

**SIMULASI GERAK MANUSIA PADA ANIMASI 3D CERITA AL-
FIIL MENGGUNAKAN METODE *FORWARD KINEMATICS*
DAN *INVERSE KINEMATICS***

SKRIPSI



Oleh :

**M. FAHRUDIN MAHDI
NIM. 13650082**

**JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

**SIMULASI GERAK MANUSIA PADA ANIMASI 3D CERITA AL-FIIL
MENGUNAKAN METODE *FORWARD KINEMATICS* DAN
*INVERSE KINEMATICS***

SKRIPSI

**Diajukan kepada:
Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)**

**Oleh :
M. FAHRUDIN MAHDI
NIM. 13650082**

**JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

HALAMAN PERSETUJUAN

**SIMULASI GERAK MANUSIA PADA ANIMASI 3D CERITA AL-FIIL
MENGUNAKAN METODE *FORWARD KINEMATICS* DAN
*INVERSE KINEMATICS***

SKRIPSI

Oleh :
M. FAHRUDIN MAHDI
NIM. 13650082

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal : Maret 2020

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Muhammad Faisal, MT
NIP. 19780625 200801 2 006

Yunifa Miftachul Arif, M.T
NIP. 19830616 201101 1 004

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

Dr. Cahyo Crysdian
NIP. 19740424 200901 1 008

HALAMAN PENGESAHAN

**SIMULASI GERAK MANUSIA PADA ANIMASI 3D CERITA AL-FIIL
MENGUNAKAN METODE *FORWARD KINEMATICS* DAN
*INVERSE KINEMATICS***

SKRIPSI

Oleh :
M. FAHRUDIN MAHDI
NIM. 13650082

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)
Tanggal : Juni 2020

Susunan Dewan Penguji

Tanda Tangan

Penguji Utama	: <u>Hani Nurhayati, M.T</u> NIP. 19780625 200801 2 006	()
Ketua Penguji	: <u>Roro Inda Melani, M.T , M.Sc</u> NIP. 19780925 200501 2 008	()
Sekretaris Penguji	: <u>Dr. Muhammad Faisal, M.T</u> NIP. 19740510 200501 1 007	()
Anggota Penguji	: <u>Yunifa Miftachul Arif, M.T</u> NIP. 19830616 201101 1 004	()

Mengetahui dan Mengesahkan,
Ketua Jurusan Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

Dr. Cahyo Crysdiان
NIP. 19740424 200901 1 008

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : M. Fahrudin Mahdi

NIM : 13650082

Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi/Teknik Infomatika

Judul Skripsi : Simulasi Gerak Manusia Pada Animasi 3d Cerita Al-Fiiil

Menggunakan Metode *Forward Kinematics* Dan *Inverse Kinematics*

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur penjiplakan, maka saya bersedia untuk mempertanggungjawabkan serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 29 Maret 2020
Yang membuat pernyataan,



M. Fahrudin Mahdi
NIM. 13650082

MOTTO

”وما الحياة الدنيا الا متاع الغرور“



HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT atas nikmat terbesar Islam dan Iman yang tertanam di hati ini, serta berbagai kenikmatan yang tak pernah terhitung jumlahnya, sehingga penulis mampu untuk menyelesaikan studi S1 di kampus UIN Malang ini. Solawat dan rasa syukur pula terhadap Rasul-Nya, paling sempurna makhluk, pembimbing dalam segala hal, yaitu Baginda Nabi Muhammad SAW.

Terima kasih yang amat dalam saya sampaikan kepada kedua orang tua yang telah memberikan bimbingan terbaik bagi saya, khususnya ibu tercinta yang selalu sabar, telaten dan tidak pernah menyerah terhadap saya, dalam segala pedidikan, terutama pedidikan agama. Ibu yang sangat saya cinta dan sayangi yang tak henti mendoakan saya, tak henti khawatir terhadap agama saya, tak henti mengingatkan atas kewajiban-kewajiban saya, sehingga ketika berada di dekat beliau, saya selalu ingat bahkan tak sempat untuk lalai, selalu di jalan lurus-Nya dalam ketaatan. Semoga Allah SWT memberikan kesehatan serta umur panjang dalam keberkahan dan keimanan selalu terhadap ibu saya tercinta. Amin Ya Robbal ‘Alamin. Tidak lupa kepada Almarhum Abah dan adik saya yang berbahagia selalu disana, saya yakin mereka bersenang-senang, menikmati kenikmatan-kenikmatan yang tidak bisa saya bayangkan, tanpa sempat melihat berbagai kekejaman di kehidupan fana ini, terbebas terhadap macam-macamnya masalah dunia, semoga Allah SWT mengampuni sisa-sisa dosa beliau, memberikan kebahagiaan yang abadi, dan menuju surga-Nya tanpa hisab. Amin Ya Robbal ‘Alamin

Terima kasih pula teruntuk seluruh guru, ustadz, kiai dan dosen mulai Sekolah Dasar hingga ke Perguruan Tinggi. Tak lupa Pembimbing skripsi saya Dr.

Muhammad Faisal, M.T. dan Yunifa Miftachul Arif, M.T yang dengan sabar dan iklas membantu, membimbing serta menyalurkan ilmu pengetahuannya.

Untuk seluruh teman-teman saya, teman kampung, hingga teman angkatan *Fortinity* TI'13 UIN Maliki Malang, khususnya keluarga Kontrakan70an, Alibi sang kepala suku yang hobi menolong, Tepes asisten manager dengan bantuannya yang tidak disangka-sangka, dan seluruh anggotanya Bagus, Hasan, Fairus, Fatan, Nabil, Charles dan masih banyak sekali, terima kasih kepada kalian atas segala bantuan hingga kenangan yang mewarnai hidup ini. Tidak lupa Alumni kamar 47 ma'had Al-Ali, entah menungguku atau setia menemaniku hingga lulus bersama-sama di semester ter-akhir ini. Semoga kita tetap menjaga tali persaudaraan ini sampai akhir hayat nanti. Dan kepada satu teman lama tersepesial yang namanya di rahasiakan, motivasi terbaik secara gaib terhadap selesainya skripsi ini, pemberi energi positif dalam ketaatan, dengan hanya mengingatnya saja, membuat semangat kembali segar, terimakasih ini tak sempat terucap padanya, semoga Allah SWT selalu memberikan yang terbaik buatmu dalam segala hal.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarokatuhu.

Alhamdulillah Robbil 'Alamiin, segala puji bagi Allah yang selalu memberikan kesehatan, ketabahan dan kekuatan dalam proses penyelesaian skripsi ini. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada junjungan, teladan, dan panutan bagi umat islam yaitu baginda Nabi Muhammad SAW yang telah menyampaikan agama islam sehingga umat manusia menjadi lebih beradab.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan. Atas segala bantuan yang telah diberikan, penulis ingin menyampaikan doa dan ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Dr. M. Faisal, M. T., selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, mengarahkan dan memberi masukan kepada penulis dalam pengerjaan skripsi ini hingga akhir.
2. Yunifa Miftachul Arif, M. T., selaku dosen pembimbing II yang telah membimbing serta memberikan masukan kepada penulis dalam pengerjaan skripsi ini.
3. Dr. Cahyo Crysdiyan, selaku Ketua Jurusan Teknik Informatika yang telah memberikan motivasi untuk terus berjuang.
4. Segenap dosen teknik informatika yang telah memberikan bimbingan keilmuan kepada penulis selama masa studi.
5. Teman-teman seperjuangan teknik informatika Fortinity 2013.

Berbagai kekurangan dan kesalahan mungkin pembaca temukan dalam penulisan skripsi ini, untuk itu penulis menerima segala kritik dan saran yang membangun dari pembaca sekalian. Semoga apa yang menjadi kekurangan bisa

disempurnakan oleh peneliti selanjutnya dan semoga karya ini senantiasa dapat memberi manfaat.

Wassalamualaikum Warahmatullahi.Wabarokatuhu.

