



**PENGEMBANGAN MEDIA PEMBELAJARAN BARY
(*BOARD'S AUGMENTED REALITY*) PADA POKOK
BAHASAN ELEKTROSTATIKA**

skripsi

disajikan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan
Program Studi Pendidikan Fisika

oleh

Agus Priyono

4201412119

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

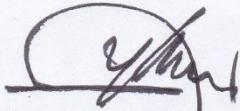
2018

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang ujian skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

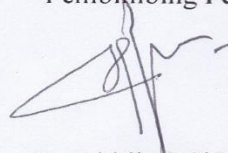
Semarang, 19 Maret 2018

Pembimbing Utama,



Prof. Dr. rer. nat. Wahyu Hardyanto, M.Si.
NIP 196011241984031002

Pembimbing Pendamping,



Isa Akhlis S.Si M.Si.
NIP 197001021999031002

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa yang tertulis dalam skripsi yang berjudul **Pengembangan Media Pembelajaran BARY (*Board's Augmented Reality*)** pada **Pokok Bahasan Elektrostatika** adalah benar – benar hasil karya sendiri, bukan jiplakan dari karya orang lain, baik sebagian atau keseluruhan. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah.

arang, 26 Juli 2018



Agus Priyono
4201412119

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Pengembangan Media Pembelajaran BARY (Board's Augmented Reality)
pada Pokok Bahasan Elektrostatika

disusun oleh

Agus Priyono

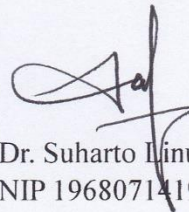
4201412119

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA Unnes pada
tanggal 26 Juli 2018



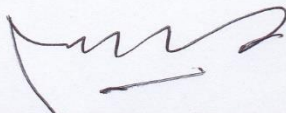
Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si., Akt.
NIP 196412231988031001

Sekretaris,



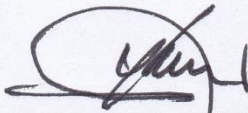
Dr. Suharto Liniwih, M.Si.
NIP 196807141996031005

Ketua Penguji,



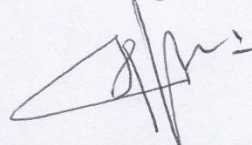
Drs. Budi Naini M, M.App.Sc
NIP 196005111985032002

Anggota Penguji/
Pembimbing Utama,



Prof. Dr. rer. nat. Wahyu Hardyanto, M.Si.
NIP 196011241984031002

Anggota Penguji/
Pembimbing Pendamping,



Isa Akhlis S.Si M.Si.
NIP 197001021999031002

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

Sesungguhnya Allah tidak akan merubah nasib suatu kaum sehingga mereka merubah nasibnya sendiri (QS. Ar Ra'du: 11).

Menjadi penting itu baik, tetapi menjadi baik itu jauh lebih penting.

PERSEMBAHAN

Untuk Bapak, Ibu, dan adikku yang senantiasa memberikan doa, nasehat, serta dukungannya dalam kondisi apapun. Untuk teman-teman kos IR 15 dan 21 yang selalu memberikan semangat. Untuk teman-teman FKIF, FMI, DPM FMIPA yang telah kebersamai dan memberikan banyak makna. Untuk sahabat-sahabat seperjuangan angkatan 2012. Untuk sebuah lingkaran kecil yang penuh akan nuansa cinta dan persaudaraan.

PRAKATA

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Swt atas rahmat dan karunia-Nya penulis diberikan kekuatan, kesehatan, dan kesabaran untuk dapat menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penulisan skripsi ini tidak akan selesai tanpa dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum., Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si., Akt., Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Suharto Linuwih, M.Si, Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
4. Prof. Dr. rer. nat. Wahyu Hardyanto, M.Si. dan Isa Akhliis S.Si M.Si., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta saran dalam penyusunan skripsi ini.
5. Drs. Hadi Susanto, M.Si. dan Sugiyanto S.Pd. M.Si., yang telah memberikan komentar, saran, dan penilaian terhadap aplikasi ini.
6. Mahasiswa fisika angkatan 2014 yang bersedia menjadi responden.
7. Bapak, ibu, dan adik yang selalu memberikan semangat dan motivasi.
8. Teman – teman dan adik – adik angkatan yang selalu menyuruh saya untuk segera lulus.
9. Teman – teman jurusan Fisika yang telah belajar dan berbagi tentang fisika maupun yang lain bersama

10. Teman-teman yang senantiasa membantu dalam penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik dari pembaca. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Semarang, Maret 2018

Penulis

ABSTRAK

Priyono, Agus. 2018. Pengembangan Media Pembelajaran BARY (*Board's Augmented Reality*) pada Pokok Bahasan Elektrostatika. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Prof. Dr.rer.nat. Wahyu Hardyanto M.Si. dan Pembimbing Pendamping Isa Akhli S.Si M.Si.

Kata kunci: *Pengembangan, aplikasi mobile learning, elektrostatika, smartphone Android, augmented reality.*

Proses pembuktian dan pemahaman suatu teori membutuhkan suatu gambaran yang jelas mengenai kasus yang dikaji. Untuk membantu proses tersebut, diperlukan penggunaan media pembelajaran dalam bentuk animasi ataupun alat peraga seperti komputer, proyektor, *smartphone*, ataupun *web* dalam pembelajaran sesuai dengan materi dan perkembangan teknologi. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan media pembelajaran BARY (*Board's Augmented Reality*) pada pokok bahasan elektrostatika sebagai tambahan atau pelengkap pembelajaran materi elektrostatika, menguji validitas dan keefektifannya. Penelitian ini mengikuti model 4D (*Four-D Models*) yaitu *define* (pendefinisian), *design* (perancangan), *develop* (pengembangan), dan *disseminate* (penyebaran). Validasi dilakukan oleh ahli materi dan media meliputi aspek desain pembelajaran, aspek pengembangan perangkat lunak, dan aspek komunikasi visual. Nilai pengujian akan ditentukan oleh para pengguna aplikasi ini yaitu mahasiswa jurusan fisika angkatan 2014. Hasil validasi yang mencakup aspek rekayasa perangkat lunak, aspek substansi materi, dan aspek desain komunikasi menghasilkan nilai 4,60 (92%), 4,57 (91%), dan 4,17 (83%). Secara keseluruhan menghasilkan nilai rata – rata 4,45 atau 89% yang menunjukkan bahwa aplikasi BARY ini layak digunakan. Sedangkan hasil dari pengujian aplikasi dengan mahasiswa menghasilkan nilai 3,92 atau 78% yang menunjukkan aplikasi BARY ini termasuk baik atau layak untuk digunakan.

ABSTRACT

Priyono, Agus. 2018. *Development of BARY's (Board's Augmented Reality) Learning Media on Electrostatics*. Final Project, Physics Department, Faculty of Mathematics and Natural Science, Universitas Negeri Semarang. First Supervisor Prof. Dr.rer.nat. Wahyu Hardyanto M.Si., and Second Supervisor Isa Akhlis S.Si M.Si.

Keyword: *Development, mobile learning applications, elektrostatika, smartphone Android, augmented reality.*

The proofing and understanding of a theory require a clear picture of the case studied. To assist the process, it is required the use of learning media in the form of animation or props such as computers, projectors, smartphones, or the web in learning in accordance with the material and technological developments. The purpose of this research is to develop BARY (Board's Augmented Reality) learning media on electrostatic subjects in addition or complement electrostatic's material learning, test validity and effectiveness. This research follows the 4D (Four-D Models) model that define, design, develop, and disseminate. Validation is done by material and media experts covering aspects of instructional design, software development, and visual communication. The value of the test will be determined by a student of physics majors class of 2014, the users of this application. Validation results covering aspects of software engineering, material substance, and communication design yields 4.60 (92%), 4.57 (91%) , and 4.17 (83%). Overall it yields an average score of 4.45 or 89% indicating that this BARY app is worth using. While the results of applications testing with students produce a value of 3.92 or 78% which indicates BARY application is good or worthy to use.

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|------------------------------|---------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| PERSETUJUAN PEMBIMBING..... | ii |
| PERNYATAAN..... | iii |
| PENGESAHAN..... | iv |
| MOTTO DAN PERSEMBAHAN..... | v |
| PRAKATA..... | vi |
| ABSTRAK..... | viii |
| ABSTRACT..... | ix |
| DAFTAR ISI..... | x |
| DAFTAR TABEL..... | xii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xv |
| BAB 1 PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah..... | 5 |
| 1.3 Pembatasan Masalah..... | 5 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 5 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 6 |
| 1.6 Sistematika Skripsi..... | 7 |
| 1.7 Penegasan Istilah..... | 8 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA..... | 11 |
| 2.1 Mobile Learning..... | 11 |
| 2.2 Media Pembelajaran..... | 13 |
| 2.3 Smartphone Android..... | 16 |
| 2.4 Augmented Reality..... | 18 |
| 2.5 Unity 3D..... | 19 |
| 2.6 Vuforia Qualcomm..... | 20 |
| 2.7 Elektrostatika..... | 23 |
| 2.8 Algoritma..... | 38 |

| | |
|--|----|
| 2.9 Kerangka Berpikir..... | 40 |
| BAB 3 METODE PENELITIAN..... | 41 |
| 3.1 Jenis Penelitian..... | 41 |
| 3.2 Subyek Penelitian..... | 41 |
| 3.3 Objek Penelitian..... | 41 |
| 3.4 Responden Penelitian..... | 41 |
| 3.5 Lokasi dan Waktu Penelitian..... | 42 |
| 3.6 Prosedur Penelitian | 42 |
| 3.7 Metode Pengumpulan Data..... | 47 |
| 3.8 Instrumen Penelitian | 48 |
| 3.9 Metode Analisis Data..... | 49 |
| BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 51 |
| 4.1 Hasil Penelitian | 51 |
| 4.2 Desain Awal Media Pembelajaran | 54 |
| 4.3 Hasil Pengujian dan Perbaikan Tahap Pertama Program..... | 57 |
| 4.4 Hasil Pengujian dan Perbaikan Tahap Kedua Program | 62 |
| 4.5 Pembahasan..... | 64 |
| BAB 5 PENUTUP | 74 |
| 5.1 Simpulan | 74 |
| 5.2 Saran | 74 |
| DAFTAR PUSTAKA | 76 |

DAFTAR TABEL

| Tabel | Halaman |
|--|---------|
| 2.1 Versi-versi Android | 17 |
| 3.1 Rentang Persentase Angket | 50 |
| 4.1 Hasil validasi terhadap aspek substansi materi | 58 |
| 4.2 Hasil validasi terhadap aspek rekayasa perangkat lunak | 60 |
| 4.3 Hasil validasi terhadap aspek desain komunikasi visual | 60 |
| 4.4 Hasil uji coba program oleh mahasiswa secara keseluruhan | 63 |

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Halaman |
|--|---------|
| 2.1 Urutan pengembangan reality-virtuality..... | 18 |
| 2.2 Tampilan user interface Unity3D | 20 |
| 2.3 Objek Mobil 3D Virtual Yang Muncul Pada Kamera | 21 |
| 2.4 Arsitektur Library QCAR SDK..... | 22 |
| 2.5 Tampilan fitur pada marker | 23 |
| 2.6 Muatan sejenis akan tolak menolak..... | 24 |
| 2.7 Muatan yang berlawanan akan tarik menarik..... | 24 |
| 2.8 Muatan q dan q' berada di posisi r dan r' , arah vektor dari titik q' ke q adalah $(r - r')$ dalam ruang 3D | 25 |
| 2.9 Muatan q dan q' dalam proyeksi ruang 3D | 26 |
| 2.10 Garis-garis medan listrik (a) untuk satu muatan positif, (b) untuk satu muatan negatif | 28 |
| 2.11 Garis-garis medan listrik antara dua muatan : (a) berlawanan jenis, (b) sejenis | 28 |
| 2.12 Muatan Q dan q dalam proyeksi ruang 3D | 29 |
| 2.13 Spherical coordinates..... | 31 |
| 2.14 Proyeksi titik t dalam pengaruh muatan q_1, q_2, q_3 , dan q_4 | 32 |
| 2.15 Muatan Q_t yang berada diantara dua muatan | 36 |
| 2.16 Kerangka berpikir dalam penelitian..... | 40 |
| 3.1 Diagram Alir Prosedur Penelitian..... | 43 |
| 4.1 Desain awal media pembelajaran BARY pada tampilan home..... | 55 |
| 4.2 Desain awal media pembelajaran BARY pada tampilan muatan uji berada di sekitar 1 muatan | 55 |
| 4.3 Desain awal media pembelajaran BARY pada tampilan muatan uji yang berada di sekitar 4 muatan | 55 |
| 4.4 Hasil revisi desain media pembelajaran BARY berdasar konsultasi dengan dosen pembimbing pada tampilan (a) scene home, dan (b) panel informasi..... | 56 |

| | | |
|-----|--|----|
| 4.5 | Hasil revisi desain media pembelajaran BARY berdasar konsultasi dengan dosen pembimbing pada tampilan 1 muatan AR standar..... | 57 |
| 4.6 | Hasil revisi desain media pembelajaran BARY berdasar konsultasi dengan dosen pembimbing pada tampilan 4 muatan AR standar..... | 57 |
| 4.7 | Hasil revisi desain media pembelajaran BARY berdasar saran dari validator pada scene home..... | 62 |
| 4.8 | Hasil revisi desain media pembelajaran BARY berdasar saran dari validator pada panel informasi bagian informasi simulasi dengan font segoi ui..... | 62 |
| 4.9 | Hasil revisi desain media pembelajaran BARY berdasar saran dari mahasiswa pada (a) scene home dan (b) panel bantuan singkat..... | 64 |

