	0	-0,02
	P2	410	2030	413	2030	3	0	0,03	0
	P3	780	2030	782	2032	2	2	0,02	0,02

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
P	P4	780	1375	781	1375	1	0	0,01	0
	P5	1420	1375	1420	1377	0	2	0	0,02
	P6	1420	1875	1419	1875	-1	0	-0,01	0
	P7	2060	1875	2059	1886	-1	11	-0,01	0,11
	P8	2060	1290	2059	1290	-1	0	-0,01	0
	P9	2130	1290	2131	1291	1	1	0,01	0,01
	P10	2130	1210	2129	1208	-1	-2	-0,01	-0,02
	P11	2370	1210	2371	1211	1	1	0,01	0,01
	P12	2370	930	2371	931	1	1	0,01	0,01
	P13	1730	930	1731	932	1	2	0,01	0,02
	P14	410	1060	409	1059	-1	-1	-0,01	-0,01

e. Hasil Pengukuran Model Bangunan ke-1 Pengujian ke-5

Tabel 4.5. Hasil pengukuran bangunan ke-1 percobaan ke-5

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
A	A1	0	0	0	0	0	0	0	0
	A2	0	240	1	240	1	0	0,01	0
	A3	240	240	240	240	0	0	0	0
	A4	240	0	240	0	0	0	0	0
B	B1	-250	440	-250	441	0	1	0	0,01
	B2	-250	680	-250	681	0	1	0	0,01
	B3	0	680	0	681	0	1	0	0,01
	B4	440	0	440	2	0	2	0	0,02
C	C1	-250	1050	-250	1050	0	0	0	0
	C2	-250	1200	-250	1200	0	0	0	0
	C3	0	1200	1	1199	1	-1	0,01	-0,01
	C4	0	1050	1	1049	1	-1	0,01	-0,01

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
D	D1	410	660	410	661	0	1	0	0,01
	D2	410	900	410	900	0	0	0	0
	D3	650	900	650	899	0	-1	0	-0,01
	D4	650	660	654	660	4	0	0,04	0
E	E1	410	410	414	412	4	2	0,04	0,02
	E2	410	640	410	642	0	2	0	0,02
	E3	650	640	651	642	1	2	0,01	0,02
	E4	650	410	650	410	0	0	0	0
F	F1	340	0	342	2	2	2	0,02	0,02
	F2	340	240	340	240	0	0	0	0
	F3	380	240	381	235	1	-5	0,01	-0,05
	F4	580	0	581	2	1	2	0,01	0,02
G	G1	790	110	790	112	0	2	0	0,02
	G2	790	350	792	352	2	2	0,02	0,02
	G3	1030	350	1030	350	0	0	0	0
	G4	1030	110	1031	112	1	2	0,01	0,02
H	H1	790	410	790	409	0	-1	0	-0,01
	H2	790	640	790	641	0	1	0	0,01
	H3	1030	640	1030	642	0	2	0	0,02
	H4	1030	410	1032	413	2	3	0,02	0,03
I	I1	790	660	790	660	0	0	0	0
	I2	790	900	791	902	1	2	0,01	0,02
	I3	1030	900	1031	902	1	2	0,01	0,02
	I4	1030	660	1032	663	2	3	0,02	0,03
J	J1	1480	660	1480	662	0	2	0	0,02
	J2	1480	900	1481	900	1	0	0,01	0

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
J	J3	1730	900	1728	898	-2	-2	-0,02	-0,02
	J4	1730	660	1730	661	0	1	0	0,01
K	K1	1480	410	1475	409	-5	-1	-0,05	-0,01
	K2	1480	640	1480	640	0	0	0	0
	K3	1030	640	1030	640	0	0	0	0
	K4	1730	410	1732	411	2	1	0,02	0,01
L	L1	1480	111	1480	110	0	-1	0	-0,01
	L2	1480	350	1481	350	1	0	0,01	0
	L3	1730	353	1732	350	2	-3	0,02	-0,03
	L4	1730	110	1731	110	1	0	0,01	0
M	M1	1900	112	1900	110	0	-2	0	-0,02
	M2	1900	350	1901	350	1	0	0,01	0
	M3	2130	349	2128	350	-2	1	-0,02	0,01
	M4	2130	110	2132	111	2	1	0,02	0,01
N	N1	1900	410	1902	412	2	2	0,02	0,02
	N2	1900	641	1901	640	1	-1	0,01	-0,01
	N3	2130	350	2130	350	0	0	0	0
	N4	2130	410	2130	410	0	0	0	0
O	O1	1900	660	1909	653	9	-7	0,09	-0,07
	O2	1900	900	1901	900	1	0	0,01	0
	O3	2130	900	2130	900	0	0	0	0
	O4	2130	660	2132	660	2	0	0,02	0
P	P1	410	1060	410	1060	0	0	0	0
	P2	410	2030	413	2030	3	0	0,03	0
	P3	780	2030	782	2032	2	2	0,02	0,02
	P4	780	1375	781	1375	1	0	0,01	0

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
P	P5	1420	1375	1420	1377	0	2	0	0,02
	P6	1420	1875	1419	1875	-1	0	-0,01	0
	P7	2060	1875	2059	1877	-1	2	-0,01	0,02
	P8	2060	1290	2057	1288	-3	-2	-0,03	-0,02
	P9	2130	1290	2130	1290	0	0	0	0
	P10	2130	1210	2129	1209	-1	-1	-0,01	-0,01
	P11	2370	1210	2371	1212	1	2	0,01	0,02
	P12	2370	930	2372	931	2	1	0,02	0,01
	P13	1730	930	1732	931	2	1	0,02	0,01
	P14	410	1060	409	1063	-1	3	-0,01	0,03

f. Hasil Pengukuran Model Bangunan ke-1 Pengujian ke-6

Tabel 4.6. Hasil pengukuran bangunan ke-1 percobaan ke-6

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
A	A1	0	0	0	0	0	0	0	0
	A2	0	240	1	241	1	1	0,01	0,01
	A3	240	240	240	240	0	0	0	0
	A4	240	0	240	0	0	0	0	0
B	B1	-250	440	-249	442	1	2	0,01	0,02
	B2	-250	680	-251	681	-1	1	-0,01	0,01
	B3	0	680	0	682	0	2	0	0,02
	B4	440	0	442	2	2	2	0,02	0,02