Malang, Maret 2020

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
ملخص	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Pernyataan Masalah	5
1.3 Tujuan	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Animasi	7
2.1.1 Sejarah Animasi	8
2.1.2 Prinsip Dasar Animasi.....	8
2.2 Proses Produksi Film Animasi	10
2.2.1 Pra Produksi	10
2.2.2 Proses Pembuatan Film Animasi	11
2.2.3 Pasca Produksi	13
2.3 <i>Kinematics</i>	13
2.4 <i>Forward Kinematics</i> (FK).....	13
2.5 <i>Inverse Kinematics</i> (IK)	14

2.6 <i>Rig</i> Karakter	16
2.7 Blender	17
2.8 Penelitian Terkait	19
BAB III ANALISA DAN PERANCANGAN	22
3.1 Analisis dan Perancangan	22
3.1.1 Objek Penelitian	22
3.1.2 Metode Pengolahan Data	24
3.1.3 <i>Modeling</i> 3D	28
3.1.4 <i>Rigging</i> Karakter 3D	31
3.2 Metode Pengujian.....	38
3.3 Pra Produksi	39
3.3.1 Ide Cerita.....	39
3.3.2 <i>Storyboard</i>	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Produksi	42
4.1.1 <i>Modeling</i>	42
4.1.2 <i>Texturing</i>	44
4.1.3 <i>Rigging</i>	46
4.1.4 <i>Animating</i>	50
4.1.5 <i>Lighting</i>	51
4.1.6 <i>Camera Operating</i>	52
4.1.7 <i>Rendering</i>	53
4.2 Pasca Produksi	53
4.3 Hasil Implementasi Metode	54
4.4 Integrasi Islam.....	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gerakan tangan menggunakan <i>forward kinematics</i>	14
Gambar 2.2 Gerakan memukul menggunakan <i>inverse kinematics</i>	16
Gambar 2.3 Contoh animasi pendek berbasis 3D yang dibuat menggunakan <i>software</i> Blender milik Blender Foundation.	19
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.	23
Gambar 3.2 Aktifitas berjalan manusia.	24
Gambar 3.3 Pengukuran sudut derajat sendi lengan atas.	25
Gambar 3.4 Pengukuran sudut derajat sendi lengan bawah.	26
Gambar 3.5 Pengukuran sudut derajat sendi paha.....	26
Gambar 3.6 Pengukuran sudut derajat sendi betis.....	26
Gambar 3.7 Desain Kerangka 2D tubuh manusia 27	27
Gambar 3.8 Blok diagram <i>modeling</i> 3D karakter manusia 28	28
Gambar 3.9 Impor desain kerangka 2D kedalam <i>software</i> Blender..... 29	29
Gambar 3.10 <i>Modeling</i> tubuh bagian kiri..... 30	30
Gambar 3.11 Penambahan fungsi <i>mirror</i> 30	30
Gambar 3.12 Objek tubuh tampak depan dan tampak samping 31	31
Gambar 3.13 Blok diagram perancangan kerangka <i>bone</i> karakter 3D manusia . 32	32
Gambar 3.14 Kerangka objek tulang human (<i>Meta-Rig</i>). 32	32
Gambar 3.15 Presisi objek tulang human (<i>Meta-Rig</i>) dengan karakter 3D. 33	33
Gambar 3.16 Implementasi <i>generated rig</i> 33	33
Gambar 3.17 Implementasi <i>parenting rigify to bone</i> 34	34
Gambar 3.18 <i>Flowchart</i> implementasi <i>forward kinematics</i> dan <i>inverse kinematics</i> 35	35
Gambar 3.19 Penambahan target <i>forward kinematics</i> pada tulang bagian tangan. 36	36
Gambar 3.20 Penambahan target <i>inverse kinematics</i> pada tulang bagian kaki... 36	36
Gambar 3.21 Proses perhitungan <i>forward kinematics</i> dengan 2 <i>degree of freedom</i> . (Boggus, 2018)..... 37	37
Gambar 3.22 Pengukuran ukuran derajat kebebasan tulang..... 38	38

Gambar 3.23 Gerak berjalan manusia menggunakan metode <i>forward kinematics</i> dan <i>inverse kinematics</i>	38
Gambar 4.1 <i>Modeling</i> bangunan rumah.	43
Gambar 4.2 <i>Modeling</i> Ka'bah.	43
Gambar 4.3 <i>Modeling</i> Kota.	44
Gambar 4.4 <i>Texturing</i> bangunan.	45
Gambar 4.5 Kota Makkah setelah di berikan tekstur	46
Gambar 4.6 <i>Animating</i> menggunakan metode <i>forward kinematics</i> dan <i>inverse kinematics</i>	51
Gambar 4.7 <i>Lighting setting</i>	52
Gambar 4.8 <i>Camera operating</i>	52
Gambar 4.9 <i>Editing video</i>	53
Gambar 4.10 Simulasi gerak berjalan manusia	54



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Rekapitulasi derajat sendi untuk diterapkan pada <i>software</i> Blender....	27
Tabel 4.1 Hasil nilai <i>end-effector</i> dari tulang tangan	61
Tabel 4.2 Hasil nilai derajat dari tulang kaki.	61
Tabel 4.3 Tingkat kesalahan posisi <i>end-effector</i> tulang tangan.	65
Tabel 4.4 Tingkat kesalahan derajat sendi tulang kaki.....	65



ABSTRAK

Mahdi, M. Fahrudin. 2020. **Simulasi Gerak Manusia Pada Animasi 3D Cerita Al-Fiil Menggunakan Metode *Forward Kinematics* Dan *Inverse Kinematics***. Skripsi. Jurusan Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Dr. Muhammad Faisal, M. T. (II) Yunifa Miftachul Arif, M.T.

Kata kunci: Animasi 3D, Simulasi Manusia Berjalan, Rigging, Forward Kinematics, Inverse Kinematics.

Perkembangan teknologi yang sangat cepat, menuntut kita untuk memperoleh informasi secara cepat dan mudah. Animasi 3D sebagai media pembelajaran akan membuatnya lebih menarik serta mudah dipahami. Kisah Al-Fiil berceritakan tentang peristiwa dahsyat bagaimana raja Abrahah ketika akan menyerang Ka'bah, namun digagalkan oleh Allah SWT dengan mengirimkan malaikatnya yang menjelma sebagai pasukan burung Ababil yang membawa batu api dari neraka, kemudian melemparkannya pada setiap pasukan raja Abrahah hingga menembus dari atas ke bawah seperti daun-daun yang dimakan ulat. Penelitian ini berfokus pada gerakan 3D manusia ketika berjalan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan pola gerak berjalan manusia secara nyata. Rigging adalah proses menambahkan tulang ke karakter atau mendefinisikan gerakan pada benda mekanis. Forward kinematics adalah suatu fungsi yang memetakan sudut terhadap posisi dengan parameter posisi dan orientasi. Inverse kinematics adalah suatu fungsi untuk menentukan setiap pergerakan suatu sistem dari posisi yang ingin dicapai. Pengujian penelitian ini yaitu dengan cara membandingkan rotasi sudut derajat tulang tangan dan posisi end-effector kaki pada gerakan berjalan manusia versi 3D menggunakan metode Forward kinematics dan inverse kinematics dengan gerakan berjalan manusia di dunia nyata. Hasil yang didapat bahwa karakter 3D manusia ketika berjalan memiliki kemiripan dengan objek aslinya dengan rata-rata error sebesar 5,45% dari 12 data. Data tersebut berupa 2 tulang pada tangan dan 2 tulang pada kaki pada beberapa pose gerakan saat berjalan.

ABSTRACT

Mahdi, M. Fahrudin. 2020. **Simulation of Human Motion in 3D Animation Stories from Surah Al-Fiil Using Forward Kinematics and Inverse Kinematics Methods**. Undergraduate Thesis. Informatics Engineering Department of Science and Technology Faculty Islamic State University Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor: (I) Dr. Muhammad Faisal, M. T. (II) Yunifa Miftachul Arif, M.T.

Keyword: 3D Animation, Simulation of Human Motion, Rigging, Forward Kinematics, Inverse Kinematics.