DAFTAR LAMPIRAN

| Lampiran | Halaman |
|--|---------|
| 1. Surat Keputusan Penetapan Dosen Pembimbing | 79 |
| 2. Persebaran Garis Gaya Listrik Pada Scene 1 Muatan | 80 |
| 3. Angket Penilaian Ahli Media..... | 82 |
| 4. Kriteria Validasi Ahli Media | 85 |
| 5. Angket Penilaian Ahli Materi | 89 |
| 6. Kriteria Validasi Ahli Materi | 91 |
| 7. Angket Penilaian Mahasiswa Terhadap Media | 93 |
| 8. Teks Narasi Lewat Audio | 95 |
| 9. Algoritma 1 Titik t yang berada di sekitar muatan Q | 97 |
| 10. Algoritma 2 Titik t yang berada di sekitar 4 muatan Q | 98 |
| 11. Daftar Responden | 100 |
| 12. Hasil Penilaian Mahasiswa | 101 |
| 13. Pembuktian Simulasi 1 Muatan | 103 |
| 14. Pembuktian Simulasi 4 Muatan pada Medan Listrik | 104 |
| 15. Pembuktian Simulasi 4 Muatan pada Gaya Coulomb | 106 |
| 16. Sampel Kode Program pada Scene 1 Muatan | 110 |
| 17. Sampel Kode Program pada Scene 4 Muatan | 111 |
| 18. <i>Screenshot</i> Tampilan BARY | 113 |
| 19. <i>Screenshot</i> Nilai BARY pada Scene 1 Muatan Bagian Panel Informasi .. | 116 |
| 20. <i>Screenshot</i> Nilai BARY pada Scene 4 Muatan Bagian Panel Informasi .. | 117 |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses pendidikan tidak hanya menyampaikan materi secara langsung ataupun tidak langsung, terutama untuk pembelajaran fisika yang banyak bersifat abstrak dan sulit dipahami tanpa adanya penunjukan fenomena fisisnya. Perlu pembuktian teori agar materi yang disampaikan dapat diterima lebih mudah. Proses membuktikan dan pemahaman suatu teori membutuhkan suatu gambaran yang jelas mengenai kasus yang dikaji (Amrullah, 2015). Untuk membantu proses tersebut, diperlukan penggunaan media pembelajaran dalam bentuk animasi ataupun alat peraga. Termasuk menggunakan komputer, proyektor, *smartphone*, ataupun *web* dalam pembelajaran sesuai dengan materi dan perkembangan teknologi.

Perkembangan dunia teknologi informasi saat ini bisa dikatakan semakin melaju pesat. Hal ini ditandai dengan bertambahnya jumlah pemakai dan program aplikasi komputer, *smartphone*, dan jaringan internet. Berdasarkan data yang dibuat oleh eMarketer (2014) bahwa pengguna *smartphone* di Indonesia pada tahun 2013 terdapat 27,4 juta pengguna, dan diperkirakan pada tahun 2016 terdapat 69,4 juta pengguna. Sejalan dengan itu, jumlah pengembangan teknologi informasi semakin bertambah hingga banyak memunculkan teknologi baru. Bentuk teknologi yang muncul dapat berupa perangkat *hardware* ataupun *software*.

Salah satu teknologi informasi baru yang masih berkembang dan menyebar di dunia merupakan teknologi bernama *augmented reality*. Teknologi ini mulai dikembangkan di berbagai disiplin ilmu, contohnya *game*, industri, hiburan, kedokteran, militer, dan pendidikan, sebagai teknologi unggulan dalam bidang

mereka (Behzadan dan Kamat, 2011). Terutama dalam bidang *game* yang sudah banyak mengembangkan dan menerapkan dalam teknologi yang dikembangkannya. Selain itu, pengusaha-pengusaha properti juga menggunakan teknologi *augmented reality* sebagai tampilan pengguna pada desain produk yang mereka tawarkan.

Pengembangan teknologi informasi *augmented reality* merupakan hal yang pantas diterapkan dalam bidang pendidikan. Ronald T. Azuma (1997) mendefinisikan *augmented reality* sebagai penggabungan benda-benda nyata dan maya di lingkungan nyata, berjalan secara interaktif dalam waktu nyata, dan terdapat integrasi antara benda dalam tiga dimensi, yaitu benda maya terintegrasi dalam dunia nyata. Penggabungan obyek nyata dan maya dimungkinkan dengan teknologi tampilan yang sesuai, interaktivitas dimungkinkan melalui perangkat-perangkat *input* tertentu, dan integrasi yang baik memerlukan penjajakan yang efektif. Pada teknologi *augmented reality*, pengguna dapat melihat dunia nyata yang ada di sekelilingnya dengan penambahan obyek *virtual* yang dihasilkan oleh komputer atau perangkat pendukungnya.

Teknologi *augmented reality* akan sangat mendukung visualisasi fenomena fisis dari materi fisika yang tidak mampu dihadirkan langsung ke dalam kelas, salah satunya materi elektrostatika. Menurut Tipler (2004), Serway (2008), dan Budiyanto (2009) menyebutkan bahwa materi yang mencakup elektrostatika yaitu muatan listrik, hukum coulomb, medan listrik, energi potensial listrik, potensial listrik, dan kapasitor. Melihat beberapa sub bab, misalnya hukum coulomb dan medan listrik, memiliki penjelasan seperti ini :

The force exerted by one point charge on another acts along the line between the charges. It varies inversely as the square of the distance separating the

charges and is proportional to the product of the charges. The force is repulsive if the charges have the same sign and attractive if the charges have opposite signs. (Tipler, 2004 : 656)

...which shows a small positive test charge q_0 placed near a second objek carrying a much greater positive charge Q . We define the electric field due to the source charge at the location of the test charge to be the electric force on the test charge per unit charge, or, to be more specific, the electric field vector at a point in space is defined as the electric force acting on a positive test charge q_0 placed at that point divided by the test charge. (Serway, 2008 : 651)

Kemampuan manusia sekarang belum bisa menghadirkan langsung muatan atau medan listrik di dalam kelas dalam keadaan terisolasi. Berdasarkan penjelasan tersebut, fenomena fisika atau alat peraga yang sesuai materi dari bab elektrostatika akan sangat sulit untuk bisa dihadirkan dalam pembelajaran. Maka dari itu, media visual yang mampu menyajikan fenomena fisiknya akan cukup dibutuhkan.

Media pembelajaran pada pokok bahasan elektrostatika kebanyakan masih berupa aplikasi yang berbasis dua dimensi yang memiliki batasan dalam penggunaannya atau alat peraga yang sangat sederhana. Yusniawati (2011) menyatakan penggunaan gambar diam yang tersedia dalam buku teks pelajaran membuat siswa cenderung pasif dan kurang interaktif karena media gambar tidak mampu memberikan respons timbal balik. Selain itu, ketertarikan siswa terhadap media animasi dua dimensi pun mulai kalah dengan *game* yang sudah berkembang dengan animasi dua atau tiga dimensinya.

Meningkatkan ketertarikan siswa dengan menghadirkan fenomena atau obyek dalam suatu pembelajaran akan membuat proses pembelajaran menjadi lebih terasa. Pemanfaatan media pembelajaran berbasis teknologi *augmented reality* akan sangat bermanfaat dalam meningkatkan proses belajar mengajar karena teknologi ini memiliki aspek-aspek hiburan yang dapat menggugah minat peserta didik untuk memahami secara kongkret karena materi yang disampaikan melalui representasi

visual tiga dimensi dengan melibatkan interaksi *user* dalam *frame augmented reality* (Prasetyo, 2014).

Penelitian dari Alkhamisi dan Monowar (2013: 25 – 34) menghasilkan bahwa *augmented reality* sangat berkompetensi untuk bertahan dalam beberapa tahun terakhir. *Augmented reality* masih dalam tahap awal, dan berkemungkinan untuk menciptakan jumlah aplikasi tanpa batas. Banyak dari produk *augmented reality* sudah dipromosikan dalam banyak jenis dan menyebar di dunia. Berbagai macam informasi mengenai simulasi fisika dalam ruang 3D yang kompleks memberikan pengalaman baru dari sisi dunia, dan dukungan kompatibilitas dari pengembangan pada komputer hingga ke *mobile devices*, dan juga berlangsung peningkatan penyajian informasi yang mendalam dan kesempatan pembelajaran. Di sisi lain, *augmented reality* akan mudah terakses dalam waktu dekat dan akan melengkapi bagian dari hidup kita.

Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Alfiana (2013) menunjukkan bahwa pengembangan media *mobile learning* menggunakan *smartphone* android dapat meningkatkan minat belajar siswa. Proses pembelajaran dengan menghadirkan visual tiga dimensi, interaksi pengguna, dan penjelasan materi pembelajaran langsung di depan mata akan memberikan kesan yang bagus dalam belajar suatu pokok bahasan yang termasuk susah untuk dibayangkan dalam pikiran siswa. Sehingga materi yang diajarkan akan lebih mudah diterima dan tertanam baik dalam pemikiran siswa.

Berdasar alasan-alasan yang telah dipaparkan di atas, maka penulis mengangkat judul skripsi “Pengembangan Media Pembelajaran BARY (*Board's Augmented Reality*) pada Pokok Bahasan Elektrostatika”.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas maka pada penelitian ini dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

- 1) Bagaimana hasil dari pengembangan media pembelajaran BARY (*Board's Augmented Reality*) pada pokok bahasan elektrostatika?
- 2) Bagaimana kelayakan produk media pembelajaran BARY (*Board's Augmented Reality*) pada pokok bahasan elektrostatika?

1.3 Pembatasan Masalah

Media pembelajaran BARY yang maksud pada penelitian ini adalah aplikasi yang akan dijalankan pada *smartphone* dengan sistem operasi Android minimal versi 4.1 (*JellyBean*). Aplikasi BARY ini berbasis tampilan *augmented reality* dengan tampilan tiga dimensi (3D). Aplikasi ini memerlukan *marker* dan tambahan pilihan *virtual reality gear* dan *bluetooth gamepad*. Selain itu, sebagai penunjang aplikasi terdapat buku panduan penggunaan sebagai salah satu sumber informasi tentang aplikasi dan untuk memuat materi fisika yang mendasari aplikasi.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan dari penelitian ini adalah:

- 1) Mendapatkan hasil dari pengembangan media pembelajaran BARY (*Board's Augmented Reality*) pada pokok bahasan elektrostatika
- 2) Mengetahui kelayakan produk media pembelajaran BARY (*Board's Augmented Reality*) pada pokok bahasan elektrostatika

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Bagi peneliti

Penelitian ini dapat digunakan peneliti sebagai pengetahuan sekaligus pengalaman dalam membekali diri sebagai calon pengajar dan mengetahui media pembelajaran yang sesuai terhadap kondisi pelajar yang diteliti. Sebagai penambah wawasan dan pengetahuan mengenai penyusunan karya ilmiah sehingga nantinya dapat dimanfaatkan sebagai acuan untuk menulis karya ilmiah lainnya. Selain itu, pengembangan ini membantu peneliti untuk bisa membuat media pembelajaran berbasis *augmented reality* dan tiga dimensi (3D).

1.5.2 Bagi pelajar

Media pembelajaran elektronik berbasis *augmented reality* ini bagi pelajar dapat digunakan sebagai salah satu alternatif sumber belajar, memberi kemudahan dalam belajar kapan pun dan dimana pun, dan media pembelajaran ini berupa materi pembelajaran yang berbentuk eksperimen virtual dan media tiga dimensi sehingga lebih mudah dipahami oleh siswa.

1.5.3 Bagi pengajar

Media pembelajaran ini dapat digunakan untuk mempermudah dalam menjelaskan materi elektrostatika dan membantu pengajar dalam mengembangkan ide dalam mengajar menggunakan media animasi.

1.5.4 Bagi institusi pendidikan

Bagi institusi pendidikan media pembelajaran ini dapat digunakan sebagai suatu informasi pembaruan media pembelajaran yang dapat meningkatkan kualitas pembelajaran fisika.

1.6 Sistematika Skripsi

1.6.1 Bagian Awal Skripsi

Bagian awal berisi halaman judul, persetujuan pembimbing, halaman pengesahan, pernyataan, moto dan persembahan, kata pengantar, abstrak, daftar isi, daftar tabel, daftar gambar, dan daftar lampiran.

1.6.2 Bagian Isi Skripsi

Bagian isi terdiri atas 5 bab, yaitu:

- (1) Bab 1 Pendahuluan, berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, sistematika skripsi, pembatasan masalah, dan penegasan istilah.
- (2) Bab 2 Tinjauan Pustaka, menjelaskan pengembangan, *mobile learning*, media pembelajaran, *smartphone* android, *augmented reality*, Unity 3D, Vuforia Qualcomm, dan topik elektrostatika.
- (3) Bab 3 Metode Penelitian, meliputi jenis penelitian, desain penelitian (indikator dan kriteria produk), metode pengumpulan data, dan metode analisis data.
- (4) Bab 4 Hasil dan Pembahasan, memaparkan produk yang dihasilkan sesuai dengan model pengembangan, rekap data angket, dan pembahasan.
- (5) Bab 5 Penutup, berisi simpulan dan saran sebagai implikasi hasil penelitian untuk perbaikan produk selanjutnya.