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
C	C1	-250	1050	-251	1050	-1	0	-0,01	0
	C2	-250	1200	-250	1200	0	0	0	0
	C3	0	1200	1	1199	1	-1	0,01	-0,01
	C4	0	1050	2	1049	2	-1	0,02	-0,01
D	D1	410	660	412	661	2	1	0,02	0,01
	D2	410	900	412	902	2	2	0,02	0,02
	D3	650	900	650	902	0	2	0	0,02
	D4	650	660	654	661	4	1	0,04	0,01
E	E1	410	410	412	415	2	5	0,02	0,05
	E2	410	640	413	643	3	3	0,03	0,03
	E3	650	640	650	641	0	1	0	0,01
	E4	650	410	650	411	0	1	0	0,01
F	F1	340	0	342	2	2	2	0,02	0,02
	F2	340	240	340	242	0	2	0	0,02
	F3	380	240	382	235	2	-5	0,02	-0,05
	F4	580	0	583	2	3	2	0,03	0,02
G	G1	790	110	790	111	0	1	0	0,01
	G2	790	350	792	352	2	2	0,02	0,02
	G3	1030	350	1030	352	0	2	0	0,02
	G4	1030	110	1031	112	1	2	0,01	0,02
H	H1	790	410	790	409	0	-1	0	-0,01
	H2	790	640	790	640	0	0	0	0
	H3	1030	640	1030	642	0	2	0	0,02
	H4	1030	410	1030	413	0	3	0	0,03
I	I1	790	660	791	660	1	0	0,01	0
	I2	790	900	791	902	1	2	0,01	0,02

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
I	I3	1030	900	1031	902	1	2	0,01	0,02
	I4	1030	660	1032	663	2	3	0,02	0,03
J	J1	1480	660	1480	662	0	2	0	0,02
	J2	1480	900	1481	900	1	0	0,01	0
	J3	1730	900	1729	899	-1	-1	-0,01	-0,01
	J4	1730	660	1730	661	0	1	0	0,01
K	K1	1480	410	1472	408	-8	-2	-0,08	-0,02
	K2	1480	640	1480	640	0	0	0	0
	K3	1030	640	1030	640	0	0	0	0
	K4	1730	410	1732	411	2	1	0,02	0,01
L	L1	1480	111	1481	111	1	0	0,01	0
	L2	1480	350	1481	351	1	1	0,01	0,01
	L3	1730	353	1732	352	2	-1	0,02	-0,01
	L4	1730	110	1731	112	1	2	0,01	0,02
M	M1	1900	112	1900	110	0	-2	0	-0,02
	M2	1900	350	1901	352	1	2	0,01	0,02
	M3	2130	349	2128	351	-2	2	-0,02	0,02
	M4	2130	110	2131	111	1	1	0,01	0,01
N	N1	1900	410	1901	412	1	2	0,01	0,02
	N2	1900	641	1902	640	2	-1	0,02	-0,01
	N3	2130	350	2133	350	3	0	0,03	0
	N4	2130	410	2132	410	2	0	0,02	0
O	O1	1900	660	1910	652	10	-8	0,1	-0,08
	O2	1900	900	1901	900	1	0	0,01	0
	O3	2130	900	2130	902	0	2	0	0,02
	O4	2130	660	2132	660	2	0	0,02	0

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
P	P1	410	1060	410	1062	0	2	0	0,02
	P2	410	2030	413	2030	3	0	0,03	0
	P3	780	2030	782	2032	2	2	0,02	0,02
	P4	780	1375	781	1375	1	0	0,01	0
	P5	1420	1375	1420	1377	0	2	0	0,02
	P6	1420	1875	1419	1875	-1	0	-0,01	0
	P7	2060	1875	2059	1882	-1	7	-0,01	0,07
	P8	2060	1290	2059	1290	-1	0	-0,01	0
	P9	2130	1290	2131	1291	1	1	0,01	0,01
	P10	2130	1210	2129	1207	-1	-3	-0,01	-0,03
	P11	2370	1210	2371	1212	1	2	0,01	0,02
	P12	2370	930	2372	932	2	2	0,02	0,02
	P13	1730	930	1735	935	5	5	0,05	0,05
	P14	410	1060	412	1063	2	3	0,02	0,03

4.2.1.2 Hasil Pengukuran Galat Bangunan Kantor Tol Solo-Jogja

a. Hasil Pengukuran Model Bangunan Kantor Tol Pengujian ke-1

Tabel 4.7. Hasil pengukuran bangunan ke-2 percobaan ke-1

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
1	A	0	0	0	0	0	0	0	0
	B	0	130	1	132	1	2	0,01	0,02
	C	130	130	133	132	3	2	0,03	0,02
	D	130	0	132	1	2	1	0,02	0,01
4	A	-592	107	-595	110	-3	3	-0,03	0,03
	B	-592	212	-591	210	1	-2	0,01	-0,02
	C	-462	212	-461	211	1	-1	0,01	-0,01
	D	-462	107	-463	108	-1	1	-0,01	0,01
5	A	-592	478	-590	474	2	-4	0,02	-0,04
	B	-592	628	-591	624	1	-4	0,01	-0,04
	C	-462	628	-464	623	-2	-5	-0,02	-0,05
	D	-462	478	-464	474	-2	-4	-0,02	-0,04
8	A	-602	1395	-600	1398	2	3	0,02	0,03
	B	-602	1525	-600	1526	2	1	0,02	0,01
	C	-472	1525	-477	1527	-5	2	-0,05	0,02
	D	-472	1395	-478	1399	-6	4	-0,06	0,04
9	A	-44	1395	-45	1394	-1	-1	-0,01	-0,01
	B	-44	1525	-45	1523	-1	-2	-0,01	-0,02
	C	86	1525	85	1522	-1	-3	-0,01	-0,03