The development of technology is very fast, requiring us to obtain information quickly and easily. 3D animation as a learning medium will make it more interesting and easier to understand. The story of Surah Al-Fiil tells of the terrible event of how King Abraha was about to attack the Kaaba, but was thwarted by Allah SWT by sending his angels incarnated as an Ababil bird army carrying flint stones from hell, then throwing them at each of Abraha's forces to penetrate the king of Abraha's army from top to bottom like leaves that are eaten by caterpillars. This research focuses on 3D human movements when walking. The purpose of this study is to produce a real human walking pattern. Rigging is the process of adding bone to a character or defining movement on a mechanical object. Forward kinematics is a function that maps angles to positions with position and orientation parameters. Inverse kinematics is a function to determine every movement of a system from the position to be achieved. Testing of this research is to compare the rotation of the angle of the hand bone and the position of the end-effector of the foot in the 3D version of human walking using Forward kinematics and inverse kinematics with human walking in the real world. The results obtained that human 3D characters when walking have similarities with the original object with an average error of 5.45% from 12 data. The data is in the form of 2 bones in the hands and 2 bones in the legs in several poses when walking.

ملخص

مهد، محمد فخرالدين. 2020 . محاكاة الحركة البشرية في قصص الرسوم المتحركة 3D من سورة الفيل باستخدام الطرق **Forward Kinematics** و **Inverse Kinematics** . أطروحة الجامعية . قسم هندسة المعلوماتية بكلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة الحكومية الإسلامية مولانا مالك إبراهيم مالانج. المشرف : (الأول) الدكتور محمد فيصل ، ماجستير ، (الثاني) يونيفا مفتاح العارف، ماجستير

الكلمات الرئيسية: الرسوم المتحركة ثلاثية الأبعاد ، محاكاة المشي البشري ، **Invers** ، **Forward Kinematics** ، **Rigging** ، **Kinematics**.

إن تطوير التكنولوجيا سريع للغاية ، مما يتطلب منا الحصول على المعلومات بسرعة وسهولة . الرسوم المتحركة 3D كوسيلة تعلم ستجعلها أكثر إثارة للاهتمام وأسهل للفهم . قصة سورة الفيل تحكي عن الحدث الرهيب كيف كان الملك أبرهة على وشك مهاجمة الكعبة ، ولكن تم إحباطه من قبل الله سبحانه وتعالى من خلال إرسال ملاكته المتجسد كقوات طيور أباييل تحمل الصوان من الجحيم ، ثم رميها على كل من قوات أبرهة لاختراق ملك أبرهة من الأعلى إلى الأسفل مثل الأوراق التي تأكلها اليرقات . يركز هذا البحث على الحركات البشرية 3D عند المشي . الغرض من هذه الدراسة هو إنتاج نمط مشي حقيقي للإنسان . التزوير هو عملية إضافة عظم إلى شخصية أو تحديد حركة على جسم ميكانيكي . **Forward kinematics** هي وظيفة تقوم بتعيين الزوايا إلى المواضع بمعلمات الموضع والاتجاه . **Inverse kinematics** هي وظيفة لتحديد كل حركة لنظام من الموقع المطلوب تحقيقه . يتمثل اختبار هذا البحث في مقارنة دوران زاوية عظم اليد وموضع **end-effector** للقدم في النسخة 3D للمشي البشري باستخدام **forward kinematics** و **inverse kinematics** مع المشي البشري في العالم الحقيقي . حصلت النتائج على أن الشخصيات 3D عند المشي لها أوجه تشابه مع الكائن الأصلي بمتوسط خطأ 5.45% من 12 بيانات . البيانات في شكل عظامين في اليدين وعظامين في الساقين في عدة أوضاع عند المشي .

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan ini akan dijelaskan tentang latar belakang penelitian, pernyataan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian.

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi sangat cepat sehingga menuntut kita untuk memperoleh informasi secara cepat dan mudah, salah satu bentuk informasi yang mudah untuk disajikan dan cepat di pahami yaitu dalam bentuk animasi.

Animasi 3D adalah objek animasi yang berada pada ruang 3D. Objek animasi ini dapat di rotasi dan berpindah untuk menciptakan sebuah visual yang lebih realistik. Dengan animasi, serangkaian gambar dapat diubah secara lambat atau cepat, sehingga menjadi menyatu ke dalam visual gerak dan dapat juga digabungkan dengan suara (Vaughan, 2004). Selain tampak lebih nyata, animasi 3D lebih menarik dan lebih interaktif dibandingkan animasi 2D serta lebih simpel dibandingkan dengan animasi *stop motion* yang memerlukan perekaman langsung. Selain digunakan dalam pembuatan film kartun, animasi 3D juga dapat digunakan untuk menyampaikan informasi. Banyak media-media informasi yang menggunakan fitur animasi untuk membuat informasi yang dihasilkan menjadi lebih nyata dan menarik.

Saat ini *software* animasi yang berkembang di masyarakat sangatlah banyak contohnya Autocad, 3D Max, Solidwork, Blender. Salah satu *software* yang paling sering digunakan adalah blender karena *software* ini mempunyai sifat *open source*, blender merupakan *software* pengolahan animasi 3D yang bisa

dijalankan di windows atau linux. Selain *open source*, yang menarik pada *software* ini yaitu di sajikan secara gratis. *Software* ini digunakan untuk membuat desain objek dalam bentuk 3D dan gambar yang diperlihatkan semakin hidup dan nyata mendekati wujud aslinya.

Pembuatan animasi 3D tidak lepas dari *rigging* atau menggerakkan objek 3D. untuk menggerakkan objek 3D, animator perlu menambahkan *bone* atau *rig kontroler* pada objek karakter agar animator dapat menggerakkan objek karakter tersebut (Beane, 2012). Namun apabila dibutuhkan gerakan animasi yang bervariasi maka akan diberikan ratusan hingga ribuan titik kontrol. Tahap selanjutnya yaitu *skinning*, *skinning* adalah proses penyatuan antara *rig* atau tulang dengan karakter. Sehingga tulang dan *controller* yang sudah dibuat dapat berfungsi dan dapat digerakkan. Tugas pembuat *rig* bukan sekedar membuat *rig* saja, tujuan utamanya yaitu untuk memudahkan dan meringankan animator dalam menggerakkan objek 3D sesuai apa yang diinginkan.

Terdapat beberapa metode yang dapat diterapkan dalam *rigging* objek 3D, di antaranya adalah *forward kinematics* dan *invers kinematics*. *Forward kinematics* (FK) merupakan salah satu metode yang banyak di gunakan dalam mengendalikan robot, pembelajaran simulasi biomekanik, teknik mesin, dan juga bisa di terapkan dalam pembuatan animasi. *Forward kinematics* adalah suatu fungsi yang memetakan sudut terhadap posisi. Pengendalian ini menggunakan beberapa parameter, yaitu di antaranya dengan posisi dan orientasi. Parameter posisi menentukan koordinat posisi robot, sedangkan orientasi menentukan *frame* (dimensi yang digunakan robot) pada masing-masing *joint* (titik sendi) pada robot.

Inverse kinematics merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menentukan setiap pergerakan suatu sistem dari posisi yang ingin dicapai. Kinematik dalam *rigging* karakter merupakan suatu bentuk pernyataan yang berisi tentang deskripsi matematik geometri dari suatu struktur *bone*. Dari persamaan kinematik dapat diperoleh hubungan antara konsep geometri ruang sendi (*joint*) pada *bone* dengan konsep koordinat yang biasa dipakai untuk menentukan kedudukan dari suatu obyek. Dengan model kinematik, animator dapat menentukan konfigurasi referensi input yang harus diumpangkan ke tiap aktuator agar *bone* dapat melakukan gerakan simultan (seluruh sendi) untuk mencapai posisi yang dikehendaki. Sebaliknya, informasi kedudukan (sudut) yang dinyatakan oleh tiap sendi ketika *bone* sedang melakukan suatu gerakan, dengan analisa kinematik programmer dapat menentukan dimana posisi bagian *bone* yang bergerak itu dalam koordinat ruang.

Pada penelitian sebelumnya metode *forward kinematics* banyak diterapkan pada robotika dan masih belum terdapat penelitian yang membahas penggunaan *forward kinematics* pada animasi gerak manusia. sedangkan metode *inverse kinematics* sendiri sudah banyak diterapkan pada animasi. Peneliti akan melakukan penelitian tentang gerak dan cara manusia berjalan menggunakan metode *forward kinematics* dan *inverse kinematics*. Peneliti mengambil judul “Simulasi gerak Manusia pada animasi cerita Al-Fiil menggunakan metode *forward kinematics* dan *inverse kinematics*”.