1.6.3 Bagian Akhir Skripsi

Bagian akhir terdiri atas daftar pustaka dan lampiran-lampiran.

1.7 Penegasan Istilah

1.7.1 Pengembangan

Pengembangan merupakan sebuah proses dalam pembuatan produk yang meliputi proses pembuatan, pengujian kelayakan sampai dengan revisi. Metode penelitian dan pengembangan adalah metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu dan menguji keefektifan produk tersebut (Sugiyono, 2012).

1.7.2 *Mobile Learning*

Istilah *mobile learning (m-learning)* mengacu kepada penggunaan perangkat teknologi informasi (TI) genggam dan bergerak, seperti PDA, telepon genggam, laptop dan tablet PC, dalam pengajaran dan pembelajaran (Listiaji, 2015). Tamimuddin (2010) menjelaskan bahwa *mobile learning* adalah pembelajaran yang unik karena pembelajar dapat mengakses materi, arahan dan aplikasi yang berkaitan dengan pembelajaran kapanpun dan dimanapun.

1.7.3 Media Pembelajaran

Media pembelajaran dapat diartikan sebagai alat bantu atau sarana pendukung komunikasi berupa alat-alat grafis atau elektronis di antara guru dengan siswa dalam proses belajar mengajar. Aqib (2009) menjelaskan media pembelajaran adalah segala sesuatu yang dapat digunakan untuk menyalurkan materi pembelajaran kepada peserta didik.

1.7.4 *Smartphone Android*

Smartphone merupakan suatu *device* yang memungkinkan *users* melakukan komunikasi (telpon dan SMS) serta beberapa perintah tambahan dengan adanya fungsi PDA (*personal digital asistant*) dan kemampuan layaknya komputer

(Prihadi, 2012). Smartphone yang digunakan pada penelitian ini adalah *smartphone* dengan sistem operasi Android dengan versi minimal JellyBean.

1.7.5 *Augmented Reality*

Ronald T. Azuma (1997) mendefinisikan *augmented reality* sebagai penggabungan benda-benda nyata dan maya di lingkungan nyata, berjalan secara interaktif dalam waktu nyata, dan terdapat integrasi antara benda dalam tiga dimensi, yaitu benda maya terintegrasi dalam dunia nyata.

1.7.6 *Unity 3D*

John Riccitiello (2014), CEO Unity Technologies, mendeskripsikan Unity adalah software pengembangan sistem game berbasis *multi-platform* bentukan dari Unity Technologies dan digunakan untuk pengembangan *video game* untuk PC, *consoles*, *mobile devices* dan *websites*.

1.7.7 *Vuforia*

Vuforia merupakan *Augmented Reality Software Development Kit* (SDK) teruntuk perangkat *mobile* untuk menyalakan hal yang dibuat untuk aplikasi *augmented reality*. Vuforia menggunakan teknologi *computer vision technology* untuk menyesuaikan dan melacak kode gambar (*image targets*) dan obyek simpel 3D, semacam kotak, dalam waktu nyata secara bersamaan. (qualcomm.com)

1.7.8 *Board's Marker*

Papan *marker* (*board's marker*) yang dimaksud adalah sebuah gambar yang bisa ditampilkan di berbagai objek seperti kertas, layar komputer, atau proyektor. Gambar ini berisi kode khusus yang telah disinkronkan dengan program yang telah dibuat. Papan ini hanya terdiri dari satu gambar sehingga bersifat universal untuk sistem yang dibuat.

1.7.9 Elektrostatika

Elektrostatika yang dimaksud dalam penelitian ini adalah salah materi fisika, akan tetapi penelitian ini berfokus pada muatan listrik, hukum coulomb dan medan listrik. Materi ini akan dijadikan konten pada media pembelajaran BARY yang dikembangkan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Mobile Learning*

Istilah *mobile learning (m-learning)* mengacu kepada penggunaan perangkat teknologi informasi (TI) genggam dan bergerak, seperti *smartphone*, laptop dan tablet PC, dalam pengajaran dan pembelajaran. *Mobile learning* adalah pembelajaran yang unik karena pembelajar dapat mengakses materi, arahan dan aplikasi yang berkaitan dengan pembelajaran kapanpun dan dimanapun. Hal ini akan meningkatkan minat pada materi pembelajaran, membuat pembelajaran menjadi persuasif, dan dapat mendorong motivasi pembelajar kepada pembelajaran sepanjang hayat (Tamimuddin, 2008).

Mobile learning termasuk teknologi pendidikan yang mulai berkembang. Saat *e-learning* mulai mengalami penurunan popularitas dan masyarakat sudah mulai jenuh menggunakannya, teknologi *mobile learning* mulai marak dikembangkan. *Mobile learning* yang merupakan teknologi *Wireless* sehingga semua orang dapat mengakses informasi dan bahan ajar dari mana saja dan dimana saja. Hal ini memungkinkan siswa memiliki kebebasan untuk mengatur kapan mereka ingin belajar dan dimana tempat belajar yang mereka inginkan.

Atlewell (2005) menyatakan bahwa *mobile learning* sendiri memiliki beberapa kelebihan sebagai berikut:

- (1) Membantu siswa meningkatkan kemampuannya.
- (2) Memperkuat pembelajaran individual atau kolaboratif.
- (3) Membantu siswa mengidentifikasi area dimana siswa membutuhkan bimbingan dan dukungan.

- (4) Membantu menjembatani jarak antara perangkat keras *mobile* seperti telepon genggang dan teknologi komunikasi dan informasi.
- (5) Membantu siswa dalam melakukan pembelajaran dan mengatur tingkat ketertarikan mereka.
- (6) Membantu siswa untuk tetap terfokus pada periode yang lama.
- (7) Membantu meningkatkan apresiasi dan kepercayaan diri pada siswa.

Dilihat dari penggunaan *mobile learning*, menurut Hasan sebagaimana dikutip oleh Listiaji (2015) menyatakan bahwa terdapat tiga fungsi *mobile learning* dalam kegiatan pembelajaran di dalam kelas (*classroom instruction*), yaitu sebagai suplemen (tambahan) yang sifatnya pilihan (opsional), pelengkap (komplemen), atau pengganti (substitusi).

(1) Suplemen (tambahan)

Siswa mempunyai kebebasan memilih, apakah akan memanfaatkan materi *mobile learning* atau tidak. Tidak ada kewajiban/keharusan bagi siswa untuk mengakses materi *mobile learning*, jika pun siswa yang memanfaatkannya tentu akan memiliki tambahan pengetahuan atau wawasan.

(2) Komplemen (pelengkap)

Materinya diprogramkan untuk melengkapi materi pembelajaran yang diterima siswa di dalam kelas, yaitu untuk menjadi materi *reinforcement* (penguatan) atau remedial bagi siswa di dalam mengikuti kegiatan pembelajaran konvensional.

(3) Substitusi (pengganti)

Beberapa perguruan tinggi di negara-negara maju memberikan beberapa alternatif model kegiatan pembelajaran kepada para peserta didik/siswanya.

Tujuannya agar para siswa dapat secara fleksibel mengelola kegiatan perkuliahannya sesuai dengan waktu dan aktivitas sehari-hari mahasiswa. Ada tiga alternatif model kegiatan pembelajaran yang dapat dipilih siswa, yaitu: (1) sepenuhnya secara tatap muka (konvensional); (2) sebagian secara tatap muka dan sebagian lagi melalui internet, atau (3) sepenuhnya melalui internet.

2.2 Media Pembelajaran

Media adalah alat atau sarana untuk menyebarkan informasi, seperti surat kabar, radio, dan televisi. Media berasal dari bahasa Latin *medius* yang secara harfiah berarti “tengah”, “perantara” atau “pengantar”. Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia, media merupakan alat sedangkan pembelajaran adalah proses/cara/perbuatan menjadikan orang atau makhluk hidup belajar.

Menurut Tamimuddin (2008), media adalah segala sesuatu yang dapat digunakan untuk menyalurkan pesan pengirim ke penerima yang dapat merangsang pikiran, perasaan, perhatian, dan minat serta perhatian mahasiswa sedemikian rupa, sehingga proses belajar terjadi. Hal serupa juga dijelaskan oleh Sugandi (2008) bahwa media pembelajaran adalah alat/wahana yang digunakan guru dalam proses pembelajaran untuk penyampaian pesan pembelajaran.

Heinich memberikan contoh beberapa media yang sering digunakan seperti film, televisi, diagram, bahan tercetak, komputer, dan instruktur. Berbagai media dapat dijadikan media pembelajaran jika membawa pesan-pesan dalam rangka mencapai tujuan pembelajaran. Heinich juga mengaitkan hubungan antara media dengan pesan dan metode (Heinich *et al.*, 2005:6).

Menurut Sudjana dan Rifai (2009) menjelaskan media pengajaran dapat mempertinggi proses belajar mahasiswa dalam pengajaran yang pada gilirannya diharapkan dapat mempertinggi hasil belajar yang dicapainya. Alasannya berkenaan dengan manfaat media pengajaran dalam proses belajar mahasiswa antara lain : (1) pengajaran akan lebih menarik perhatian mahasiswa sehingga dapat menumbuhkan motivasi belajar; (2) bahan pengajaran akan lebih jelas maknanya sehingga akan lebih dipahami oleh mahasiswa dan memungkinkan mahasiswa menguasai tujuan pengajaran lebih baik; (3) metode mengajar akan lebih bervariasi; (4) mahasiswa lebih banyak melakukan kegiatan belajar sebab tidak hanya mendengarkan uraian dosen tetapi juga aktivitas lain seperti mengamati, melakukan, mendemonstrasikan dan lain - lain.

Kemajuan teknologi juga merupakan aspek yang berpengaruh, salah satu yang dikembangkan adalah pembelajaran berbantuan komputer (*Computer Assisted Teaching*). Karamustafaoğlu (2012) dalam risetnya mengenai penggunaan metode *Computer Assisted Teaching* (Pembelajaran berbantuan Komputer) dalam pembelajaran fisika menyatakan bahwa “ *Research findings strongly supported that computer simulations might be used as an alternative instructional tool to help students develop their understanding of physics and CAT is more successful than traditional teaching methods*”. Kesimpulan dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa simulasi komputer dapat dijadikan sebagai alternatif media pembelajaran fisika dan memberikan tingkat kesuksesan dalam pemahaman fisika lebih besar dibandingkan dengan metode pembelajaran tradisional.

Menurut Wahono dalam Amrullah (2015) dan Listiaji (2015) menjelaskan bahwa terdapat 3 aspek dalam proses penilaian sebuah media pembelajaran yaitu

aspek rekayasa perangkat lunak, aspek desain pembelajaran dan aspek komunikasi visual. Kriteria penilaian termasuk mekanisme penjurian tidak digabungkan menjadi satu, tetapi dipisah dan tiap aspek dinilai oleh orang yang kompeten di aspek tersebut. Aspek-aspek tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut :

2.2.1 Aspek Rekayasa Perangkat Lunak

Aspek rekayasa perangkat lunak dijabarkan sebagai berikut : (1) Efektif dan efisien dalam pengembangan maupun penggunaan media pembelajaran; (2) *Reliable* (handal); (3) *Maintainable* (dapat dipelihara/dikelola dengan mudah); (4) *Usabilitas* (mudah digunakan dan sederhana dalam pengoperasiannya); (5) Ketepatan pemilihan jenis aplikasi / *software* / *tool* untuk pengembangan; (6) Kompatibilitas (media pembelajaran dapat diinstalasi/dijalankan di berbagai *hardware* dan *software* yang ada); (7) *Pemaketan* program media pembelajaran terpadu dan mudah dalam eksekusi; (8) Dokumentasi program media pembelajaran yang lengkap meliputi: petunjuk instalasi (jelas, singkat, lengkap), *troubleshooting* (jelas, terstruktur, dan antisipatif), desain program (jelas, menggambarkan alur kerja program); (9) *Reusable* (sebagian atau seluruh program media pembelajaran dapat dimanfaatkan kembali untuk mengembangkan media pembelajaran lain); (10) Ketepatan dan ketetapan alat evaluasi; dan (11) Pemberian umpan balik terhadap hasil evaluasi.

2.2.2 Aspek Desain Pembelajaran

Aspek desain pembelajaran dijabarkan sebagai berikut : (1) Kejelasan tujuan pembelajaran (rumusan, realistis); (2) Relevansi tujuan pembelajaran dengan SK/KD/Kurikulum; (3) Cakupan dan kedalaman tujuan pembelajaran; (4) Ketepatan penggunaan strategi pembelajaran; (5) Interaktivitas; (6) Pemberian

motivasi belajar; (7) Kontekstualitas dan aktualitas; (8) Kelengkapan dan kualitas bahan bantuan belajar; (9) Kesesuaian materi dengan tujuan pembelajaran; (10) Kedalaman materi; (11) Kemudahan untuk dipahami; (12) Sistematis, runut, alur logika jelas; (13) Kejelasan uraian, pembahasan, contoh, simulasi, latihan; dan (14) Konsistensi evaluasi dengan tujuan pembelajaran.