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
9	D	86	1395	83	1394	-3	-1	-0,03	-0,01
10	A	-44	1887	-42	1884	2	-3	0,02	-0,03
	B	-44	2017	-41	2012	3	-5	0,03	-0,05
	C	86	2017	84	2014	-2	-3	-0,02	-0,03
	D	86	1887	85	1883	-1	-4	-0,01	-0,04
11	A	-340	2283	-342	2286	-2	3	-0,02	0,03
	B	-340	2413	-341	2420	-1	7	-0,01	0,07
	C	-210	2413	-212	2418	-2	5	-0,02	0,05
	D	-210	2283	-213	2288	-3	5	-0,03	0,05
28	A	1655	2283	1652	2290	-3	7	-0,03	0,07
	B	1655	2413	1654	2420	-1	7	-0,01	0,07
	C	1785	2413	1789	2411	4	-2	0,04	-0,02
	D	1785	2283	1783	2284	-2	1	-0,02	0,01
39	A	3708	2283	3712	2288	4	5	0,04	0,05
	B	3708	2433	3714	2447	6	14	0,06	0,14
	C	3858	2433	3853	2439	-5	6	-0,05	0,06
	D	3858	2283	3852	2285	-6	2	-0,06	0,02
42	A	3708	1182	3703	1185	-5	3	-0,05	0,03
	B	3708	1312	3702	1313	-6	1	-0,06	0,01
	C	3858	1312	3850	1311	-8	-1	-0,08	-0,01

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
42	D	3858	1182	3851	1183	-7	1	-0,07	0,01
44	A	373	195	372	195	-1	0	-0,01	0
	B	373	326	373	324	0	-2	0	-0,02
	C	385	326	382	323	-3	-3	-0,03	-0,03
	D	385	195	386	192	1	-3	0,01	-0,03
47	A	2332	181	2335	184	3	3	0,03	0,03
	B	2332	341	2336	345	4	4	0,04	0,04
	C	2492	341	2498	344	6	3	0,06	0,03
	D	2492	181	2496	183	4	2	0,04	0,02
48	A	1656	295	1651	290	-5	-5	-0,05	-0,05
	B	1656	425	1652	422	-4	-3	-0,04	-0,03
	C	1786	425	1783	422	-3	-3	-0,03	-0,03
	D	1786	295	1782	293	-4	-2	-0,04	-0,02
49	A	1158	165	1151	162	-7	-3	-0,07	-0,03
	B	1158	295	1154	294	-4	-1	-0,04	-0,01
	C	1288	295	1282	292	-6	-3	-0,06	-0,03
	D	1288	165	1282	166	-6	1	-0,06	0,01
50	A	1158	0	1160	0	2	0	0,02	0
	B	1158	130	1159	132	1	2	0,01	0,02
	C	1288	130	1290	133	2	3	0,02	0,03

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
	D	1288	0	1290	2	2	2	0,02	0,02
51	A	763	0	767	2	4	2	0,04	0,02
	B	763	130	765	132	2	2	0,02	0,02
	C	893	130	895	133	2	3	0,02	0,03
	D	893	0	890	1	-3	1	-0,03	0,01
52	A	516	0	520	3	4	3	0,04	0,03
	B	516	130	521	126	5	-4	0,05	-0,04
	C	646	130	642	125	-4	-5	-0,04	-0,05
	D	646	0	643	2	-3	2	-0,03	0,02

b. Hasil Pengukuran Model Bangunan Kantor Tol Pengujian ke-2

Tabel 4.8. Hasil pengukuran bangunan ke-2 percobaan ke-2

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
1	A	0	0	0	0	0	0	0	0
	B	0	130	1	132	1	2	0,01	0,02
	C	130	130	132	131	2	1	0,02	0,01
	D	130	0	133	3	3	3	0,03	0,03
4	A	-592	107	-590	110	2	3	0,02	0,03
	B	-592	212	-595	210	-3	-2	-0,03	-0,02
	C	-462	212	-463	212	-1	0	-0,01	0
	D	-462	107	-463	108	-1	1	-0,01	0,01

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
5	A	-592	478	-590	474	2	-4	0,02	-0,04
	B	-592	628	-591	625	1	-3	0,01	-0,03
	C	-462	628	-464	623	-2	-5	-0,02	-0,05
	D	-462	478	-466	474	-4	-4	-0,04	-0,04
8	A	-602	1395	-606	1398	-4	3	-0,04	0,03
	B	-602	1525	-600	1526	2	1	0,02	0,01
	C	-472	1525	-473	1527	-1	2	-0,01	0,02
	D	-472	1395	-478	1399	-6	4	-0,06	0,04
9	A	-44	1395	-45	1392	-1	-3	-0,01	-0,03
	B	-44	1525	-45	1521	-1	-4	-0,01	-0,04
	C	86	1525	85	1527	-1	2	-0,01	0,02
	D	86	1395	83	1393	-3	-2	-0,03	-0,02
10	A	-44	1887	-42	1884	2	-3	0,02	-0,03
	B	-44	2017	-45	2014	-1	-3	-0,01	-0,03
	C	86	2017	84	2014	-2	-3	-0,02	-0,03
	D	86	1887	84	1881	-2	-6	-0,02	-0,06
11	A	-340	2283	-342	2286	-2	3	-0,02	0,03
	B	-340	2413	-341	2420	-1	7	-0,01	0,07
	C	-210	2413	-211	2418	-1	5	-0,01	0,05
	D	-210	2283	-212	2288	-2	5	-0,02	0,05
28	A	1655	2283	1657	2294	2	11	0,02	0,11
	B	1655	2413	1656	2422	1	9	0,01	0,09
	C	1785	2413	1789	2412	4	-1	0,04	-0,01
	D	1785	2283	1783	2281	-2	-2	-0,02	-0,02
39	A	3708	2283	3715	2285	7	2	0,07	0,02
	B	3708	2433	3714	2447	6	14	0,06	0,14

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
	C	3858	2433	3855	2434	-3	1	-0,03	0,01
	D	3858	2283	3852	2281	-6	-2	-0,06	-0,02
42	A	3708	1182	3704	1188	-4	6	-0,04	0,06
	B	3708	1312	3706	1312	-2	0	-0,02	0
	C	3858	1312	3855	1312	-3	0	-0,03	0
	D	3858	1182	3851	1182	-7	0	-0,07	0
44	A	373	195	374	195	1	0	0,01	0
	B	373	326	373	324	0	-2	0	-0,02
	C	385	326	385	323	0	-3	0	-0,03
	D	385	195	386	192	1	-3	0,01	-0,03
47	A	2332	181	2335	184	3	3	0,03	0,03
	B	2332	341	2336	345	4	4	0,04	0,04
	C	2492	341	2498	344	6	3	0,06	0,03
	D	2492	181	2496	185	4	4	0,04	0,04
48	A	1656	295	1651	295	-5	0	-0,05	0
	B	1656	425	1652	422	-4	-3	-0,04	-0,03
	C	1786	425	1783	422	-3	-3	-0,03	-0,03
	D	1786	295	1782	293	-4	-2	-0,04	-0,02
49	A	1158	165	1151	162	-7	-3	-0,07	-0,03
	B	1158	295	1154	294	-4	-1	-0,04	-0,01
	C	1288	295	1285	292	-3	-3	-0,03	-0,03
	D	1288	165	1286	164	-2	-1	-0,02	-0,01
50	A	1158	0	1167	1	9	1	0,09	0,01
	B	1158	130	1157	133	-1	3	-0,01	0,03
	C	1288	130	1293	133	5	3	0,05	0,03
	D	1288	0	1291	2	3	2	0,03	0,02