Peneliti berfokus pada aktivitas berjalan manusia karena jalan kaki memiliki manfaat bagi kesehatan tubuh, jalan kaki termasuk salah satu jenis aktivitas fisik atau olah raga untuk menjaga kesehatan. Dalam beberapa keterangan

disebutkan bahwa Rasulullah Saw adalah orang yang cepat cara berjalannya. Hal ini tidak hanya dijadikan sebagai rutinitas tanpa arti oleh Rasulullah Saw, terbukti ada banyak versi hadits yang menyebut bahwa berjalan adalah kegiatan yang mampu menyehatkan tubuh. Itu artinya ternyata jalan kaki adalah salah satu bagian dari olahraga. Diriwayatkan dari Abu Hurairah :

مَا رَأَيْتُ شَيْئًا أَحْسَنَ مِنْ رَسُولِ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ ، كَأَنَّما الشَّمْسُ تَجْرِي فِي وَجْهِهِ ، وَمَا رَأَيْتُ أَسْرَعَ فِي مَشِيَّتِهِ مِنْ رَسُولِ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ كَأَنَّ الْأَرْضَ تُطَوَّى لَهُ ، إِنَّا لَنُجْهِدُ أَنْفُسَنَا ، وَإِنَّهُ لَغَيْرُ مُكْتَرَبٍ

Abu Hurairah mengatakan, “Tidaklah aku mengetahui sesuatupun yang lebih bagus dibandingkan Rasulullah Saw, wajahnya terang seperti matahari. Dan tidaklah aku mengetahui seorang pun yang lebih cepat jalannya dibandingkan dengan Rasulullah Saw, -ketika beliau berjalan- seakan-akan bumi ini digulung untuknya, kami telah bersungguh-sungguh menyamai beliau, namun beliau tidak bergeming sama sekali.” (HR. Tirmidzi).

Hadits di atas terdapat di dalam setidaknya dua kitab hadits, pertama adalah Musnad Ahmad bin Hanbal dan kedua adalah Shahih Ibn Hibban. Dengan demikian, maka tepatlah jika berjalan kaki adalah termasuk olahraga yang dilakukan oleh Nabi Muhammad Saw dan para sahabatnya zaman dahulu.

Adapun ayat al-Qurân yang menjadi landasannya, sebagai dasar memperkuat pernyataan hadits diatas.

قَالَتْ إِحْدَاهُمَا يَا أَبَتِ اسْتَأْجِرْهُ إِنَّ خَيْرَ مَنِ اسْتَأْجَرْتَ الْقَوِيُّ الْأَمِينُ

Artinya: “Sesungguhnya orang yang paling baik yang kamu ambil untuk bekerja (pada kita) ialah orang yang kuat lagi dapat dipercaya”. (Qs.al-Qashas: 26).

Maka sebagai seorang muslim sudah seharusnya untuk mengaplikasikan anjuran Rasulullah dengan rajin berolahraga agar menjadi sehat dan mempunyai fisik yang kuat. Pada masa Rasulullah pendidikan jasmani dilakukan selain

untuk kesehatan dan kekuatan dirinya dan juga bertujuan untuk membela agama Allah yaitu Islam.

1.2 Pernyataan Masalah

1. Berapa koordinat *end effector* pada lengan manusia menggunakan metode *forward kinematics* ?
2. Berapa tingkat kesalahan derajat sendi tulang kaki pada objek 3D manusia ketika berjalan menggunakan metode *inverse kinematics* ?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian diantara lain adalah:

1. Mengetahui koordinat *end effector* pada tulang tangan dan kaki manusia saat berjalan.
2. Mengetahui sumbu derajat kebebasan pada tulang tangan dan kaki manusia saat berjalan.
3. Memudahkan teknik *rigging* pada karakter.
4. Menghasilkan pola gerak manusia dengan metode *forward kinematics* dan *inveres kenematics*.
5. Mengetahui tingkat kesalahan derajat sendi tulang kaki pada objek 3D manusia ketika berjalan menggunakan metode *inverse kinematics*

1.4 Batasan Masalah

Berikut beberapa batasan yang diberikan agar menjaga focus pada penelitian ini :

1. Objek penelitian hanya pada tangan dan kaki manusia.
2. Metode yang digunakan adalah *forward kinematics* dan *invers kinematics*.
3. Animasi dibuat dengan menggunakan *software* Blender 3D.

4. Pengukuran derajat sendi hanya pada tangan dan kaki manusia saat berjalan.
5. Metode *forward kinematics* akan digunakan pada tulang tangan manusia dan metode *invers kinematics* akan digunakan pada tulang kaki manusia

1.5 Manfaat

1. Membantu dalam tahapan pembuatan proses *animate* dengan objek manusia.
2. Membantu dalam pembuatan film animasi yang menggunakan karakter manusia.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini, akan dijelaskan mengenai tinjauan pustaka yang berkaitan dengan penelitian ini. Selain itu juga dijelaskan mengenai penelitian-penelitian terkait yang dijadikan rujukan dalam penelitian ini.

2.1 Animasi

Kata Animasi berasal dari bahasa Yunani “anima” yang berarti hidup, dan dalam Bahasa Inggris merupakan serapan dari kata “animation” yang bersal dari kata “to animate” yang berarti menghidupkan. Animasi adalah gambar bergerak berbentuk dari sekumpulan objek (gambar) yang disusun secara beraturan mengikuti alur pergerakan yang telah ditentukan (Awulle, Miranthy S. dkk, 2016) .

Menurut Vaughan animasi adalah suatu usaha untuk membuat presentasi statis menjadi hidup. Hal ini dilakukan dengan perubahan visual sepanjang waktu yang memberikan kekuatan besar pada proyek multimedia.

Menurut Ibiz Fernandez dalam bukunya Macromedia Flash Animation & Cartooning A Creative Guide animasi didefinisikan sebagai berikut :
“Animation is the process of recording and playing back a sequence of stills to achieve the illusion of continues motion” (Fernandez, 2002). Yang artinya kurang lebih adalah: Animasi adalah sebuah proses merekam dan memainkan kembali serangkaian gambar statis untuk mendapatkan sebuah ilusi pergerakan.

2.1.1 Sejarah Animasi

Animasi merupakan suatu teknik yang banyak dipakai di dalam dunia film dewasa ini, baik sebagai satu kesatuan yang utuh, bagian dari suatu film, maupun bersatu dengan film *live*.

Dunia film sebenarnya berakar dari fotografi, sedangkan animasi berakar dari dunia gambar, yaitu ilustrasi desain grafis (desain komunikasi visual). Melalui sejarahnya masing-masing, baik fotografi maupun ilustrasi mendapat dimensi dan wujud baru di dalam film *live* dan animasi. (Putra & Purwanto, 2015)

2.1.2 Prinsip Dasar Animasi

Sebagai seorang animator, tentunya harus memiliki prinsip-prinsip dasar yang dijadikan sebagai patokan dalam pembuatan karakter animasi, dibutuhkan kedisiplinan dan pengaturan rangkaian gerakan-gerakan alami seperti makhluk hidup terutama gerakan manusia. Thomas dan Jhonston memberikan dua belas (12) prinsip animasi yang diadopsi dari animasi produksi Disney (Thomas & Johnston, 1981), yaitu:

1. Pewaktu (*Timing*)

Timing merupakan faktor penting dalam membuat sebuah film animasi. Animator harus dapat mengatur waktu lamanya sebuah benda atau objek bergerak. Begitu juga ketika objek tersebut mengeluarkan sebuah ekspresi, seperti sedih, senang, lucu atau marah. Dengan pewaktuan yang tepat, emosi penonton pun dapat dikeluarkan.

2. Gerakan Masuk dan keluar

Sebuah objek yang bergerak tidak akan bergerak dan berhenti tiba-tiba. Selalu ada tahapan dan perbedaan kecepatan saat pergantian posisi objek. Dengan begitu, pergerakan objek akan terlihat alami.