2.2.3 Aspek Komunikasi Visual

Aspek komunikasi visual dijabarkan sebagai berikut : (1) Komunikatif; sesuai dengan pesan dan dapat diterima / sejalan dengan keinginan sasaran; (2) Kreatif dalam ide berikut penuangan gagasan; (3) Sederhana dan memikat; (4) Audio (narasi, *sound effect*, *backsound*, musik); (5) Visual (*layout design*, *typography*, warna); (6) Media bergerak (animasi, movie); dan (7) *Layout Interactive* (ikon navigasi).

2.3 Smartphone Android

Smartphone merupakan perangkat yang memiliki kemampuan sebagai sarana komunikasi (mengirim pesan dan menelepon) serta kemampuan lain yaitu PDA (*Personal assistent*) yang memungkinkan pengguna melakukan kerja seperti pada komputer pribadi (PC) (Prihadi, 2012).

Pada awal perkembangannya, *handphone* (HP) hanya dapat digunakan untuk komunikasi melalui telepon. Di sisi lain, PDA hanya dapat digunakan sebagai perangkat pengganti PC. Seiring perkembangannya, kedua perangkat tersebut mengalami penambahan fitur yaitu kemampuan koneksi *Wireless* internet pada PDA yang memungkinkan pengguna mengirimkan *email*, serta kemampuan mengirimkan pesan pada HP (Listiaji, 2015).

Pada akhirnya, kedua perangkat tersebut melengkapi kemampuan mereka dengan kemampuan yang belum dimiliki, sehingga terciptalah perangkat baru yang memungkinkan pengguna melakukan aktivitas yang melibatkan kemampuan komunikasi dan juga PDA. Perangkat ini kemudian lebih dikenal dengan sebutan *smartphone*. *Operation system* yang menunjangnya juga ikut berkembang, android salah satunya, yang menjadi sistem operasi terbanyak di *smartphone*.

Android adalah sistem operasi yang berbasis Linux untuk telepon seluler seperti telepon pintar dan komputer tablet (Supardi, 2012). Android menyediakan platform terbuka bagi para pengembang untuk menciptakan aplikasi mereka sendiri untuk digunakan oleh bermacam peranti bergerak. Di dunia ini terdapat dua jenis distributor sistem operasi Android. Pertama yang mendapat dukungan penuh dari Google atau Google Mail Services (GMS) dan kedua adalah yang benar-benar bebas distribusinya tanpa dukungan langsung Google atau dikenal sebagai *Open Handset Distribution* (OHD). Supardi (2012) dan Wikipedia (2016) menuliskan versi dari android bisa dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Versi-versi Android

| No. | Versi | Nama Pasar | Tanggal rilis |
|-----|-----------------------|------------------------------|-------------------|
| 1. | Android versi 1.0 | - | 23 September 2008 |
| 2. | Android versi 1.1 | <i>Petit Four</i> | 9 Februari 2009 |
| 3. | Android versi 1.5 | <i>Cupcake</i> | 27 April 2009 |
| 4. | Android versi 1.6 | <i>Donut</i> | 15 September 2009 |
| 5. | Android versi 2.0/2.1 | <i>Eclair</i> | 3 Desember 2009 |
| 6. | Android versi 2.2 | <i>Froyo: Frozen Yoghurt</i> | 20 Mei 2010 |
| 7. | Android versi 2.3 | <i>Gingerbread</i> | 6 Desember 2010 |
| 8. | Android versi 3.0/3.1 | <i>Honeycomb</i> | 15 Juli 2011 |
| 9. | Android versi 4.0 | <i>Ice Cream Sandwich</i> | 19 Oktober 2011 |
| 10. | Android versi 4.1 | <i>Jelly Bean</i> | 27 Juni 2012 |
| 11. | Android versi 4.4 | <i>Kit Kat</i> | 31 Oktober 2013 |
| 12. | Android versi 5.0 | <i>Lolipop</i> | 2014 |
| 13. | Android versi 6.0 | <i>Marshmallow</i> | 2016 |

Tujuan dari AR adalah untuk membuat hidup penggunanya lebih mudah dalam mendapatkan informasi virtual ke lingkungan berpikirnya sama halnya ke tampilan tidak langsung dari keadaan dunia sesungguhnya seperti menonton video langsung. Tujuan lainnya yaitu untuk mengembangkan pemikiran pengguna kedalam dan berkomunikasi langsung ke dunia nyata. Dalam penggunaan lain, augmented reality meningkatkan tingkat pemikiran melalui penampilan benda virtual melampaui dunia nyata dalam waktu yang bersamaan. AR tidak hanya menambahkan obyek virtual dalam dunia nyata tetapi juga mempresentasikan penggunaan informasi digital di dunia nyata.

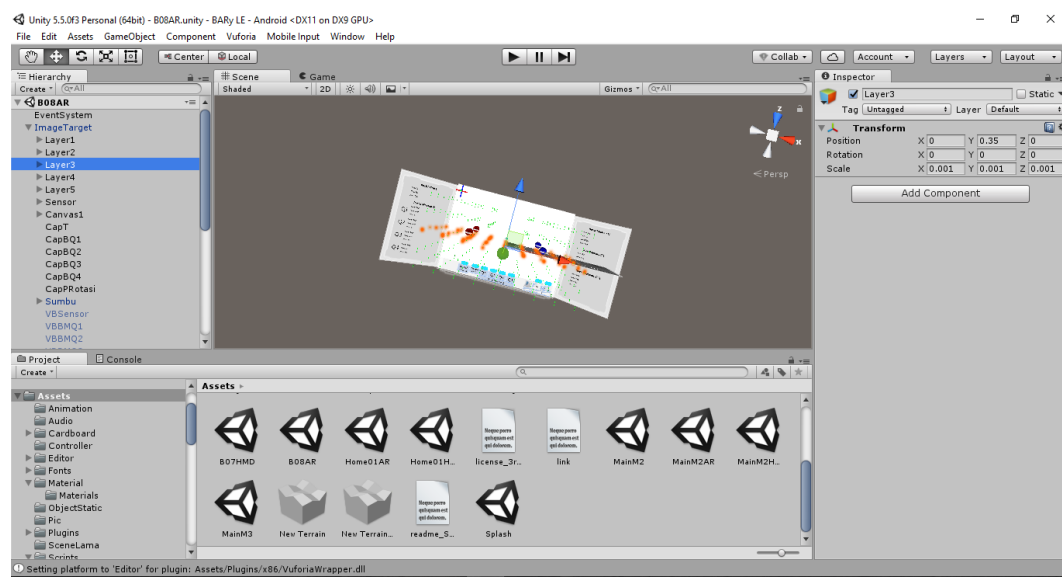
Agar obyek AR 3D terlihat langsung pada medianya maka diperlukan alat khusus yang biasa disebut *Head Mounted Display (HMD)* atau alat *google eye*. Cara kerja AR adalah sebagai berikut: Video atau camera yang digunakan pada aplikasi AR menangkap *image marker* yang lebih dulu diidentifikasi; setelah posisi dan orientasi *marker* terdeteksi maka hasil perhitungan tersebut dimasukkan ke dalam matriks. Matriks ini kemudian dipakai untuk menentukan posisi virtual kamera relatif terhadap *marker*. *Engine OpenGL* digunakan untuk menggambar obyek virtual berdasarkan matriks 3×4 yang berisi *real world coordinates* relatif terhadap *marker*.

2.5 Unity 3D

John Riccitiello (2014), CEO Unity Technologies, mendeskripsikan Unity adalah *software* pengembangan sistem game berbasis multi-platform bentukan dari Unity Technologies dan digunakan untuk pengembangan video game untuk PC, consoles, *mobile devices* dan websites.

Unity Engine dapat mengolah beberapa data seperti objek tiga dimensi, suara, tekstur, dan lain sebagainya. Keunggulan dari *unity engine* ini dapat menangani grafik dua dimensi dan tiga dimensi. Dari beberapa *game engine* yang sama-sama menangani grafik tiga dimensi, *unity engine* dapat menangani lebih banyak platform, beberapa diantaranya yaitu Windows, MacOS X, iOS, PS3, wii, Xbox 360, dan Android. *Unity Engine* memiliki kerangka kerja (*framework*) lengkap untuk pengembangan profesional.

Sistem inti *engine* ini menggunakan beberapa pilihan bahasa pemrograman, diantaranya *C#*, *javascript* maupun *boo*. *Unity3D* editor menyediakan beberapa alat untuk mempermudah pengembangan yaitu *MonoDevelop* untuk proses pemrograman.



Gambar 2.2 Tampilan *user interface* Unity3D

2.6 Vuforia Qualcomm

Vuforia Qualcomm merupakan *library* yang digunakan sebagai pendukung adanya *augmented reality* pada android. Vuforia menganalisa gambar dengan

menggunakan pendeteksi *marker* dan menghasilkan informasi 3D dari *marker* yang sudah dideteksi via API. Programmer juga dapat menggunakannya untuk membangun objek 3D virtual pada kamera. Adapun contoh nyata pembuatan objek 3D dengan menggunakan Vuforia adalah seperti ditunjukkan pada gambar 2.3.

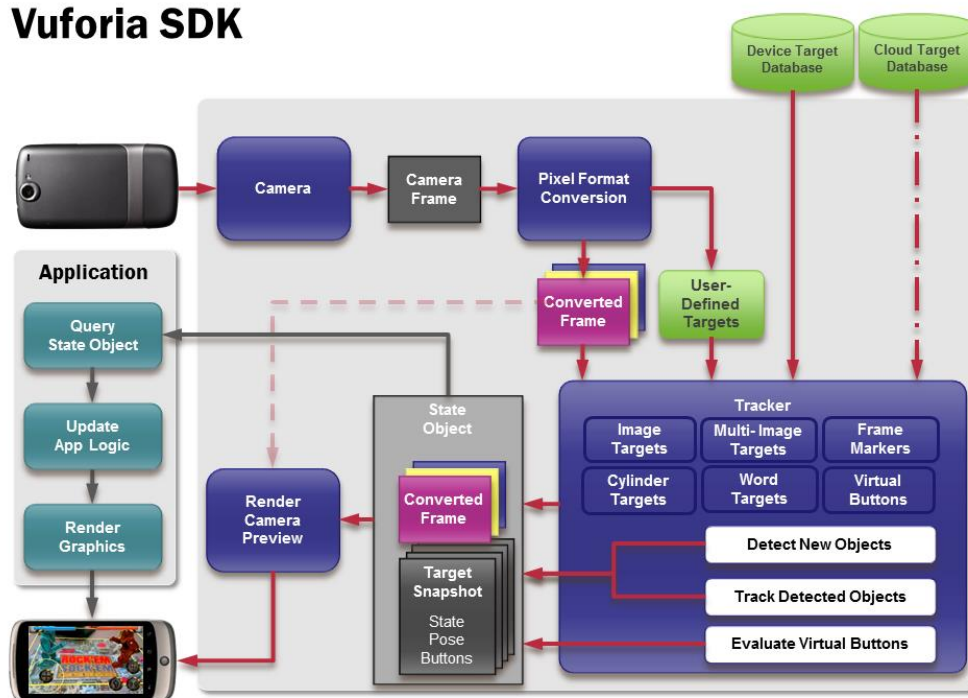


Gambar 2.3 Objek Mobil 3D Virtual Yang Muncul Pada Kamera

Gambar 2.3 adalah pengembangan aplikasi menggunakan platform Qualcomm AR. Platform tersebut terdiri dari 2 komponen diantaranya adalah *target management system* melakukan *upload* gambar yang sudah diregistrasi oleh *marker* dan kemudian melakukan *download* target gambar yang akan dimunculkan.

Gambar 2.4 memberikan gambaran umum pembangunan aplikasi dengan Qualcomm AR Platform. Platform ini terdiri dari SDK QCAR dan *target system management* yang dikembangkan pada portal QdevNet. User meng-*upload* gambar masukan untuk target yang ingin dilacak dan kemudian men-*download* sumber daya target, yang dibundel dengan app. SDK QCAR menyediakan sebuah objek yang terbagi libQCAR.so yang harus dikaitkan dengan app.