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
51	A	763	0	767	1	4	1	0,04	0,01
	B	763	130	765	132	2	2	0,02	0,02
	C	893	130	893	132	0	2	0	0,02
	D	893	0	893	1	0	1	0	0,01
52	A	516	0	526	2	10	2	0,1	0,02
	B	516	130	520	125	4	-5	0,04	-0,05
	C	646	130	642	123	-4	-7	-0,04	-0,07
	D	646	0	640	1	-6	1	-0,06	0,01

c. Hasil Pengukuran Model Bangunan Kantor Tol Pengujian ke-3

Tabel 4.9. Hasil pengukuran bangunan ke-2 percobaan ke-3

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
1	A	0	0	0	0	0	0	0	0
	B	0	130	1	132	1	2	0,01	0,02
	C	130	130	133	132	3	2	0,03	0,02
	D	130	0	132	1	2	1	0,02	0,01
4	A	-592	107	-590	111	2	4	0,02	0,04
	B	-592	212	-591	210	1	-2	0,01	-0,02
	C	-462	212	-461	211	1	-1	0,01	-0,01
	D	-462	107	-462	108	0	1	0	0,01
5	A	-592	478	-591	472	1	-6	0,01	-0,06
	B	-592	628	-590	624	2	-4	0,02	-0,04
	C	-462	628	-464	623	-2	-5	-0,02	-0,05
	D	-462	478	-464	474	-2	-4	-0,02	-0,04
8	A	-602	1395	-606	1400	-4	5	-0,04	0,05

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
	B	-602	1525	-600	1530	2	5	0,02	0,05
	C	-472	1525	-477	1527	-5	2	-0,05	0,02
	D	-472	1395	-479	1399	-7	4	-0,07	0,04
9	A	-44	1395	-43	1400	1	5	0,01	0,05
	B	-44	1525	-45	1524	-1	-1	-0,01	-0,01
	C	86	1525	85	1519	-1	-6	-0,01	-0,06
	D	86	1395	83	1393	-3	-2	-0,03	-0,02
10	A	-44	1887	-42	1880	2	-7	0,02	-0,07
	B	-44	2017	-41	2012	3	-5	0,03	-0,05
	C	86	2017	84	2014	-2	-3	-0,02	-0,03
	D	86	1887	85	1883	-1	-4	-0,01	-0,04
11	A	-340	2283	-342	2286	-2	3	-0,02	0,03
	B	-340	2413	-341	2420	-1	7	-0,01	0,07
	C	-210	2413	-212	2418	-2	5	-0,02	0,05
	D	-210	2283	-213	2288	-3	5	-0,03	0,05
28	A	1655	2283	1652	2290	-3	7	-0,03	0,07
	B	1655	2413	1654	2420	-1	7	-0,01	0,07
	C	1785	2413	1789	2411	4	-2	0,04	-0,02
	D	1785	2283	1783	2284	-2	1	-0,02	0,01
39	A	3708	2283	3712	2288	4	5	0,04	0,05
	B	3708	2433	3714	2447	6	14	0,06	0,14
	C	3858	2433	3856	2439	-2	6	-0,02	0,06
	D	3858	2283	3856	2285	-2	2	-0,02	0,02
42	A	3708	1182	3701	1185	-7	3	-0,07	0,03
	B	3708	1312	3705	1314	-3	2	-0,03	0,02
	C	3858	1312	3854	1311	-4	-1	-0,04	-0,01
	D	3858	1182	3856	1185	-2	3	-0,02	0,03

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
44	A	373	195	372	195	-1	0	-0,01	0
	B	373	326	375	324	2	-2	0,02	-0,02
	C	385	326	382	323	-3	-3	-0,03	-0,03
	D	385	195	386	192	1	-3	0,01	-0,03
47	A	2332	181	2334	184	2	3	0,02	0,03
	B	2332	341	2337	345	5	4	0,05	0,04
	C	2492	341	2500	342	8	1	0,08	0,01
	D	2492	181	2496	186	4	5	0,04	0,05
48	A	1656	295	1651	295	-5	0	-0,05	0
	B	1656	425	1652	425	-4	0	-0,04	0
	C	1786	425	1788	423	2	-2	0,02	-0,02
	D	1786	295	1785	292	-1	-3	-0,01	-0,03
49	A	1158	165	1150	161	-8	-4	-0,08	-0,04
	B	1158	295	1151	293	-7	-2	-0,07	-0,02
	C	1288	295	1282	292	-6	-3	-0,06	-0,03
	D	1288	165	1282	166	-6	1	-0,06	0,01
50	A	1158	0	1160	0	2	0	0,02	0
	B	1158	130	1159	132	1	2	0,01	0,02
	C	1288	130	1290	133	2	3	0,02	0,03
	D	1288	0	1290	2	2	2	0,02	0,02
51	A	763	0	767	2	4	2	0,04	0,02
	B	763	130	765	132	2	2	0,02	0,02
	C	893	130	895	133	2	3	0,02	0,03
	D	893	0	890	1	-3	1	-0,03	0,01
52	A	516	0	520	3	4	3	0,04	0,03
	B	516	130	521	126	5	-4	0,05	-0,04
	C	646	130	642	125	-4	-5	-0,04	-0,05
	D	646	0	641	3	-5	3	-0,05	0,03