3. Busur sendi (*Arcs*)

Makhluk hidup selalu bergerak berdasarkan sendi-sendi dalam tubuh mereka. Sehingga gerakan yang dibuat dalam animasi pun harus mengikuti pergerakan sendi-sendi tersebut.

4. Aksi yang mengikuti dan menunjang (*Follow through* dan *overlapping action*)

Pengertian dari prinsip ini dapat diamati dari objek yang memiliki banyak anggota badan. Gerakan pada anggota tersebut tidak terjadi secara bersamaan tetapi bergantian, seperti gerakan kaki ketika melangkah.

5. Gerakan kedua (*Secondary action*)

Selain gerakan utama diperlukan juga gerakan yang tidak dominan. Gerakan ini berfungsi untuk memperkuat gerakan utama, seperti waktu berjalan gerakan utamanya adalah kaki melangkah. Kemudian ditambahkan gerakan pinggang untuk melengkapinya.

6. Melekok dan meregang (*Squash* dan *stretch*)

Gerakan yang dibuat harus mengikuti bagian fisik objeknya. Seperti ketika menggerakkan tangan akan ada bagian yang melekok dan bentuk kulitnya pun mengikuti posisi dari tangan tersebut.

7. Melebih-lebihkan (*Exaggeration*)

Memberikan aksen pada gerakan suatu objek yaitu didapat dari melebih lebihkan suatu gerakan.

8. Antisipasi (*Anticipation*)

Gerakan yang disiapkan untuk mendampingi gerakan utama. Sehingga gerakan utama mendapatkan kesiapan dan terlihat alami.

9. Tingkatan gerakan (*Staging*)

Mengatur gerakan yang akan terjadi pada setiap objek, sehingga mendapatkan visualisasi yang jelas.

10. Personalisasi (*Personality*)

Memasukan sifat-sifat untuk setiap objek yang dibuat. Gerakan-gerakan. Untuk setiap objek harus dapat memperlihatkan sifat objek tersebut.

11. Daya tarik (*Appeal*)

Sebuah animasi harus memiliki daya tarik tertentu secara jelas, bisa ditunjukkan pada pembuatan bentuk karakter dan gerak karakter tokoh dalam cerita animasi tersebut.

2.2 Proses Produksi Film Animasi

Dalam proses pembuatan film animasi di bagi dalam 3 tahapan yaitu Pra Produksi, Produksi dan Pasca Produksi.

2.2.1 Pra Produksi

a. Ide Cerita

Merupakan inti dari sebuah film. Ide cerita yang unik membuat film semakin menarik untuk ditonton. Ide harus memiliki keistimewaan, keunggulan dan keunikan yang khas sehingga menarik untuk diangkat.

b. Naskah Cerita atau Skenario

Setelah ide cerita didapat, langkah selanjutnya membuat sinopsis atau ringkasan cerita secara menyeluruh. Kemudian diubah lagi menjadi skenario, yaitu setiap *frame* sudah terperinci tentang adegan karakter, latar, *sound*, pergerakan kamera, durasi, suasana dan lain-lain. Semua langkah itu dilakukan supaya dapat meminimalisir kesalahan dan hasilnya tampak bagus.

c. *Storyboard Animatic*

Setelah skenario, selanjutnya menuangkan ide cerita tersebut ke dalam visual sehingga dapat dipahami orang lain.

d. *Sound Effect* dan Musik

Dalam memberikan *sound FX* perlu banyak diperhatikan tentang suasana, tempat dan sebagainya agar hasilnya benar-benar menyentuh.

2.2.2 Proses Pembuatan Film Animasi

Film Animasi 3D mempunyai beberapa tahapan produksi dalam pembuatannya, yaitu:

a. *Modeling*

Proses ini adalah proses pembuatan model objek dalam bentuk 3D di komputer. Pada pembuatan film ini saya melakukan *Modeling* character dengan menggunakan teknik *polygonal modeling* .

b. *Texturing*

Proses ini adalah proses pembuatan dan pemberian warna dan material (*texture*) pada obyek yang telah dimodelkan sebelumnya sehingga akan tampak suatu kesan yang nyata. Pemberian material atau *texture* pada obyek 3D akan mendefinisikan rupa dan jenis bahan dari objek 3D.

c. *Rigging*

Rigging adalah proses pemberian kerangka atau tulang pada model dimana tulang inilah yang nantinya akan menjadi penggerak bagi model yang telah dibuat sebelumnya.

d. *Skinning*

Skinning adalah proses menggabungkan karakter dengan kerangka yang telah kita buat sebelumnya yang mana apabila tulang digerakkan maka objek karakter akan mengikuti pergerakan kerangka tersebut.

e. *Acting/animation*

Proses ini adalah proses pembuatan animasi untuk model. Animasi dapat berupa gerakan, baik gerakan obyek/model atau gerakan kamera untuk menciptakan animasi.

f. *Lighting*

Lightning adalah proses pembuatan dan pemberian cahaya pada model sehingga diperoleh kesan visual yang realistis karena terdapat kesan kedalaman ruang dan pembayangan objek.

g. *Rendering*

Rendering adalah proses akhir dari keseluruhan proses produksi. Dalam *rendering*, semua data-data yang sudah dimasukkan dalam proses

Modeling, animasi, *texturing*, pencahayaan dengan parameter tertentu akan diterjemahkan dalam sebuah bentuk *output* yang berupa gambar atau video.

2.2.3 Pasca Produksi

Pengkomposisian dan *editing* dalam pembuatan sebuah film animasi baik itu 2D maupun 3D adalah hal yang sangat utama. Karena pada tahap inilah adegan – adegan yang sudah di *render* kemudian disatukan, dirangkai dan diberi suara.

2.3 Kinematics

Kinematics adalah studi analisis pergerakan kerangka kaki atau lengan terhadap sistem kerangka koordinat acuan yang diam atau bergerak tanpa memperhatikan gaya yang menyebabkan pergerakan tersebut. Model kinematika merepresentasikan hubungan *end effector* dalam ruang tiga dimensi dengan variabel sendi dalam ruang sendi. *Kinematics* terdiri dari 2 pendekatan yaitu *inverse kinematics* dan *forward kinematics*. Animasi menggunakan dua pendekatan ini untuk menampilkan hasil yang natural.

Kinematics merupakan metode untuk menggerakkan tulang kerangka karakter yang telah dibuat. Terdapat dua *kinematics* yang digunakan dalam animasi karakter yaitu *forward kinematics* dan *inverse kinematics*. Untuk menggerakkan karakter dengan *forward kinematics*, anda memutar setiap sendi yang ada pada karakter sampai mendapatkan posisi yang diinginkan.

2.4 Forward Kinematics (FK)

Dalam sistem *forward kinematics*, animator harus menentukan semua parameter untuk derajat rotasi dan urutannya masing-masing bersama dalam

hierarki, untuk memindahkan anggota badan dari titik A ke titik B dalam pembuatan animasi 3D. Dengan *forward kinematics*, *parent bone* dipindahkan dalam hierarki, semua *child bone* mengikuti rotasi dari *parent bone* karena, hubungan tersebut selalu dijaga dan dengan demikian disebut sebagai gerak maju atau kinematika. Gambar 2.1 menunjukkan penggunaan sistem *forward kinematics* untuk menggerakkan sendi lengan ke arah kaca dengan memutar secara berurutan setiap sambungan di sudut yang tepat menuju tujuannya.



Gambar 2.1 Gerakan tangan menggunakan *forward kinematics*.