Vuforia SDK



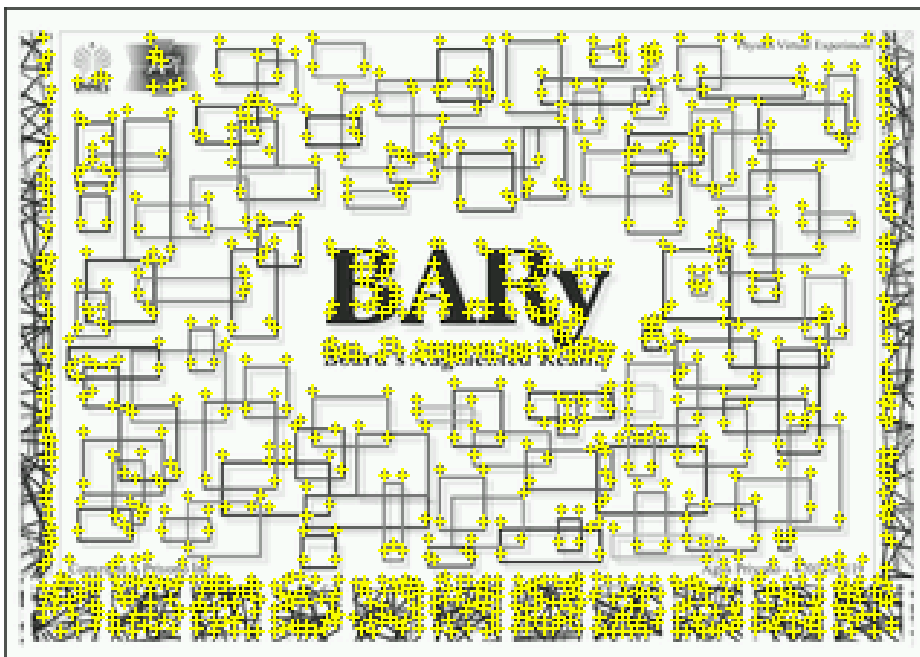
Gambar 2.4 Arsitektur *Library* QCAR SDK

Untuk menggabungkan benda virtual dengan dunia nyata diperlukan sebuah atau beberapa *marker*. *Marker* merupakan sebuah penanda khusus yang memiliki pola tertentu sehingga saat kamera mendeteksi *marker*, objek 3 dimensi dapat ditampilkan. *Augmented reality* saat ini melakukan perkembangan besar-besaran, salah satunya pada bagian *marker*. *Marker* pertama adalah *marker based tracking*. *Marker based tracking* ini sudah lama dikembangkan sejak 1980-an dan pada awal 1990-an mulai dikembangkan untuk penggunaan *augmented reality*.

Kemudian *markerless*, perkembangan terbaru *marker* ini merupakan salah satu metode *augmented reality* tanpa menggunakan frame *marker* sebagai obyek yang dideteksi. Dengan adanya *markerless augmented reality* maka penggunaan *marker* sebagai *tracking objek* (obyek yang dilacak) yang selama ini menghabiskan ruang, akan digantikan dengan gambar, atau permukaan apapun yang berisi dengan tulisan, logo, atau gambar sebagai *tracking objek* agar dapat langsung melibatkan

obyek yang dilacak tersebut sehingga dapat terlihat hidup dan interaktif, juga tidak lagi mengurangi efisiensi ruang dengan adanya proses pelacakan.

Proses pelacakan (registrasi *marker*) adalah beberapa objek yang dapat dilacak dan diregistrasi oleh QCAR SDK. Dalam proses pelacakan ada beberapa parameter untuk menentukan objek yang akan dilacak. Target gambar adalah satu dari banyaknya proses pelacakan. Deteksi sudut atau *corner detection* merupakan pendekatan yang digunakan untuk mengekstraksi beberapa jenis fitur dan menyimpulkan isi dari suatu gambar. Seperti pada gambar 2.5, tanda '+' dari gambar dibawah ini merupakan fitur – fitur unik yang dimiliki oleh gambar tersebut.



Gambar 2.5 Tampilan fitur pada marker

2.7 Elektrostatika

Elektrostatika yang dimaksud dalam penelitian ini adalah salah satu materi fisika, akan tetapi penelitian ini berfokus pada muatan listrik, hukum coulomb dan medan listrik.

2.7.1 Elektrostatika (Listrik Statis) dan Muatan Listrik

Kata listrik (*electricity*) berasal dari bahasa Yunani, *electron*, yang berarti "amber". Gejala listrik telah diselidiki sejak tahun 200 SM oleh Thales, seorang ahli filsafat dari Miletus, Yunani Kuno. Dia melakukan percobaan dengan menggosok-gosokkan batu amber pada sepotong kain wol atau bulu halus dan diletakkan di dekat benda ringan seperti bulu ayam. Ternyata bulu ayam tersebut akan terbang dan menempel di batu amber.

Benjamin Franklin (1706–1790) adalah fisikawan yang pertama menamai muatan yang diterima batang kaca yang digosok dengan kain sutra sebagai muatan positif, dan muatan yang diterima batang kaca yang digosok dengan bulu atau kain wol sebagai muatan negatif. Jika dua atau lebih muatan yang sama saling didekatkan maka muatan-muatan tersebut akan saling menolak. Sebaliknya, jika muatan positif didekatkan dengan muatan negatif maka muatan-muatan tersebut akan tarik-menarik.

2.7.2 Hukum Coulomb

Pada tahun 1785, seorang ahli fisika Prancis bernama Charles Augustin de Coulomb melakukan penelitian mengenai gaya yang ditimbulkan oleh dua benda yang bermuatan listrik. Coulomb menyatakan bahwa besar gaya listrik berbanding lurus dengan perkalian besar kedua muatannya dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak kedua benda. Teori ini disebut Hukum Coulomb.



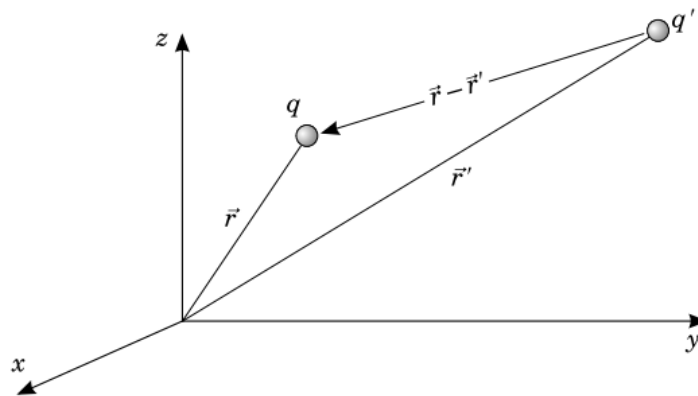
Gambar 2.6 Muatan sejenis akan tolak menolak



Gambar 2.7 Muatan yang berlawanan akan tarik menarik

Jika kedua muatan merupakan muatan sejenis maka gaya yang bekerja bersifat tolak-menolak (gambar 2.6). Jika kedua muatan mempunyai tanda yang berlawanan, gaya yang bekerja bersifat tarik-menarik (gambar 2.7).

Hukum Coulomb mempunyai kesamaan dengan hukum gravitasi Newton. Persamaannya terletak pada perbandingan kuadrat yang terbalik dalam hukum gravitasi Newton. Perbedaannya adalah gaya gravitasi selalu tarik-menarik, sedangkan gaya listrik dapat bersifat tarik-menarik maupun tolak-menolak.



Sumber : *Classical Electromagnetic Theory*

Gambar 2.8 Muatan q dan q' berada di posisi r dan r' , arah vektor dari titik q' ke q adalah $(\vec{r} - \vec{r}')$ dalam ruang 3D

Kedua muatan listrik memiliki gaya tarik dan gaya tolak yang dinamakan gaya Coulomb, yang besarnya dapat ditentukan dalam persamaan:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{|\vec{r} - \vec{r}'|^2} \hat{r} \quad (2.1)$$

Sedangkan besar \hat{r} adalah

$$\hat{r} = \frac{(\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \quad (2.2)$$

Lalu masukan persamaan 2.2 ke persamaan 2.1, maka

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'(\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} \quad (2.3)$$

Dimana k adalah konstanta perbandingan, yaitu:

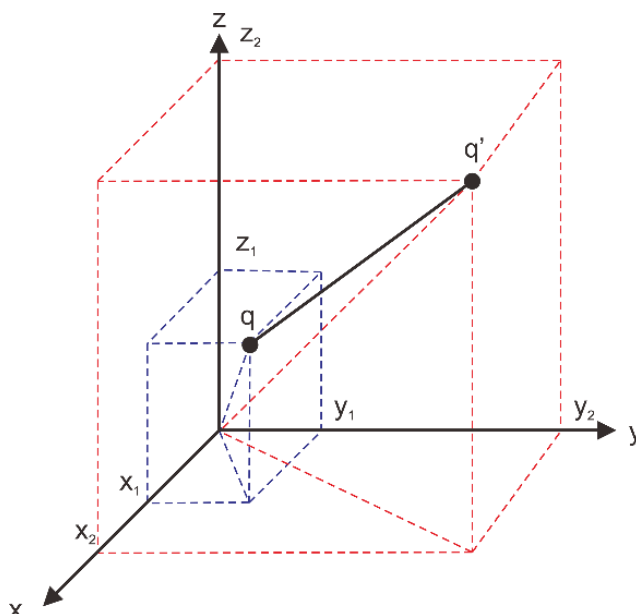
$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,987 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$$

Jadi bisa dituliskan menjadi

$$\vec{F} = k \frac{qq'(\vec{r}-\vec{r}')}{|\vec{r}-\vec{r}'|^3} \quad (2.4)$$

Satuan gaya listrik menurut SI adalah newton (N). Satu newton (1 N) adalah sebanding dengan muatan yang dipindahkan oleh arus satu ampere dalam satu detik.

Persamaan 2.4 merupakan gaya coulomb antara muatan q dengan q' dalam ruang tiga dimensi. Untuk menganalisisnya lebih mudah maka harus di petakan dalam sumbu x , y , dan z , misalkan koordinat posisi $q(x_1, y_1, z_1)$ dan $q'(x_2, y_2, z_2)$. Pada sumbu x , posisi muatan q diproyeksikan menjadi $(x_1, 0, 0)$ lalu muatan q' diproyeksikan menjadi $(x_2, 0, 0)$. Pada sumbu y , posisi muatan q diproyeksikan menjadi $(0, y_1, 0)$ lalu muatan q' diproyeksikan menjadi $(0, y_2, 0)$. Pada sumbu z , posisi muatan q diproyeksikan menjadi $(0, 0, z_1)$ lalu muatan q' diproyeksikan menjadi $(0, 0, z_2)$.



Gambar 2.9 Muatan q dan q' dalam proyeksi ruang 3D

Sehingga besar \hat{r} adalah

$$\hat{r} = \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} [(x_1 - x_2)\hat{i} + (y_1 - y_2)\hat{j} + (z_1 - z_2)\hat{k}] \quad (2.5)$$

Dimana

$$|\vec{r} - \vec{r}'| = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (2.6)$$

Besar gaya coulomb pada sumbu x adalah

$$\vec{F}_x = \frac{kqq'}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} (x_1 - x_2) \hat{i} \quad (2.7)$$

Besar gaya coulomb pada sumbu y adalah

$$\vec{F}_y = \frac{kqq'}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} (y_1 - y_2) \hat{j} \quad (2.8)$$

Besar gaya coulomb pada sumbu z adalah

$$\vec{F}_z = \frac{kqq'}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} (z_1 - z_2) \hat{k} \quad (2.9)$$

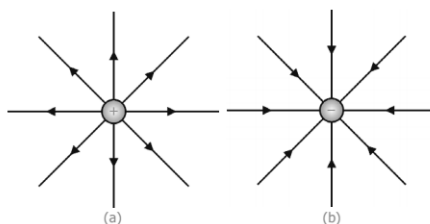
Jadi, total gaya coulombnya menjadi

$$|\vec{F}| = \sqrt{|\vec{F}_x|^2 + |\vec{F}_y|^2 + |\vec{F}_z|^2} \quad (2.10)$$

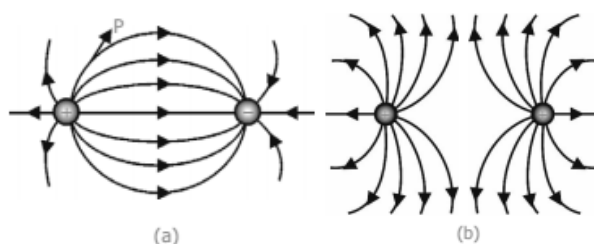
2.7.3 Medan Listrik

Benda yang bermuatan listrik dikelilingi sebuah daerah yang disebut medan listrik. Dalam medan ini, muatan listrik dapat dideteksi. Menurut Faraday (1791-1867), suatu medan listrik keluar dari setiap muatan dan menyebar ke seluruh ruangan. Untuk memvisualisasikan medan listrik, dilakukan dengan menggambarkan serangkaian garis untuk menunjukkan arah medan listrik pada

berbagai titik di ruang, yang disebut garis-garis gaya listrik, dan ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Garis-garis medan listrik (a) untuk satu muatan positif, (b) untuk satu muatan negatif



Gambar 2.11 Garis-garis medan listrik antara dua muatan : (a) berlawanan jenis, (b) sejenis

Gambar 2.11 menunjukkan garis-garis medan listrik antara dua muatan. Dari gambar terlihat bahwa arah garis medan listrik adalah dari muatan positif ke muatan negatif, dan arah medan pada titik manapun mengarah secara tangensial sebagaimana ditunjukkan oleh anak panah pada titik P.

Ukuran kekuatan dari medan listrik pada suatu titik, didefinisikan sebagai gaya per satuan muatan pada muatan listrik yang ditempatkan pada titik tersebut, yang disebut kuat medan listrik (E). Jika gaya listrik F dan muatan adalah q , maka secara matematis kuat medan listrik dirumuskan:

$$\vec{F} = q\vec{E}(\vec{r}) \quad (2.11)$$

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}}{q} \quad (2.12)$$

Satuan E adalah newton per coulomb (N/C).