d. Hasil Pengukuran Model Bangunan Kantor Tol Pengujian ke-4

Tabel 4.10. Hasil pengukuran bangunan ke-2 percobaan ke-4

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
1	A	0	0	0	0	0	0	0	0
	B	0	130	1	130	1	0	0,01	0
	C	130	130	133	130	3	0	0,03	0
	D	130	0	132	1	2	1	0,02	0,01
4	A	-592	107	-595	112	-3	5	-0,03	0,05
	B	-592	212	-591	211	1	-1	0,01	-0,01
	C	-462	212	-461	214	1	2	0,01	0,02
	D	-462	107	-463	105	-1	-2	-0,01	-0,02
5	A	-592	478	-590	473	2	-5	0,02	-0,05
	B	-592	628	-593	625	-1	-3	-0,01	-0,03
	C	-462	628	-465	621	-3	-7	-0,03	-0,07
	D	-462	478	-466	474	-4	-4	-0,04	-0,04
8	A	-602	1395	-603	1395	-1	0	-0,01	0
	B	-602	1525	-602	1524	0	-1	0	-0,01
	C	-472	1525	-473	1523	-1	-2	-0,01	-0,02
	D	-472	1395	-476	1399	-4	4	-0,04	0,04
9	A	-44	1395	-46	1393	-2	-2	-0,02	-0,02
	B	-44	1525	-46	1523	-2	-2	-0,02	-0,02
	C	86	1525	83	1524	-3	-1	-0,03	-0,01
	D	86	1395	81	1395	-5	0	-0,05	0
10	A	-44	1887	-43	1884	1	-3	0,01	-0,03
	B	-44	2017	-45	2012	-1	-5	-0,01	-0,05
	C	86	2017	85	2014	-1	-3	-0,01	-0,03

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
10	D	86	1887	85	1883	-1	-4	-0,01	-0,04
11	A	-340	2283	-343	2286	-3	3	-0,03	0,03
	B	-340	2413	-343	2420	-3	7	-0,03	0,07
	C	-210	2413	-212	2418	-2	5	-0,02	0,05
	D	-210	2283	-215	2288	-5	5	-0,05	0,05
28	A	1655	2283	1652	2290	-3	7	-0,03	0,07
	B	1655	2413	1654	2420	-1	7	-0,01	0,07
	C	1785	2413	1789	2411	4	-2	0,04	-0,02
	D	1785	2283	1783	2284	-2	1	-0,02	0,01
39	A	3708	2283	3712	2288	4	5	0,04	0,05
	B	3708	2433	3714	2447	6	14	0,06	0,14
	C	3858	2433	3853	2439	-5	6	-0,05	0,06
	D	3858	2283	3852	2285	-6	2	-0,06	0,02
42	A	3708	1182	3703	1185	-5	3	-0,05	0,03
	B	3708	1312	3702	1313	-6	1	-0,06	0,01
	C	3858	1312	3850	1311	-8	-1	-0,08	-0,01
	D	3858	1182	3851	1183	-7	1	-0,07	0,01
44	A	373	195	372	195	-1	0	-0,01	0
	B	373	326	373	324	0	-2	0	-0,02
	C	385	326	382	323	-3	-3	-0,03	-0,03
	D	385	195	386	192	1	-3	0,01	-0,03
47	A	2332	181	2335	184	3	3	0,03	0,03
	B	2332	341	2336	345	4	4	0,04	0,04
	C	2492	341	2489	344	-3	3	-0,03	0,03
	D	2492	181	2496	183	4	2	0,04	0,02

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
48	A	1656	295	1651	290	-5	-5	-0,05	-0,05
	B	1656	425	1652	420	-4	-5	-0,04	-0,05
	C	1786	425	1783	422	-3	-3	-0,03	-0,03
	D	1786	295	1782	293	-4	-2	-0,04	-0,02
49	A	1158	165	1151	162	-7	-3	-0,07	-0,03
	B	1158	295	1154	294	-4	-1	-0,04	-0,01
	C	1288	295	1282	292	-6	-3	-0,06	-0,03
	D	1288	165	1282	166	-6	1	-0,06	0,01
50	A	1158	0	1160	4	2	4	0,02	0,04
	B	1158	130	1159	132	1	2	0,01	0,02
	C	1288	130	1290	133	2	3	0,02	0,03
	D	1288	0	1290	5	2	5	0,02	0,05
51	A	763	0	767	4	4	4	0,04	0,04
	B	763	130	765	132	2	2	0,02	0,02
	C	893	130	895	133	2	3	0,02	0,03
	D	893	0	890	1	-3	1	-0,03	0,01
52	A	516	0	520	3	4	3	0,04	0,03
	B	516	130	518	122	2	-8	0,02	-0,08
	C	646	130	643	124	-3	-6	-0,03	-0,06
	D	646	0	644	2	-2	2	-0,02	0,02

e. Hasil Pengukuran Model Bangunan Kantor Tol Pengujian ke-5

Tabel 4.11. Hasil pengukuran bangunan ke-2 percobaan ke-5

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
1	A	0	0	0	0	0	0	0	0
	B	0	130	1	132	1	2	0,01	0,02
	C	130	130	133	132	3	2	0,03	0,02
	D	130	0	132	1	2	1	0,02	0,01
4	A	-592	107	-592	111	0	4	0	0,04
	B	-592	212	-591	212	1	0	0,01	0
	C	-462	212	-461	211	1	-1	0,01	-0,01
	D	-462	107	-463	108	-1	1	-0,01	0,01
5	A	-592	478	-590	474	2	-4	0,02	-0,04
	B	-592	628	-591	624	1	-4	0,01	-0,04
	C	-462	628	-466	623	-4	-5	-0,04	-0,05
	D	-462	478	-461	474	1	-4	0,01	-0,04
8	A	-602	1395	-606	1398	-4	3	-0,04	0,03
	B	-602	1525	-604	1527	-2	2	-0,02	0,02
	C	-472	1525	-472	1523	0	-2	0	-0,02
	D	-472	1395	-477	1390	-5	-5	-0,05	-0,05
9	A	-44	1395	-44	1394	0	-1	0	-0,01
	B	-44	1525	-45	1524	-1	-1	-0,01	-0,01
	C	86	1525	87	1520	1	-5	0,01	-0,05
	D	86	1395	83	1396	-3	1	-0,03	0,01
10	A	-44	1887	-45	1884	-1	-3	-0,01	-0,03
	B	-44	2017	-41	2012	3	-5	0,03	-0,05
	C	86	2017	84	2014	-2	-3	-0,02	-0,03
	D	86	1887	85	1883	-1	-4	-0,01	-0,04