Proses perhitungan *forward kinematics* diawali dengan mempertimbangkan nilai *degree of freedom (DOF)* untuk sambungan $\theta = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m]$ dan *joint* yang digambarkan sebagai $e = [e_1, e_2, \dots, e_n]$. Gerak *end effector* pada *forward kinematics* secara tidak langsung dihitung sebagai akumulasi dari semua transformasi *end effector* dari *joint* yang diberikan persamaan :

$$e = f(\theta) \quad (2.1)$$

2.5 Inverse Kinematics (IK)

Inverse kinematics merupakan suatu metode analisa untuk melakukan transformasi dari koordinat kartesius ke ruang sendi. Dari persamaan *inverse kinematics*, dapat diperoleh hubungan antar konsep geometri ruang sendi pada

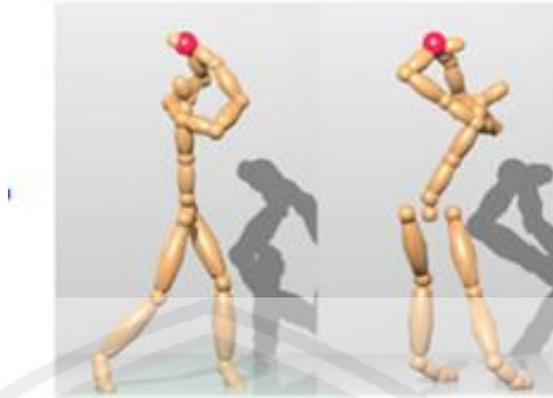
tulang dengan konsep koordinat yang biasa digunakan untuk menentukan posisi suatu objek. Dengan metode *inverse kinematics*, pergerakannya hanya ditentukan dari posisi koordinat *end effector* kaki pada saat berjalan sehingga tidak perlu lagi menentukan besaran sudut pada masing-masing sendi.

Inverse kinematics adalah teknik yang digunakan dalam model animasi kompleks dan rig gerak dengan sejumlah sendi. Perbedaan mendasar dengan kinematika maju, kinematika ditentukan dari pergerakan tulang berdasarkan sudut akhir dari *inverse* beberapa sendi yang mendefinisikan gerakan.

Dalam sistem *inverse kinematics* animator hanya menentukan posisi yang diinginkan pada akhir anggota otot sendi atau *end-effector* sehingga animator tidak perlu menentukan setiap pangkal sendi karena dari nilai *end-effector* pangkal sendi lainnya akan dihitung secara otomatis. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. *End-effector inverse kinematics* ditentukan pada tempat yang diinginkan, pada Gambar ke dua semua rotasi sendi dihitung dan menyesuaikan secara otomatis sesuai dengan penempatan *end-effector inverse kinematics* (Huang, Jing dkk, 2016).

Animasi pada *inverse kinematics* dilakukan dengan mengikuti peraturan berikut :

1. Posisi dan rotasi objek tergantung dari posisi objek anak.
2. Perpindahan dan rotasi yang terjadi pada objek induk dihitung secara otomatis berdasarkan properti yang ditentukan pada *rotational* dan *sliding joint*.



Gambar 2.2 Gerakan memukul menggunakan *inverse kinematics*.

2.6 Rig Karakter

Rigging adalah proses menambahkan tulang ke karakter atau mendefinisikan gerakan benda mekanis. Ini adalah pusat proses animasi karena akan menunjukkan bagaimana karakter muncul ketika berubah bentuk menjadi pose yang berbeda. Proses tali-temali melibatkan menciptakan kerangka, menambahkan kulit ke bagian rangka tubuh dan kemudian menempelkan bagian-bagian yang berbeda bersama-sama. Fase pemberian tulang untuk mengontrol masing-masing objek yang akan digerakkan nantinya dalam proses animasi. Dimana suatu proses tahapan yang penting dan riskan sebelum dilakukannya pembuatan animasi. Hal ini terjadi jika tidak dilakukan dan atau tidak tepatnya penempatan pada saat penambahan tulang pada suatu obyek. Karena nantinya obyek akan sangat berpengaruh geraknya saat dilakukan animasi

Sebuah rig karakter pada dasarnya adalah sebuah kerangka digital terikat mesh 3D . Seperti kerangka nyata, rig terdiri dari joint dan bone, yang masing-masing bertindak "menangani" agar dapat digunakan animator untuk menekuk karakter tersebut ke dalam pose yang diinginkan.

Sebuah *rig* karakter dapat berkisar dari yang sederhana dan elegan untuk gerakan yang rumit. Sebuah konfigurasi dasar untuk berpose sederhana dapat dibangun dalam beberapa jam, sementara *rig* yang sepenuhnya diartikulasikan untuk sebuah film mungkin memerlukan beberapa hari atau minggu sebelum karakter siap pada tingkatan pixar animasi. Supervisor 3D, Fabian Frank menjelaskan “Mengonsep *bone* dalam karakter merupakan suatu hal yang sangat penting dalam *rig* karakter. Sebuah pra visual digunakan untuk menentukan dasar gerakan karakter kemudian digunakan sebagai panduan untuk *rig* karakter”. (Frank, Fabian, 2014).

2.7 Blender

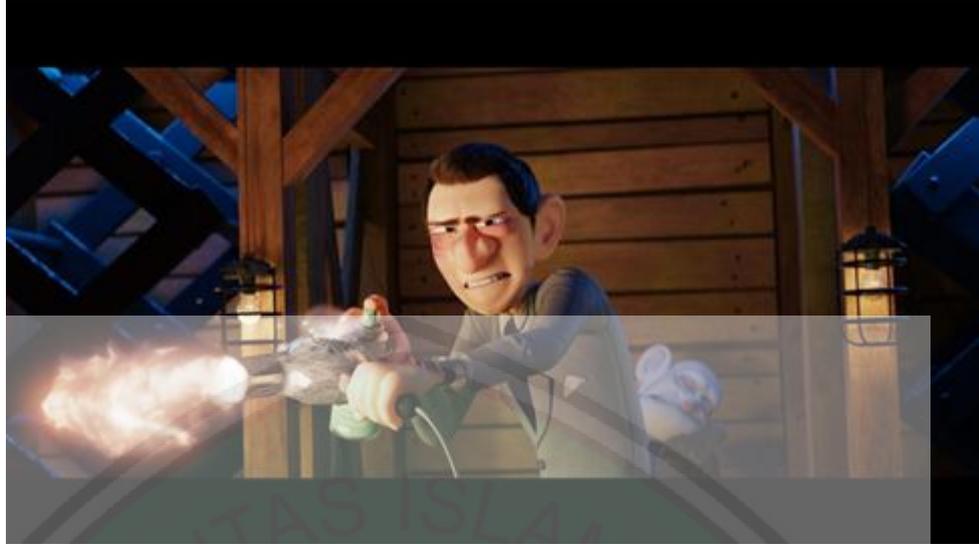
Blender merupakan salah satu aplikasi untuk membuat grafik 3 Dimensi (3D) dan animasi dimana blender dapat digunakan untuk pemodelan, *texturing*, *rigging*, simulasi air, *skinning*, animasi, *rendering*, partikel dan simulasi lainnya, *non-linier editing*, *compositing*, dan membuat aplikasi 3D interaktif, seperti video *game*, film animasi, maupun visual *effect* dan Phyton sebagai bahasa pemrograman untuk *scripting*. Blender merupakan OSS (*Open Source Software*) dibawah GNU (*General Public License*). Blender tersedia pada berbagai jenis sistem operasi, seperti Linux, Mac OS X dan Microsoft Windows dan OpenGL digunakan blender sebagai *render* grafiknya. Blender memberikan fitur-fitur utama yaitu sebagai berikut :

1. *Interface* yang *user friendly* dan tertata rapi.
2. *Tool* untuk membuat objek 3D yang lengkap meliputi *modeling*, UV *mapping*, *texturing*, *rigging*, *skinning*, animasi, partikel dan simulasi

lainnya, *scripting*, *rendering*, *compositing*, *post production* dan *game reaction*.

3. Kualitas arsitektur 3D yang berkualitas tinggi dan bisa dikerjakan dengan lebih cepat dan efisien.
4. Dukungan yang aktif melalui forum dan komunitas.
5. *File* berukuran kecil.
6. Gratis

Kelebihan yang diberikan oleh Blender adalah dapat membuat *game* tanpa menggunakan program tambahan lainnya. Karena Blender sudah memiliki “engine game” sendiri dan menggunakan Python sebagai bahasa pemrograman yang lebih mudah dibandingkan dengan menggunakan C++, C dan lain-lain. Blender menggunakan OpenGL sebagai *render* grafiknya yang dapat digunakan oleh berbagai macam sistem operasi. Saat ini Blender sudah mengeluarkan versi 2.80. Pada perkembangan versi ini blender mengeluarkan *render engine* baru bernama *eevee render* yang tidak terdapat pada versi sebelumnya. *Eevee render* memiliki kelebihan *me-render* secara *real time* dan sangat cepat, hasil yang dihasilkan *eevee render* hampir mirip dengan *cycles render*, namun secara *realistic*, *cycles render* masih yang terbaik.