Persamaan tersebut untuk mengukur medan listrik di semua titik pada ruang, sedangkan medan listrik pada jarak r' dari satu muatan titik Q (r) adalah:

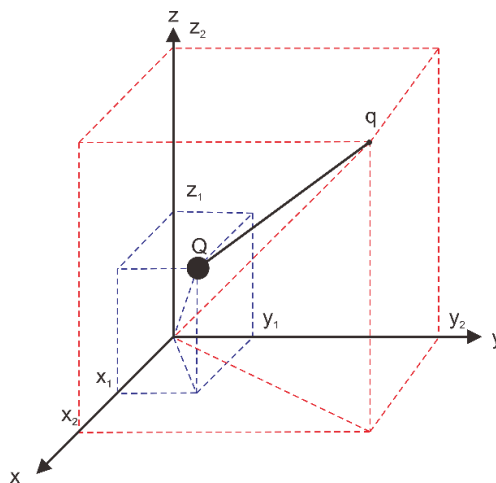
$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{kqQ(\vec{r}-\vec{r}')/|\vec{r}-\vec{r}'|^3}{q} \quad (2.13)$$

$$\vec{E}(\vec{r}) = k \frac{Q(\vec{r}-\vec{r}')}{|\vec{r}-\vec{r}'|^3} \quad (2.14)$$

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{(\vec{r}-\vec{r}')}{|\vec{r}-\vec{r}'|^3} \quad (2.15)$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa \vec{E} hanya bergantung pada muatan Q yang menghasilkan medan tersebut.

Persamaan 2.18 merupakan medan listrik antara titik q dengan Q dalam ruang tiga dimensi. Untuk menganalisisnya lebih mudah maka harus di petakan dalam sumbu x , y , dan z , misalkan koordinat posisi $q(x_1, y_1, z_1)$ dan $Q(x_2, y_2, z_2)$. Pada sumbu x , posisi titik q diproyeksikan menjadi $(x_1, 0, 0)$ lalu muatan Q diproyeksikan menjadi $(x_2, 0, 0)$. Pada sumbu y , posisi titik q diproyeksikan menjadi $(0, y_1, 0)$ lalu muatan Q diproyeksikan menjadi $(0, y_2, 0)$. Pada sumbu z , posisi titik q diproyeksikan menjadi $(0, 0, z_1)$ lalu muatan Q diproyeksikan menjadi $(0, 0, z_2)$.



Gambar 2.12 Muatan Q dan q dalam proyeksi ruang 3D

Sehingga besar \hat{r} adalah

$$\hat{r} = \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} [(x_1 - x_2)\hat{i} + (y_1 - y_2)\hat{j} + (z_1 - z_2)\hat{k}] \quad (2.16)$$

dimana

$$|\vec{r} - \vec{r}'| = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (2.17)$$

Besar medan listrik pada sumbu x adalah

$$\vec{E}_x = \frac{k Q}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} (x_1 - x_2) \hat{i} \quad (2.18)$$

Besar medan listrik pada sumbu y adalah

$$\vec{E}_y = \frac{k Q}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} (y_1 - y_2) \hat{j} \quad (2.19)$$

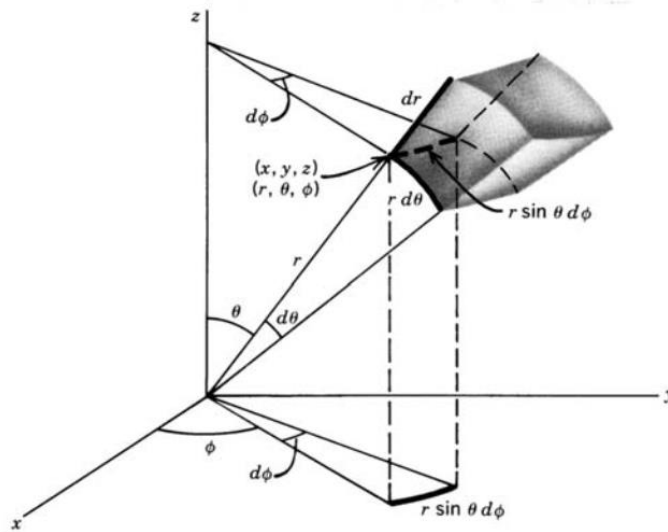
Besar medan listrik pada sumbu z adalah

$$\vec{E}_z = \frac{k Q}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} (z_1 - z_2) \hat{k} \quad (2.20)$$

Jadi, total medan listriknya menjadi

$$|\vec{E}(r)| = \sqrt{|\vec{E}_x|^2 + |\vec{E}_y|^2 + |\vec{E}_z|^2} \quad (2.21)$$

Dengan menggunakan sistem koordinat bola, nilai dari medan listrik yang berada pada sistem koordinat kartesian bisa menjadi sistem koordinat bola. Hal ini dilakukan untuk menghitung arah dari vektor medan listrik yang mempengaruhi muatan uji sehingga bisa ditampilkan secara visual.



Sumber : *Mathematical Methods In The Physical Sciences*
Gambar 2.13 *Spherical coordinates*

$$x = r \sin \theta \cos \phi \quad (2.22)$$

$$y = r \sin \theta \sin \phi \quad (2.23)$$

$$z = r \cos \theta \quad (2.24)$$

Dari persamaan tersebut bisa diubah menjadi

$$\frac{y}{x} = \frac{r \sin \theta \sin \phi}{r \sin \theta \cos \phi} = \tan \phi \quad (2.25)$$

Maka

$$\phi = \tan^{-1} \frac{y}{x} \quad (2.26)$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{z}{r} \quad (2.27)$$

Berdasarkan sistem koordinat bola, besar medan listrik pada tiap sumbu yang berada pada koordinat kartesian bisa ditransformasikan menjadi koordinat bola.

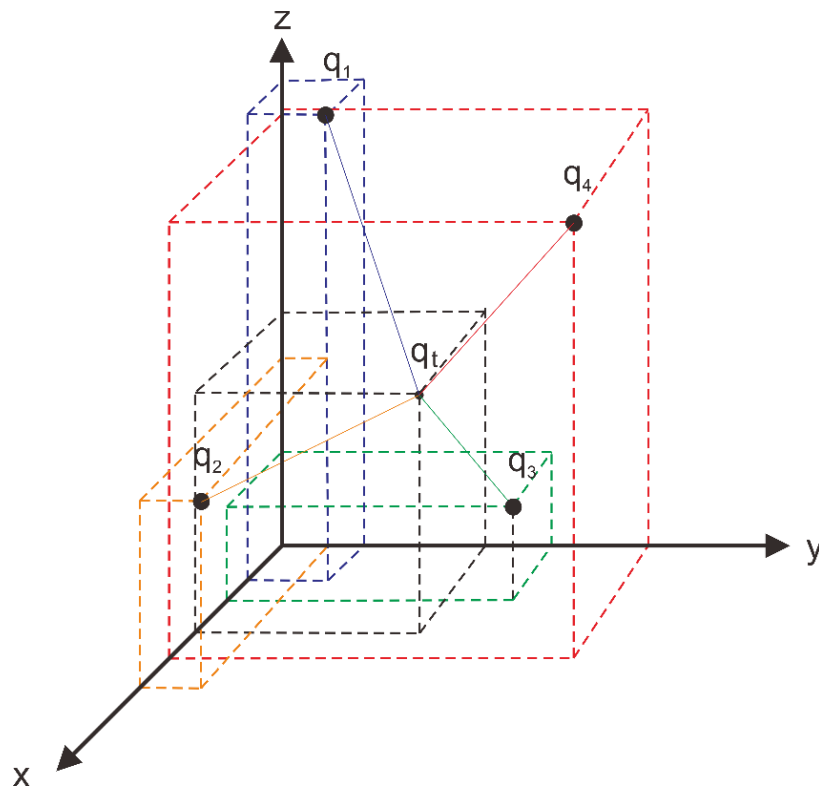
Besar sudut $\vec{E}(\vec{r})$ adalah

$$\theta = \cos^{-1} \frac{|\vec{E}_z|}{|\vec{E}(\vec{r})|} \quad (2.28)$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{|\vec{E}_y|}{|\vec{E}_x|} \quad (2.29)$$

2.7.4 Titik di antara 4 muatan

Besar gaya coulomb pada suatu titik yang berada di sekitar 4 muatan yang berbeda memiliki prinsip yang sama pada suatu titik yang berada di sekitar 1 muatan, akan tetapi memiliki perbedaan di resultannya. Misalkan sebuah titik t berada di sekitar pengaruh muatan q_1 , q_2 , q_3 , dan q_4 dalam ruang 3 dimensi (x, y, z) . Titik t di anggap tidak memiliki muatan.



Gambar 2.14 Proyeksi titik t dalam pengaruh muatan q_1 , q_2 , q_3 , dan q_4

Misalkan koordinat titik t adalah (x_t, y_t, z_t) , muatan q_1 adalah (x_1, y_1, z_1) , muatan q_2 adalah (x_2, y_2, z_2) , muatan q_3 adalah (x_3, y_3, z_3) , dan muatan q_4 adalah (x_4, y_4, z_4) . Dengan menggunakan cara yang sama untuk mencari besar \hat{r} akan mendapatkan hasil untuk setiap muatan seperti berikut.

Muatan q_1

$$\vec{F}_{t1} = \frac{kq_t q_1}{|\vec{r}_t - \vec{r}_1|^2} \hat{r}_{t1} = \frac{kq_t q_1}{|\vec{r}_t - \vec{r}_1|^3} [(x_t - x_1)\hat{i} + (y_t - y_1)\hat{j} + (z_t - z_1)\hat{k}] \quad (2.30)$$

Muatan q_2

$$\vec{F}_{t2} = \frac{kq_t q_2}{|\vec{r}_t - \vec{r}_2|^2} \hat{r}_{t2} = \frac{kq_t q_2}{|\vec{r}_t - \vec{r}_2|^3} [(x_t - x_2)\hat{i} + (y_t - y_2)\hat{j} + (z_t - z_2)\hat{k}] \quad (2.31)$$

Muatan q_3

$$\vec{F}_{t3} = \frac{kq_t q_3}{|\vec{r}_t - \vec{r}_3|^2} \hat{r}_{t3} = \frac{kq_t q_3}{|\vec{r}_t - \vec{r}_3|^3} [(x_t - x_3)\hat{i} + (y_t - y_3)\hat{j} + (z_t - z_3)\hat{k}] \quad (2.32)$$

Muatan q_4

$$\vec{F}_{t4} = \frac{kq_t q_4}{|\vec{r}_t - \vec{r}_4|^2} \hat{r}_{t4} = \frac{kq_t q_4}{|\vec{r}_t - \vec{r}_4|^3} [(x_t - x_4)\hat{i} + (y_t - y_4)\hat{j} + (z_t - z_4)\hat{k}] \quad (2.33)$$

Kemudian masing-masing gaya coulomb diposisikan pada masing-masing sumbu, maka hasilnya akan menjadi

$$\vec{F}_x = k q_t \left[\frac{q_1(x_t - x_1)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_1|^3} + \frac{q_2(x_t - x_2)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_2|^3} + \frac{q_3(x_t - x_3)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_3|^3} + \frac{q_4(x_t - x_4)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_4|^3} \right] \hat{i} \quad (2.34)$$

$$\vec{F}_y = k q_t \left[\frac{q_1(y_t - y_1)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_1|^3} + \frac{q_2(y_t - y_2)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_2|^3} + \frac{q_3(y_t - y_3)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_3|^3} + \frac{q_4(y_t - y_4)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_4|^3} \right] \hat{j} \quad (2.35)$$

$$\vec{F}_z = k q_t \left[\frac{q_1(z_t - z_1)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_1|^3} + \frac{q_2(z_t - z_2)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_2|^3} + \frac{q_3(z_t - z_3)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_3|^3} + \frac{q_4(z_t - z_4)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_4|^3} \right] \hat{k} \quad (2.36)$$

Maka total gaya coulomb yang diterima titik t adalah

$$|\vec{F}| = \sqrt{|\vec{F}_x|^2 + |\vec{F}_y|^2 + |\vec{F}_z|^2} \quad (2.37)$$

Selain itu, muatan uji (t) yang berada di sekitar 4 muatan tersebut akan terpengaruhi besar medan listrik seperti berikut

$$\vec{E}_t = \frac{\vec{F}_t}{q_t}; \vec{E}_x = \frac{\vec{F}_x}{q_t}; \vec{E}_y = \frac{\vec{F}_y}{q_t}; \vec{E}_z = \frac{\vec{F}_z}{q_t} \quad (2.38)$$

$$\vec{E}_x = k \left[\frac{q_1(x_t - x_1)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_1|^3} + \frac{q_2(x_t - x_2)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_2|^3} + \frac{q_3(x_t - x_3)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_3|^3} + \frac{q_4(x_t - x_4)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_4|^3} \right] \hat{i} \quad (2.39)$$

$$\vec{E}_y = k \left[\frac{q_1(y_t - y_1)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_1|^3} + \frac{q_2(y_t - y_2)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_2|^3} + \frac{q_3(y_t - y_3)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_3|^3} + \frac{q_4(y_t - y_4)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_4|^3} \right] \hat{j} \quad (2.40)$$

$$\vec{E}_z = k \left[\frac{q_1(z_t - z_1)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_1|^3} + \frac{q_2(z_t - z_2)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_2|^3} + \frac{q_3(z_t - z_3)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_3|^3} + \frac{q_4(z_t - z_4)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_4|^3} \right] \hat{k} \quad (2.41)$$