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
11	A	-340	2283	-342	2286	-2	3	-0,02	0,03
	B	-340	2413	-341	2420	-1	7	-0,01	0,07
	C	-210	2413	-212	2418	-2	5	-0,02	0,05
	D	-210	2283	-213	2288	-3	5	-0,03	0,05
28	A	1655	2283	1652	2290	-3	7	-0,03	0,07
	B	1655	2413	1654	2420	-1	7	-0,01	0,07
	C	1785	2413	1790	2412	5	-1	0,05	-0,01
	D	1785	2283	1783	2286	-2	3	-0,02	0,03
39	A	3708	2283	3712	2288	4	5	0,04	0,05
	B	3708	2433	3714	2442	6	9	0,06	0,09
	C	3858	2433	3853	2439	-5	6	-0,05	0,06
	D	3858	2283	3852	2285	-6	2	-0,06	0,02
42	A	3708	1182	3703	1185	-5	3	-0,05	0,03
	B	3708	1312	3702	1311	-6	-1	-0,06	-0,01
	C	3858	1312	3850	1316	-8	4	-0,08	0,04
	D	3858	1182	3851	1183	-7	1	-0,07	0,01
44	A	373	195	372	195	-1	0	-0,01	0
	B	373	326	373	324	0	-2	0	-0,02
	C	385	326	382	323	-3	-3	-0,03	-0,03
	D	385	195	386	192	1	-3	0,01	-0,03
47	A	2332	181	2335	184	3	3	0,03	0,03
	B	2332	341	2336	345	4	4	0,04	0,04
	C	2492	341	2498	344	6	3	0,06	0,03
	D	2492	181	2499	182	7	1	0,07	0,01
48	A	1656	295	1651	290	-5	-5	-0,05	-0,05
	B	1656	425	1652	422	-4	-3	-0,04	-0,03

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
48	C	1786	425	1783	422	-3	-3	-0,03	-0,03
	D	1786	295	1782	293	-4	-2	-0,04	-0,02
49	A	1158	165	1151	162	-7	-3	-0,07	-0,03
	B	1158	295	1154	294	-4	-1	-0,04	-0,01
	C	1288	295	1283	290	-5	-5	-0,05	-0,05
	D	1288	165	1282	166	-6	1	-0,06	0,01
50	A	1158	0	1160	1	2	1	0,02	0,01
	B	1158	130	1159	135	1	5	0,01	0,05
	C	1288	130	1293	133	5	3	0,05	0,03
	D	1288	0	1290	2	2	2	0,02	0,02
51	A	763	0	767	2	4	2	0,04	0,02
	B	763	130	764	132	1	2	0,01	0,02
	C	893	130	895	133	2	3	0,02	0,03
	D	893	0	895	1	2	1	0,02	0,01
52	A	516	0	519	2	3	2	0,03	0,02
	B	516	130	521	126	5	-4	0,05	-0,04
	C	646	130	642	125	-4	-5	-0,04	-0,05
	D	646	0	641	3	-5	3	-0,05	0,03

f. Hasil Pengukuran Model Bangunan Kantor Tol Pengujian ke-6

Tabel 4.12. Hasil pengukuran bangunan ke-2 percobaan ke-6

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
1	A	0	0	0	0	0	0	0	0
	B	0	130	2	130	2	0	0,02	0
	C	130	130	132	132	2	2	0,02	0,02
	D	130	0	131	1	1	1	0,01	0,01

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
4	A	-592	107	-595	118	-3	11	-0,03	0,11
	B	-592	212	-592	209	0	-3	0	-0,03
	C	-462	212	-461	211	1	-1	0,01	-0,01
	D	-462	107	-463	108	-1	1	-0,01	0,01
5	A	-592	478	-590	474	2	-4	0,02	-0,04
	B	-592	628	-591	622	1	-6	0,01	-0,06
	C	-462	628	-464	623	-2	-5	-0,02	-0,05
	D	-462	478	-465	474	-3	-4	-0,03	-0,04
8	A	-602	1395	-599	1398	3	3	0,03	0,03
	B	-602	1525	-598	1524	4	-1	0,04	-0,01
	C	-472	1525	-477	1525	-5	0	-0,05	0
	D	-472	1395	-473	1399	-1	4	-0,01	0,04
9	A	-44	1395	-45	1397	-1	2	-0,01	0,02
	B	-44	1525	-45	1522	-1	-3	-0,01	-0,03
	C	86	1525	85	1522	-1	-3	-0,01	-0,03
	D	86	1395	83	1394	-3	-1	-0,03	-0,01
10	A	-44	1887	-42	1884	2	-3	0,02	-0,03
	B	-44	2017	-41	2013	3	-4	0,03	-0,04
	C	86	2017	84	2018	-2	1	-0,02	0,01
	D	86	1887	85	1888	-1	1	-0,01	0,01
11	A	-340	2283	-342	2283	-2	0	-0,02	0
	B	-340	2413	-341	2425	-1	12	-0,01	0,12
	C	-210	2413	-212	2418	-2	5	-0,02	0,05
	D	-210	2283	-213	2283	-3	0	-0,03	0
28	A	1655	2283	1652	2291	-3	8	-0,03	0,08
	B	1655	2413	1654	2423	-1	10	-0,01	0,1

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
28	C	1785	2413	1789	2411	4	-2	0,04	-0,02
	D	1785	2283	1783	2284	-2	1	-0,02	0,01
39	A	3708	2283	3712	2288	4	5	0,04	0,05
	B	3708	2433	3713	2444	5	11	0,05	0,11
	C	3858	2433	3853	2439	-5	6	-0,05	0,06
	D	3858	2283	3852	2285	-6	2	-0,06	0,02
42	A	3708	1182	3703	1185	-5	3	-0,05	0,03
	B	3708	1312	3702	1312	-6	0	-0,06	0
	C	3858	1312	3850	1311	-8	-1	-0,08	-0,01
	D	3858	1182	3851	1183	-7	1	-0,07	0,01
44	A	373	195	372	197	-1	2	-0,01	0,02
	B	373	326	375	324	2	-2	0,02	-0,02
	C	385	326	382	323	-3	-3	-0,03	-0,03
	D	385	195	386	192	1	-3	0,01	-0,03
47	A	2332	181	2335	184	3	3	0,03	0,03
	B	2332	341	2336	345	4	4	0,04	0,04
	C	2492	341	2498	344	6	3	0,06	0,03
	D	2492	181	2496	183	4	2	0,04	0,02
48	A	1656	295	1651	290	-5	-5	-0,05	-0,05
	B	1656	425	1652	422	-4	-3	-0,04	-0,03
	C	1786	425	1783	422	-3	-3	-0,03	-0,03
	D	1786	295	1782	293	-4	-2	-0,04	-0,02
49	A	1158	165	1151	162	-7	-3	-0,07	-0,03
	B	1158	295	1156	294	-2	-1	-0,02	-0,01
	C	1288	295	1281	291	-7	-4	-0,07	-0,04
	D	1288	165	1285	163	-3	-2	-0,03	-0,02