Gambar 2.3 Contoh animasi pendek berbasis 3D yang dibuat menggunakan *software* Blender milik Blender Foundation.

2.8 Penelitian Terkait

Penelitian ini berfokus pada gerak manusia dalam animasi 3D dengan menggunakan metode *forward kinematics* dan *inverse kinematics*, terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang dijadikan referensi atau acuan dalam penelitian ini, diantaranya adalah penelitian mengenai gerakan manusia pada animasi 3D, penelitian mengenai metode *forward kinematics* dan *inverse kinematics*.

Penelitian sebelumnya pernah dilakukan oleh Victor Waeo mengenai gerakan manusia dalam animasi 3D menggunakan metode *pose to pose*, yang bertujuan untuk menghasilkan gerak manusia yang terkesan nyata dan halus pada animasi 3D dan menghasilkan video animasi 3D berdurasi pendek dengan kualitas gerak animasi yang terkesan nyata dan halus (Waeo, Victor dkk, 2016).

Penelitian terkait mengenai *forward kinematics* pernah dilakukan oleh Munadi dengan judul “Analisa *Forward Kinematic* Pada Simulator Arm Robot

5 Dof yang Mengintegrasikan Mikrokontroler Arduino-Uno Dan Labview”. Penelitian ini bertujuan membuat prototipe robot manipulator dengan simulator *arm* robot yang dibutuhkan di dalam dunia perindustrian untuk kepentingan dunia pendidikan dengan biaya yang sangat terjangkau. Pada penelitian ini pembuatan simulator *arm* robot dirancang dengan menggunakan *software* LabVIEW dan mikrokontroler Arduino Uno, simulator *arm* robot ini memiliki 5 *degree of freedom*, analisa *forward kinematics* untuk mendeskripsikan orientasi dan posisi *end effector* terhadap *base*. Hasil yang didapat dari penelitian tersebut yaitu pembiayaan yang murah terjangkau berbasis mikrokontroler Arduino Uno bersama LabVIEW untuk pembuatan front panel (Munadi, 2013) .

Penelitian terkait selanjutnya mengenai *inverse kinematics* yang pernah dilakukan oleh Muga Linggar Famukhit dengan judul “Simulasi Gerak Kepiting Menggunakan Metode *Inverse Kinematics*” beliau menggunakan *software* 3Ds Max untuk membuat simulasi gerak hewan kepiting dengan metode *inverse kinematics* kemudian mengukur derajat kebebasan tulang pada hewan kepiting yang nantinya akan diterapkan dalam karakter animasi 3D yaitu hewan kepiting. Berbeda dengan yang penulis teliti, yaitu pada *software* yang di gunakan dan objek yang di teliti, penulis akan menggunakan *software* blender dan objek yang di teliti adalah manusia, sedangkan penelitian sebelumnya menggunakan *software* 3Ds Max dan objek kepiting, kemudian penulis juga menggunakan metode *forward kinematics* sedangkan penelitian sebelumnya hanya menggunakan metode *inverse kinematics* (Famukhit, dkk, 2016) .

Penelitian terkait selanjutnya mengenai *inverse kinematics* oleh Heru Setiya Nugraha dkk dengan judul “Pembuatan Model Gerakan Animasi 2d Dengan Menggunakan Metode *Inverse Kinematics*”. Penelitian ini bertujuan menghemat waktu tanpa harus membuat gambar yang banyak dan membuat gerakan secara lebih cepat. Model gerakan yang sudah dibuat tersebut juga dapat diterapkan ke dalam karakter secara otomatis. Sebagai contoh dalam penelitian ini, dibuat empat jenis gerakan yaitu berlari, berjalan, mengendap-endap dan melompat. Penelitian ini menghasilkan empat gerakan yang dapat diterapkan kedalam setiap karakter animasi. Pada proses pengujian, setiap gerakan dapat diterapkan secara baik ke dalam masing-masing karakter (Nugraha, dkk, 2015) .

Penelitian terkait selanjutnya mengenai *inverse kinematics* berjudul “Simulasi Gerak Ular Menggunakan Metode *Inverse Kinematics*” karya Agung Dwi Saputro dkk. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana gerakan hewan ular dalam animasi 3D secara nyata berdasarkan perilaku hewan tersebut. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sudut tulang ular, derajat kebebasan tulang ular dan pola gerak ular. Hasil yang didapat Hasil yang didapat dalam penelitian ini adalah pola jalur ular ketika berjalan membentuk kurva atau huruf S dan disimulasikan dalam bentuk animasi 3D (Dwi Saputro, Agung, dkk, 2018) .

BAB III

ANALISA DAN PERANCANGAN

Bab ini akan menjelaskan tentang analisa dan perancangan simulasi gerak manusia menggunakan metode *forward kinematics* dan *inverse kinematics*. Analisa dan perancangan simulasi dilakukan sesuai kebutuhan dengan tujuan agar mempermudah dalam proses perancangan simulasi gerak manusia pada animasi 3D surah Al-Fiil.

3.1 Analisis dan Perancangan

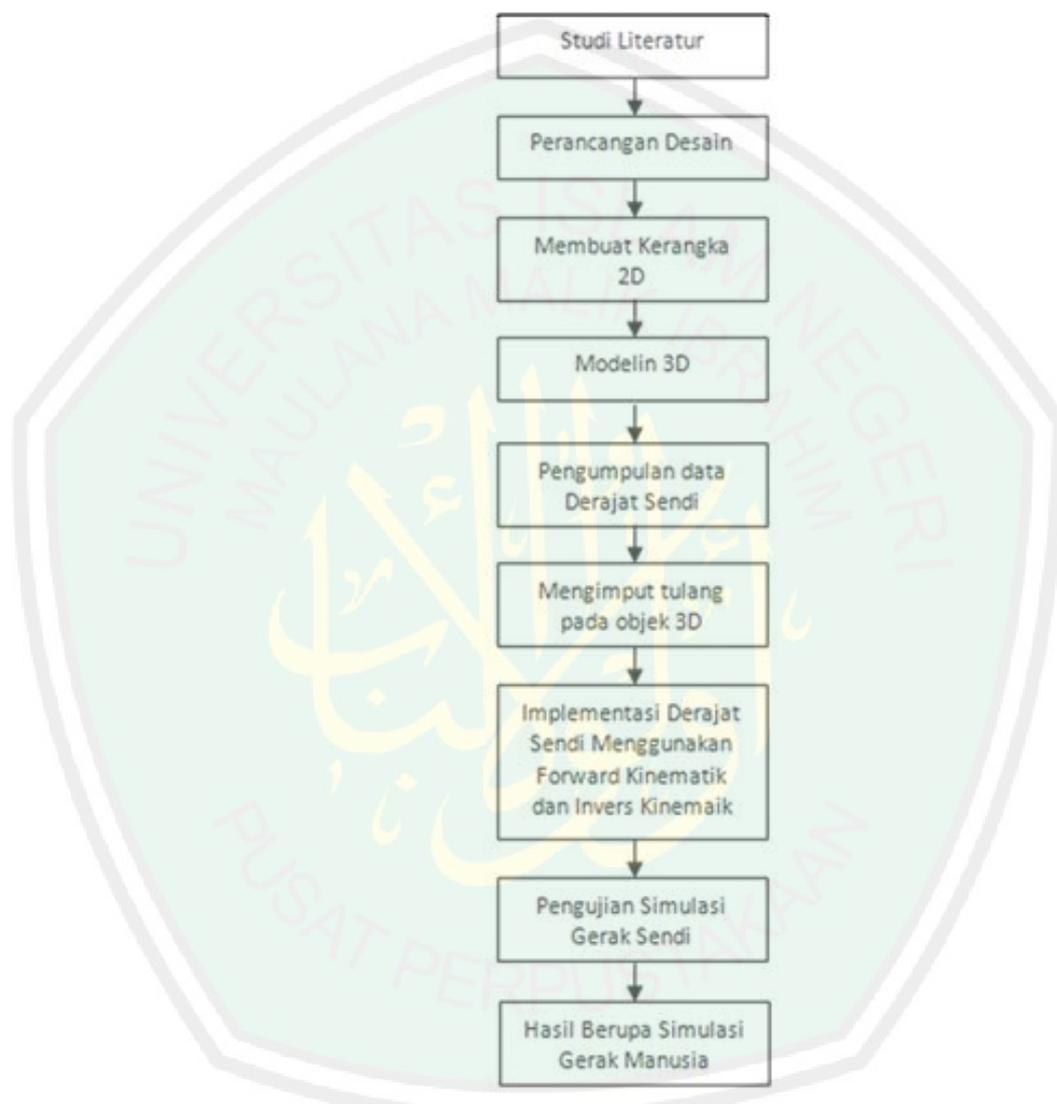
Analisis dan perancangan dalam pembuatan simulasi gerak manusia dengan metode *forward kinematics* dan *inverse kinematics*. menggunakan *software* Blender akan diperinci pada bab ini.