Maka total medan listrik yang diterima muatan uji (t) adalah

$$|\vec{E}_t| = \sqrt{|\vec{E}_x|^2 + |\vec{E}_y|^2 + |\vec{E}_z|^2} \quad (2.42)$$

Besar sudut \vec{E}_t adalah

$$\theta = \cos^{-1} \frac{|\vec{E}_z|}{|\vec{E}_t|} \quad (2.43)$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{|\vec{E}_y|}{|\vec{E}_x|} \quad (2.44)$$

Dari perhitungan tersebut, muatan uji akan memiliki medan listrik sebesar $|\vec{E}_t|$ dengan arah θ dan ϕ . Untuk menghitung besar gaya Coulomb di tiap muatan menggunakan cara yang sama seperti sebelumnya akan tetapi disesuaikan, sehingga memiliki hasil sebagai berikut :

a. Gaya coulomb pada muatan q_1

$$\begin{aligned} \vec{F}_1 = k q_1 & \left[\left(\frac{q_t(x_1 - x_t)}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_t|^3} + \frac{q_2(x_1 - x_2)}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^3} + \frac{q_3(x_1 - x_3)}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_3|^3} + \frac{q_4(x_1 - x_4)}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_4|^3} \right) \hat{i} \right. \\ & + \left(\frac{q_t(y_1 - y_t)}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_t|^3} + \frac{q_2(y_1 - y_2)}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^3} + \frac{q_3(y_1 - y_3)}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_3|^3} + \frac{q_4(y_1 - y_4)}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_4|^3} \right) \hat{j} \\ & \left. + \left(\frac{q_t(z_1 - z_t)}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_t|^3} + \frac{q_2(z_1 - z_2)}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^3} + \frac{q_3(z_1 - z_3)}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_3|^3} + \frac{q_4(z_1 - z_4)}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_4|^3} \right) \hat{k} \right] \end{aligned} \quad (5.45)$$

b. Gaya coulomb pada muatan q_2

$$\begin{aligned} \vec{F}_2 = k q_2 & \left[\left(\frac{q_t(x_2 - x_t)}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_t|^3} + \frac{q_1(x_2 - x_1)}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|^3} + \frac{q_3(x_2 - x_3)}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_3|^3} + \frac{q_4(x_2 - x_4)}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_4|^3} \right) \hat{i} \right. \\ & + \left(\frac{q_t(y_2 - y_t)}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_t|^3} + \frac{q_1(y_2 - y_1)}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|^3} + \frac{q_3(y_2 - y_3)}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_3|^3} + \frac{q_4(y_2 - y_4)}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_4|^3} \right) \hat{j} \\ & \left. + \left(\frac{q_t(z_2 - z_t)}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_t|^3} + \frac{q_1(z_2 - z_1)}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|^3} + \frac{q_3(z_2 - z_3)}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_3|^3} + \frac{q_4(z_2 - z_4)}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_4|^3} \right) \hat{k} \right] \end{aligned} \quad (5.46)$$

c. Gaya coulomb pada muatan q_3

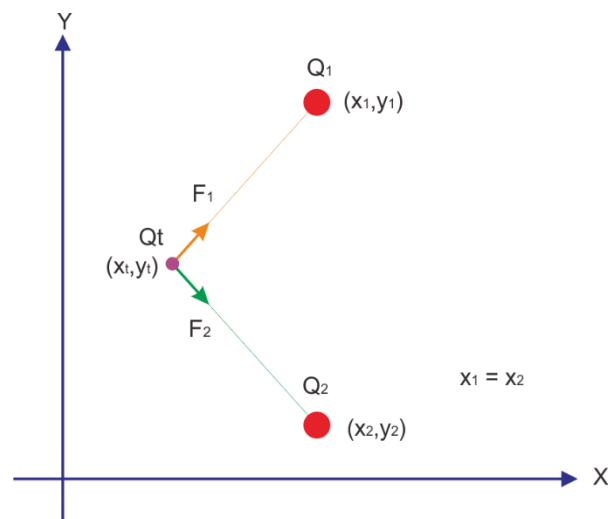
$$\begin{aligned} \vec{F}_3 = k q_3 & \left[\left(\frac{q_t(x_3 - x_t)}{|\vec{r}_3 - \vec{r}_t|^3} + \frac{q_1(x_3 - x_1)}{|\vec{r}_3 - \vec{r}_1|^3} + \frac{q_2(x_3 - x_2)}{|\vec{r}_3 - \vec{r}_2|^3} + \frac{q_4(x_3 - x_4)}{|\vec{r}_3 - \vec{r}_4|^3} \right) \hat{i} \right. \\ & + \left(\frac{q_t(y_3 - y_t)}{|\vec{r}_3 - \vec{r}_t|^3} + \frac{q_1(y_3 - y_1)}{|\vec{r}_3 - \vec{r}_1|^3} + \frac{q_2(y_3 - y_2)}{|\vec{r}_3 - \vec{r}_2|^3} + \frac{q_4(y_3 - y_4)}{|\vec{r}_3 - \vec{r}_4|^3} \right) \hat{j} \\ & \left. + \left(\frac{q_t(z_3 - z_t)}{|\vec{r}_3 - \vec{r}_t|^3} + \frac{q_1(z_3 - z_1)}{|\vec{r}_3 - \vec{r}_1|^3} + \frac{q_2(z_3 - z_2)}{|\vec{r}_3 - \vec{r}_2|^3} + \frac{q_4(z_3 - z_4)}{|\vec{r}_3 - \vec{r}_4|^3} \right) \hat{k} \right] \end{aligned} \quad (5.47)$$

d. Gaya coulomb pada muatan q_4

$$\begin{aligned} \vec{F}_4 = k q_4 \left[\left(\frac{q_t(x_4 - x_t)}{|\vec{r}_4 - \vec{r}_t|^3} + \frac{q_1(x_4 - x_1)}{|\vec{r}_4 - \vec{r}_1|^3} + \frac{q_2(x_4 - x_2)}{|\vec{r}_4 - \vec{r}_2|^3} + \frac{q_3(x_4 - x_3)}{|\vec{r}_4 - \vec{r}_3|^3} \right) \hat{i} \right. \\ \left. + \left(\frac{q_t(y_4 - y_t)}{|\vec{r}_4 - \vec{r}_t|^3} + \frac{q_1(y_4 - y_1)}{|\vec{r}_4 - \vec{r}_1|^3} + \frac{q_2(y_4 - y_2)}{|\vec{r}_4 - \vec{r}_2|^3} + \frac{q_3(y_4 - y_3)}{|\vec{r}_4 - \vec{r}_3|^3} \right) \hat{j} \right. \\ \left. + \left(\frac{q_t(z_4 - z_t)}{|\vec{r}_4 - \vec{r}_t|^3} + \frac{q_1(z_4 - z_1)}{|\vec{r}_4 - \vec{r}_1|^3} + \frac{q_2(z_4 - z_2)}{|\vec{r}_4 - \vec{r}_2|^3} + \frac{q_3(z_4 - z_3)}{|\vec{r}_4 - \vec{r}_3|^3} \right) \hat{k} \right] \end{aligned} \quad (5.48)$$

2.7.5 Osilator

Osilasi adalah variasi periodik terhadap waktu dari suatu hasil pengukuran, contohnya pada ayunan bandul. Istilah vibrasi atau getaran sering digunakan sebagai sinonim osilasi, walaupun sebenarnya vibrasi merujuk pada jenis spesifik osilasi, yaitu osilasi mekanis. Dari penjelasan tersebut, apakah muatan juga bisa melakukan osilasi?



Gambar 2.15 Muatan Q_t yang berada diantara dua muatan

Misalkan terdapat dua buah muatan negatif sejenis yang bersebelahan, lalu didekatkan sebuah muatan uji positif diantara kedua muatan tersebut. Jika kedua

muatan negatif tersebut posisinya dibuat tetap sedangkan muatan uji bias bergerak bebas (seperti gambar 2.15) maka besar gaya coulomb pada muatan uji sebesar

$$\begin{aligned} \vec{F}_t = k q_t \left[\left(\frac{q_1(x_t - x_1)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_1|^3} + \frac{q_2(x_t - x_2)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_2|^3} \right) \hat{i} + \left(\frac{q_1(y_t - y_1)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_1|^3} + \frac{q_2(y_t - y_2)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_2|^3} \right) \hat{j} \right. \\ \left. + \left(\frac{q_1(z_t - z_1)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_1|^3} + \frac{q_2(z_t - z_2)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_2|^3} \right) \hat{k} \right] \end{aligned} \quad (5.49)$$

Menurut hukum Newton kedua, dapat dituliskan persamaan gerak dari partikel bermuatan tersebut sebagai

$$m\vec{a} = \vec{F}_t \quad (5.50)$$

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}_t \quad (5.51)$$

Bila persamaan 5.51 diuraikan dalam tiga komponen dalam sistem koordinat kartesian, akan diperoleh persamaan-persamaan sebagai berikut

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{k q_t}{m} \left(\frac{q_1(x_t - x_1)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_1|^3} + \frac{q_2(x_t - x_2)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_2|^3} \right) \quad (5.52a)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{k q_t}{m} \left(\frac{q_1(y_t - y_1)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_1|^3} + \frac{q_2(y_t - y_2)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_2|^3} \right) \quad (5.52b)$$

$$\frac{d^2z}{dt^2} = \frac{k q_t}{m} \left(\frac{q_1(z_t - z_1)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_1|^3} + \frac{q_2(z_t - z_2)}{|\vec{r}_t - \vec{r}_2|^3} \right) \quad (5.52c)$$

Persamaan-persamaan 5.52a, 5.52b, dan 5.52c tidak lain adalah persamaan differensial orde-3 tentang gerak partikel dalam medan listrik. Persamaan-persamaan tersebut akan diselesaikan atau dicari solusinya secara numerik secara simultan dengan menggunakan metode yang paling sederhana yaitu metode *Euler*.

Dengan metode *Euler* persamaan 5.52a dapat dituliskan

$$v(x)_{n+1} = v(x)_n + a(x)_n h \quad (5.53)$$

$$x_{n+1} = x_n + v(x)_{n+1} h \quad (5.54)$$

dimana n adalah indeks iterasi pada *increment* waktu h sehingga x_{n+1} dan v_{n+1} masing-masing secara berurutan adalah harga posisi, kecepatan dan percepatan pada iterasi ke $n+1$. Persamaan di atas memerlukan harga-harga awal, misalnya

$$x_0 = k_1 \quad (5.55)$$

$$v(x)_0 = k_2 \quad (5.56)$$

dimana k_1 dan k_2 adalah suatu konstanta. Untuk pada sumbu y dan z bisa menyesuaikan dengan seperti diatas.

2.8 Algoritma

Proses pembuatan media pembelajaran ini menggunakan algoritma pemrograman untuk menyesuaikan program yang di buat dengan konsep fisika yang akan digunakan. Algoritma yang dibuat ada 2 macam, yaitu algoritma titik yang berada pada 1 muatan dan algoritma titik yang berada dalam 4 muatan, yang masing-masing berada dalam ruang tiga dimensi (3D).

Pembuatan algoritma didasarkan pada persamaan yang digunakan dengan penyesuaian dengan bahasa pemrograman C# yang digunakan Unity 3D. Algoritma yang dibuat didasarkan pada buku “Mengungkap Fenomena Fisika dengan Delphi” dengan penulis Dr. rer. nat. Wahyu Hardyanto, lebih tepatnya pada bab sistem tiga benda.

Algoritma 1 hanya digunakan untuk pemodelan medan listrik dari satu muatan dengan satu titik t . Besar muatan Q bisa diubah-ubah mulai dari negatif sampai positif. Objek t sebagai titik untuk mengukur medan listrik dari muatan Q dari jarak yang bisa disesuaikan berdasar koordinat kartesian sehingga akan mudah diketahui besarnya medan listrik di posisi-posisi yang ingin dicari.

Algoritma 1 digunakan untuk pemodelan medan listrik dari satu muatan atau lebih dengan satu titik t dan visualisasi arah garis medan listrik yang mengelilinginya. Besar tiap muatan bisa disesuaikan, sehingga pemodelan ini bisa menampilkan visualisasi hingga 4 muatan. Obyek t merupakan titik t yang menampilkan besar medan listrik dari jarak tertentu dari satu atau lebih muatan (sesuai dengan besar muatan yang ada).