Kolom	Model Uji	Nilai Acuan (mm)		Nilai Pengukuran (mm)		Galat (mm)		Galat (%)	
		x	y	x	y	x	y	x	y
50	A	1158	0	1160	2	2	2	0,02	0,02
	B	1158	130	1159	132	1	2	0,01	0,02
	C	1288	130	1290	133	2	3	0,02	0,03
	D	1288	0	1290	3	2	3	0,02	0,03
51	A	763	0	767	1	4	1	0,04	0,01
	B	763	130	765	132	2	2	0,02	0,02
	C	893	130	894	131	1	1	0,01	0,01
	D	893	0	890	1	-3	1	-0,03	0,01
52	A	516	0	521	1	5	1	0,05	0,01
	B	516	130	521	126	5	-4	0,05	-0,04
	C	646	130	643	122	-3	-8	-0,03	-0,08
	D	646	0	649	2	3	2	0,03	0,02

4.2.2 Perhitungan Rata-rata Galat

Rata rata galat dapat dihitung dengan menjumlahkan total galat dan dibagi banyak nya titik koordinat. Rata rata galat bangunan adalah sebagai berikut :

4.2.2.1 Perhitungan Rata-Rata Galat Rumah Menteri IKN

Jumlah Galat Total Pengujian 1		Jumlah Galat Total		Jumlah Galat Total	
x	y	x	y	x	y
0,4	0,35	0,53	0,3	0,44	0,27
Rata Rata Galat Pengujian 1		Rata Rata Galat		Rata Rata Galat	
x	y	x	y	x	y
0,005405405405	0,00472972973	0,007162162162	0,004054054054	0,005945945946	0,003648648649
Rata Rata Galat (%) Pengujian 1		Rata Rata Galat (%)		Rata Rata Galat (%)	
x	y	x	y	x	y
0,5405405405	0,472972973	0,7162162162	0,4054054054	0,5945945946	0,3648648649

Jumlah Galat Total		Jumlah Galat Total		Jumlah Galat Total	
x	y	x	y	x	y
0,59	0,55	0,45	0,27	0,66	0,65
Rata Rata Galat		Rata Rata Galat		Rata Rata Galat	
x	y	x	y	x	y
0,007972972973	0,007432432432	0,006081081081	0,003648648649	0,008918918919	0,008783783784
Rata Rata Galat (%)		Rata Rata Galat (%)		Rata Rata Galat (%)	
x	y	x	y	x	y
0,7972972973	0,7432432432	0,6081081081	0,3648648649	0,8918918919	0,8783783784

Gambar 4.17. Hasil perhitungan rata rata galat rumah menteri IKN

4.2.2.2 Perhitungan Rata-Rata Galat Kantor Tol Solo-Jogja

Jumlah Galat Total Pengujian 1		Jumlah Galat Total Pengujian 2		Jumlah Galat Total Pengujian 3	
x	y	x	y	x	y
-0,56	0,37	-0,18	0,34	-0,32	0,52
Rata Rata Galat Pengujian 1		Rata Rata Galat Pengujian 2		Rata Rata Galat Pengujian 3	
x	y	x	y	x	y
0,008235294118	0,005441176471	0,002647058824	0,005	0,004705882353	0,007647058824
Rata Rata Galat (%) Pengujian 1		Rata Rata Galat (%) Pengujian 3		Rata Rata Galat (%) Pengujian 3	
x	y	x	y	x	y
0,8235294118	0,5441176471	0,2647058824	0,5	0,4705882353	0,7647058824

Jumlah Galat Total Pengujian 4		Jumlah Galat Total Pengujian 5		Jumlah Galat Total Pengujian 6	
x	y	x	y	x	y
-0,85	0,29	-0,47	0,31	-0,39	0,38
Rata Rata Galat Pengujian 4		Rata Rata Galat Pengujian 5		Rata Rata Galat Pengujian 6	
x	y	x	y	x	y
0,0125	0,004264705882	0,006911764706	0,004558823529	0,005735294118	0,005588235294
Rata Rata Galat (%) Pengujian 4		Rata Rata Galat (%) Pengujian 5		Rata Rata Galat (%) Pengujian 6	
x	y	x	y	x	y
1,25	0,4264705882	0,6911764706	0,4558823529	0,5735294118	0,5588235294

Gambar 4.18. Hasil perhitungan rata rata galat Kantor Tol Solo-Jogja

4.2.3 Hasil Total Perhitungan Galat (dalam %)

Hasil total perhitungan galat yang dilakukan sebanyak 6 kali pengujian dengan penggabungan koordinat x dan y.