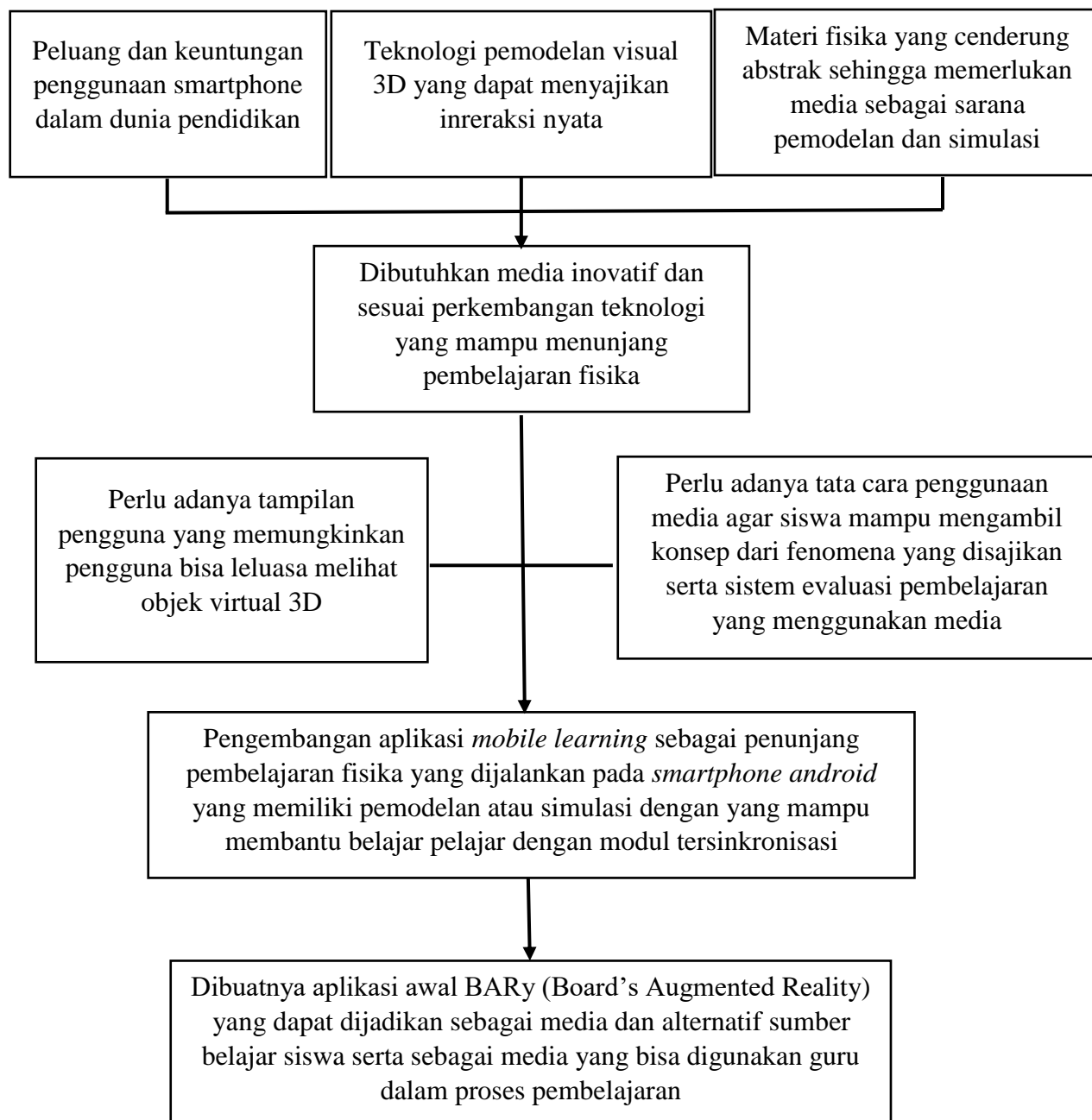
Selain simulasi muatan uji yang berada di sekitar muatan Q dibuat simulasi lain yaitu simulasi muatan uji yang berada di sekitar 4 muatan Q . Algoritma simulasi ini bisa dilihat pada Algoritma 2.

Pada kedua algoritma tersebut, untuk rotasi menggunakan sistem rotasi Quaternion Euler (*Gimbal Lock*) karena penggunaannya lebih cocok dan lebih mudah. Rotasi ini terikat pada objek bukan sistem universal sehingga perhitungannya lebih mudah. Rotasi ini juga hanya pada sumbu x dan z karena untuk mempermudah perhitungan dan efisiensi *script*. Penerapan ini dilakukan agar seluruh sistem pada aplikasi ini lebih mudah untuk dipelajari.

Misalkan pada *scene* 4 muatan diberikan panah dengan distribusi yang merata dalam posisi tiga dimensi. Tiap panah merupakan muatan uji maka penggunaan algoritma 2.2 juga bisa digunakan pada panah ini. Besar panah dibuat untuk menunjukkan besar muatan listrik yang mempengaruhinya. Arah panah dibuat untuk menunjukkan arah muatan listrik yang mempengaruhinya. Misalkan pada suatu posisi terdapat panah akan tetapi tidak terlihat maka tidak ada muatan listrik yang mempengaruhi panah pada posisi tersebut.

2.9 Kerangka Berpikir

Berdasarkan uraian latar belakang dan tinjauan pustaka, dapat dibuat kerangka berpikir yang ditunjukkan pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Kerangka berpikir dalam penelitian

BAB 5 PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil pembuatan dan pengembangan serta implementasi media pembelajaran BARy (*Board's Augmented Reality*) pada pokok bahasan elektrostatika dapat disimpulkan bahwa :

- 1) Telah dihasilkan media pembelajaran BARy (*Board's Augmented Reality*) pada pokok bahasan elektrostatika memiliki fitur seperti tampilan *augmented reality*, terdapat buku panduan, video penggunaan serta dapat menampilkan pemodelan, simulasi dan interaksi pada muatan listik.
- 2) Media pembelajaran yang dihasilkan pada penelitian ini dapat digunakan sebagai sumber belajar alternatif bagi siswa ataupun mahasiswa dengan nilai kelayakan sebesar 4,45 atau 89% dan nilai penggunaan sebesar 3,92 atau 78%.

5.2 Saran

Saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah :

- 1) Perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut agar aplikasi ini bisa memuat pokok bahasan lainnya.
- 2) Perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang metode pembelajaran yang cocok untuk mendukung aplikasi yang berbasis *augmented reality*.
- 3) Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengembangkan dan menguji keefektifan penggunaan media pembelajaran yang dihasilkan terhadap hasil

belajar maupun minat siswa karena pada penelitian ini belum sampai pada tahap eksperimen.

- 4) Perlu dibuat aplikasi atau fasilitas ilustrasi yang mirip dengan tanpa mengabaikan efek gaya coulomb atau lebih lanjut gaya grafitasi juga.
- 5) Perlu ditingkatkan lagi kualitas media serta di tambahkan fitur-fitur yang bisa menunjang aplikasi ataupun proses pembelajaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfiana, A. S. 2013. *Pengembangan Aplikasi Mobile Learning MEDUSA Berbasis Android sebagai Media Pembelajaran Materi Struktur dan Fungsi Sel di Sekolah Menengah Atas*. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Negeri Semarang.
- Alkhamisi, A.O. & M.M. Monowar. 2013. Rise of Augmented Reality: Current and Future Application Areas. *International Journal of Internet and Distributed Systems*, 1: 25-34.
- Amrullah, S. N. K. 2015. *Pengembangan Media Pembelajaran Online Berbasis Scratch pada Pokok Bahasan Getaran*. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Negeri Semarang.
- Atlewell, J 2005. *Mobile Technologies and Learning*. London: Learning and Skills Development Agency.
- Aqib, Zainal. 2009. *Penelitian Tindakan Kelas untuk Guru*. Bandung: Yrama Widya.
- Azuma, Ronald T. 1997. A Survey of Augmented Reality. In *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6, 4 (August 1997): 355-385.
- Behzadan, AH, & Kamat, VR. 2008. Automated generation of operations level construction and facility management (AEC/FM) applications. *Visualization in Engineering*, 1-3.
- Budiyanto, Joko. 2009. *Fisika : Untuk SMA/MA Kelas XII*. Jakarta: Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional.
- Carvalho, C.V.A. & B.M.Lemos. 2014. Possibilities of Augmented Reality Use in Mathematics Aiming at a Meaningful Learning. *Creative Education*, 2014, 5: 690-700.
- Dunleavy, Matt, Chris Dede, & Rebecca Mitchell. 2009. Affordances and Limitations of Immersive Participatory Augmented Reality Simulations for Teaching and Learning. *J Sci Educ Technol*, 18:7–22.
- eMarketer. 2014. *Smartphone Users Worldwide Will Total 1.75 Billion in 2014*. Tersedia di <http://www.emarketer.com/Article/Smartphone-Users-Worldwide-Will-Total-175-Billion-2014/1010536#sthash.DpdhhqF2.dpuf> [diakses 22-02-2016].
- Frannita, E. L. 2015. *Pengembangan Dan Analisis Media Pembelajaran Perakitan Komputer Berbasis Augmented Reality Untuk Platform Android Di Smk Ypkk 1 Sleman*. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.

- Hardyanto, Wahyu. 2014. *Mengungkap Fenomena Fisika dengan Delphi*. Semarang: Fisika Unnes.
- Heinich,R., Molenda,M., Russell, James D., & Smaldino, Sharon E. 2005. *Instructional Technology and Media for Learning*. Prentice Hall, New Jersey.
- Karamustafaoğlu, O. 2012. How computer-assisted teaching in physics can enhance student learning. *Educational Research and Review*, 7(13): 297-315.
- Listiaji, P. 2015. *Pengembangan Aplikasi Mobile Learning sebagai Penunjang Pembelajaran Fisika Pada Materi Hukum Gravitasi Newton Untuk Siswa SMA*. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Negeri Semarang.
- Perwita, F. 2015. *Pengembangan Katalog Tumbuhan sebagai Media Pembelajaran Biologi pada Materi Plantae di SMA N 7 Semarang*. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Negeri Semarang.
- Prasetyo, S. A. 2014. *Augmented Reality Tata Surya sebagai Sarana Pembelajaran Interaktif bagi Siswa Sekolah Dasar Berbasis Android*. Skripsi. Surakarta: Universitas Muhamadiyah Surakarta.
- Prastowo, A. 2014. *Panduan Kreatif Membuat Bahan Ajar Inovatif: Menciptakan Metode Pembelajaran yang Menarik dan Menyenangkan*. Yogyakarta: DIVA Press.
- Prihadi, Susetyo. 2012. *Smartphone Dari Masa Ke Masa*. Tersedia di <http://inet.detik.com/read/2012/08/02/135853/1981399/317/2/sejarah-smartphone-dari-masa-ke-masa> [diakses 22-02-2016].
- Riccitiello, John. 2014. *Unity (game engine)*. Tersedia di https://en.wikipedia.org/wiki/Unity_%28game_engine%29 [diakses 22-02-2016].
- Sejin, Oh & Woontack Woo. 2008. ARGarden: Augmented Edutainment System with a Learning Companion. Z. Pan *et al.* (Eds.): *Transactions on Edutainment I*, LNCS 5080: 40–50.
- Septianita, R. W. H. 2014. *Pengembangan Media Belajar Buku Saku Fisika Dengan Teknologi Augmented Reality Berbasis Android Pada Materi Fluida Statis Untuk Siswa Kelas X SMA IPA*. Skripsi. Malang: FMIPA, Universitas Negeri Malang.
- Serway, Raymond A. & John W. Jewett, Jr. 2008. *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, Seventh Edition*. USA: Thomson Learning, Inc.
- Sewon, Na, Mark Billingham & Woontack Woo. 2008. TMAR: Extension of a Tabletop Interface Using Mobile Augmented Reality. *Transactions on Edutainment I*, LNCS 5080: 96–106.

- Sudjana, N. & Rifai, A. 2009. *Media Pengajaran (Penggunaan dan Pengembangannya)*. Bandung: Sinar Baru Algesindo.
- Sugandi, A. 2008. *Teori Pembelajaran*. Semarang: Unnes Press.
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Suharsimi, A. 2009. *Dasar - Dasar Evaluasi Pendidikan*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Supardi, Yuniar. 2012. *Sistem Operasi Andal Android*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Tamimuddin, Muh. 2008. *Mengenal Mobile Learning (M-Learning)*. Tersedia di https://mtamim.files.wordpress.com/2008/12/mlearn_tamim.pdf [diakses 14-03-2016].
- Tipler, Paul. 1998. *Fisika Untuk Sains dan Teknik. Terjemahan Lea Prasetio dan Rahmad W. Adi*. Jakarta: Erlangga.
- Tipler, Paul A. & Gene Mosca. 2004. *Physics for Scientists and Engineers.- 5th ed.* USA: W. H. Freeman and Company.
- Wahono, R.S. 2006. *Aspek dan Kriteria Penilaian Media Pembelajaran*. Tersedia di <http://romisatriawahono.net/2006/06/21/aspek-dan-kriteria-penilaian-mediapembelajaran/> [diakses 24-04-2016].
- Wojowasito, S. & W. J. S. Poerwadarminta. 1980. *Kamus Lengkap*. Bandung: Hasta Penerbit.
- Wikipedia. 2016. *Daftar versi Android*. Tersedia di https://id.wikipedia.org/wiki/Daftar_versi_Android [diakses 16-03-2016].
- Yuen, S.C.Y, G. Yaoyuneyong & E. Johnson. 2011. Augmented Reality: An Overview and Five Directions for AR in Education. *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, Vol. 4, 1: 119-140
- Yusniawati, I. 2011. *Peningkatan Hasil Belajar IPA Materi Tata Surya dengan Menggunakan Media Interaktif Animasi 3 Dimensi pada Siswa Kelas VI SD Negeri 02 Tlobo Kecamatan Jatiyoso Kabupaten Karanganyar*. Skripsi. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.