4.2.3.1 Perhitungan Galat (dalam %) Rumah Menteri IKN

Hasil total perhitungan galat menggunakan obyek uji bangunan Rumah Menteri IKN adalah sebagai berikut :

Tabel 4.13. Hasil total perhitungan galat rumah Menteri IKN

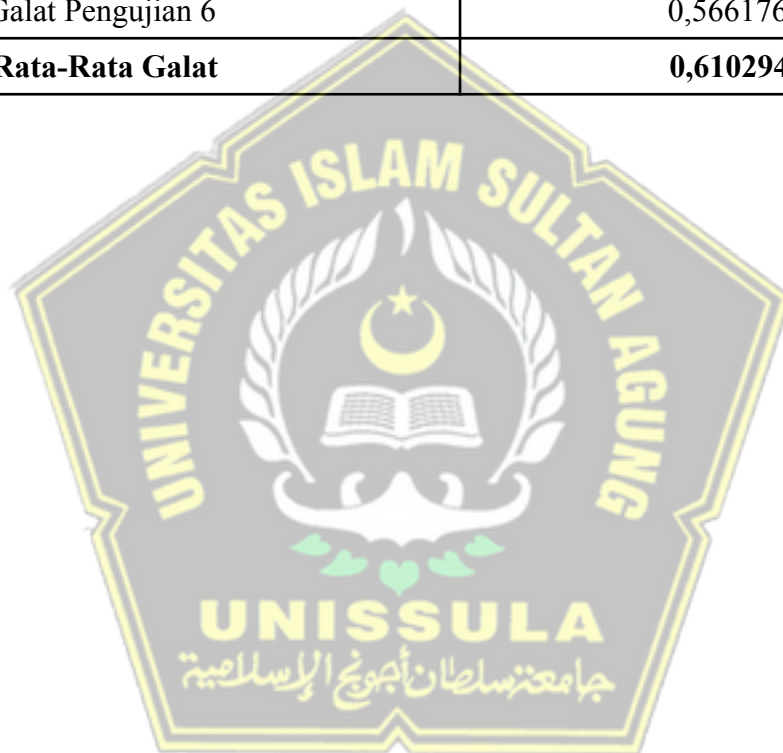
Total Galat Pengujian 1	0,5067567568
Total Galat Pengujian 2	0,5608108108
Total Galat Pengujian 3	0,4797297297
Total Galat Pengujian 4	0,7702702703
Total Galat Pengujian 5	0,4864864865
Total Galat Pengujian 6	0,8851351351
Total Galat	0,6148648649

4.2.3.2 Perhitungan Galat (dalam %) Kantor Tol Solo-Jogja

Hasil total perhitungan galat menggunakan obyek uji bangunan Tol Solo - Jogja adalah sebagai berikut :

Tabel 4.14. Hasil total perhitungan galat kantor solo-jogja

Total Galat Pengujian 1	0,6838235294
Total Galat Pengujian 2	0,3823529412
Total Galat Pengujian 3	0,6176470588
Total Galat Pengujian 4	0,8382352941
Total Galat Pengujian 5	0,5735294118
Total Galat Pengujian 6	0,5661764706
Total Rata-Rata Galat	0,6102941177



BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. a. Implementasi teknologi *Augmented Reality* untuk menentukan koordinat bangunan gedung memiliki nilai galat total sebesar 0,61 % untuk bangunan Rumah IKN.
b. Untuk bangunan Kantor Tol Solo-Jogja memiliki nilai galat sebesar 0,61 % yang dinilai sangat baik untuk alternatif menentukan koordinat bangunan gedung.
2. Teknologi *Augmented Reality* yang digunakan dapat diandalkan untuk menentukan koordinat komponen sebuah gedung.

5.2 Saran

Saran mengenai Implementasi teknologi *Augmented Reality* untuk menentukan koordinat bangunan adalah diharapkan dalam pengujian menggunakan obyek dengan skala penuh atau 1:1. Kemudian direkomendasikan untuk melakukan penambahan pengukuran seperti kontur, sehingga dapat diuji menggunakan 3 arah (X,Y,Z).

DAFTAR PUSTAKA

- Abboud, R. 2014. *Architecture in an Age of Augmented Reality: Opportunities and Obstacles for Mobile AR in Design, Construction, and Post-Completion*.
- Azuma, R. 1997. *A Survey of Augmented Reality. Teleoperators and Virtual Environments*, 6: 355-385.
- Berlian, C.A., Adhi, R.P., Hidayat, A., dan Nugroho, H. (2016). Perbandingan efisiensi waktu, biaya, dan sumber daya manusia antara metode *Building Information Modelling* (BIM) dan konvensional (Studi kasus: perencanaan gedung 20 lantai), *Jurnal Teknik Universitas Diponegoro*, 5, 220-229.
- Brinker, R.C., Wolf, R., & Walijatun, D. (1996). *Dasar - Dasar Pengukuran Tanah (Surveying)*. Edisi ke 7. Jilid 1. Semarang: Erlangga.
- Brinker, R.C., Wolf, R., & Walijatun, D. (1996). *Dasar - Dasar Pengukuran Tanah (Surveying)*. Edisi ke 7. Jilid 2. Semarang: Erlangga.
- Eastman, C. M., Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons.
- Ferdiansyah, D., Wahyono, E.B., & Widodo, S. (2022). Pemanfaatan *Augmented Reality* Dalam Membangun Sistem Informasi Pertanahan Pasca Pendaftaran Tanah Sistematis Lengkap, (halaman).
- Lotlikar, T., Mahajan, D., Khan, J., Ranadive, R., & Sharma, S. 2013. *Augmented Reality-An Emerging Technology. International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*
- McClellan, E. 2013. *An Augmented Reality System for Urban Environments using a Planar Building Facade Model*. National University of Ireland Maynooth, Department of Computer Science, 72.
- Minawati, R., Chandra, H. P., & Nugraha, P. (2017). Manfaat Penggunaan Software Tekla *Building Information Modeling* (Bim) Pada Proyek Design-Build. *Dimensi Utama Teknik Sipil*, 4(2), 8-15.
- Mustaqim, I. (2016). Pemanfaatan *Augmented Reality* sebagai Media Pembelajaran . *JPTK FT UNY* (Vol. 13, No. 2). Hlm 174-183.
- Nugraha, Yudi (2014). Aplikasi Teknologi *Virtual Reality* Bagi Pelestarian

- Bangunan Arsitektur. Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi 13(2):34-45
- Purnaditya, N.P. (2021). Ilmu Ukur Tanah - Konsep Dasar *Surveying*. Modul Kuliah Jurusan Teknik Sipil FT Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Putro, H. T. (2015) Kajian Virtual Reality. Yogyakarta.
- Sosrodarsono, S., Takasaki, M., Dan Gayo, Y.M., (1992). Pengukuran Topografi dan Teknik Pemetaan. Jakarta. ISBN: 979-408-281-3.
- Sutrina, A.C. (2018). Pengembangan Modul Interaktif Berteknologi *Augmented Reality* Sebagai Media Belajar Pengenalan Komponen Dasar Elektronika Untuk Siswa SMK. Skripsi S1. Yogyakarta: Prodi Pendidikan Teknik Elektro FT UNY.