3.1.1 Objek Penelitian

Tahap awal pada penelitian ini yaitu desain gambar kerangka manusia 2D tampak samping dan tampak depan, kemudian dari gambar kerangka manusia 2D ini, selanjutnya akan dibikin sebagai *wireframe* untuk *modeling* 3D. Desain gambar kerangka manusia 2D tersebut nantinya akan dimodelkan sebagai karakter pada cerita animasi 3D kisah Al-Fiil. Setelah itu penulis mengamati gerakan alami manusia seperti ketika berjalan dan mengukur setiap rotasi kebebasan sendi, bertujuan untuk mengetahui derajat pergerakan kebebasan tulang.

Pengamatan dilakukan dengan cara mengambil sampel video manusia saat berjalan secara normal, selanjutnya dilakukan analisa derajat kebebasan tulang tangan dan kaki manusia ketika berjalan melalui gambar yang diambil dari

video tersebut. Data yang diperoleh akan diterapkan pada kerangka tulang yang nantinya akan dibuat dalam model 3D. Dari kumpulan tulang atau *bone* inilah selanjutnya akan dijadikan acuan untuk menciptakan gerakan manusia. Pada penelitian ini penulis berfokus pada gerak manusia ketika berjalan.



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.

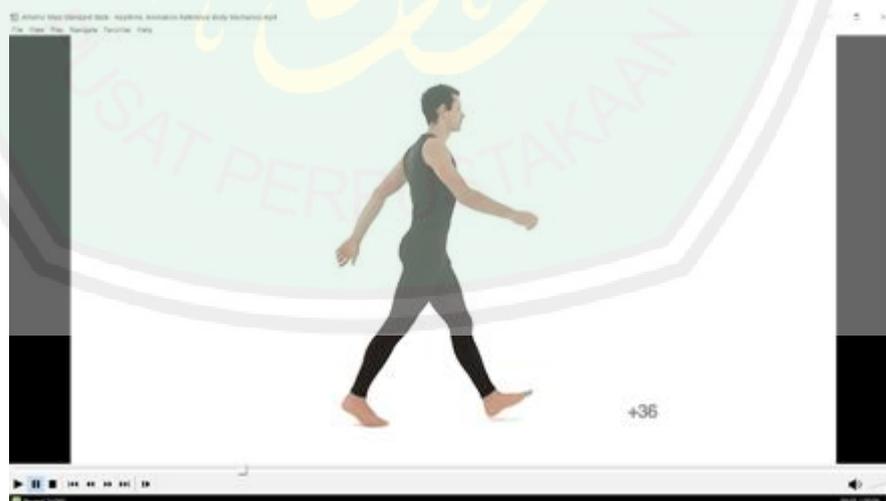
Pada gambar diatas di jelaskan, studi literatur adalah tahap awal dari penelitian. Studi literatur dilakukan proses pengumpulan dan pengkajian data-data yang diperlukan dalam pembuatan film pendek berbasis animasi diantaranya yaitu dari skripsi sebelumnya, buku, jurnal – jurnal, pengumpulan

informasi dari beberapa film 3D serta artikel-artikel dari *website* resmi. Langkah berikutnya yaitu membuat perancangan desain, dimulai dengan mengumpulkan informasi yang dibutuhkan dan bagaimana membuatnya, berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan sebelumnya yang akan dijadikan rujukan. Selanjutnya membuat desain kerangka 2D sebagai *wireframe* untuk *modeling* 3D. Setelah itu melakukan *modeling* 3D dari kerangka 2D yang telah dibuat. Setelah jadi, barulah dapat dikumpulkan data kumpulan dari *bone* model 3D yang telah dibuat. Kemudian mulai membuat simulasi gerakan manusia yang akan dipakai di Blender. Setelah itu melakukan testing yang memiliki *output* berupa gerakan manusia berjalan.

3.1.2 Metode Pengolahan Data

3.1.2.1 Analisis Gerakan manusia

Analisis gerakan manusia didapatkan dari hasil pengamatan langsung pada tingkah laku berjalan alami manusia melalui video yang bertujuan untuk mengetahui pergerakan tubuh dan anggota badan lainnya pada saat berjalan.



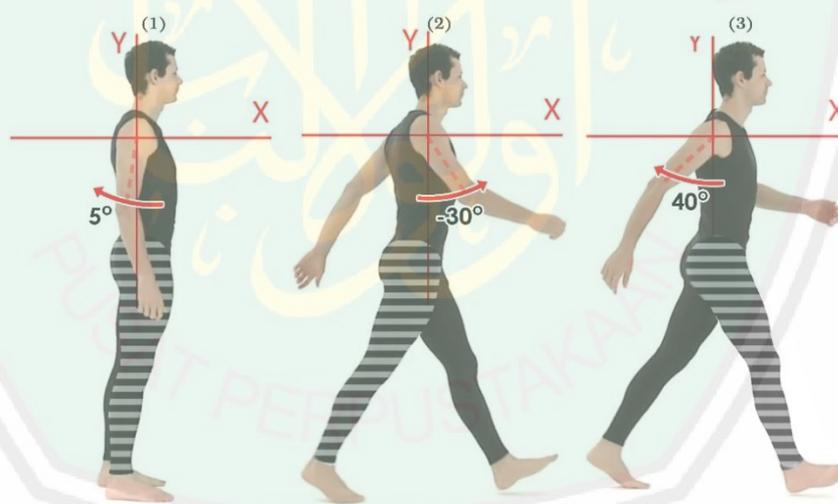
Gambar 3.2 Aktifitas berjalan manusia.

Hasil yang didapat adalah manusia berjalan dengan cara ke depan dengan tangan melambai untuk keseimbangan berjalan. Pola pergerakan manusia

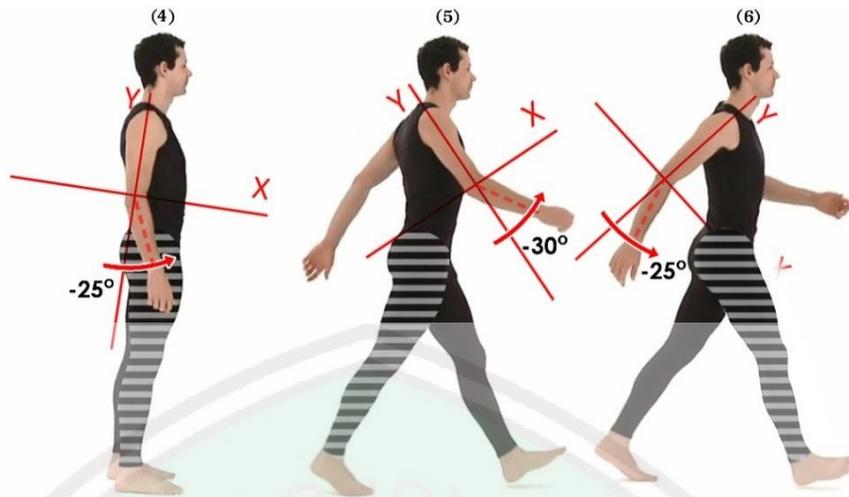
berjalan diawali dari gerakan kaki berjalan yang bersamaan dengan gerakan tangan melambai berlawanan.

3.1.2.2 Analisis Derajat Sendi

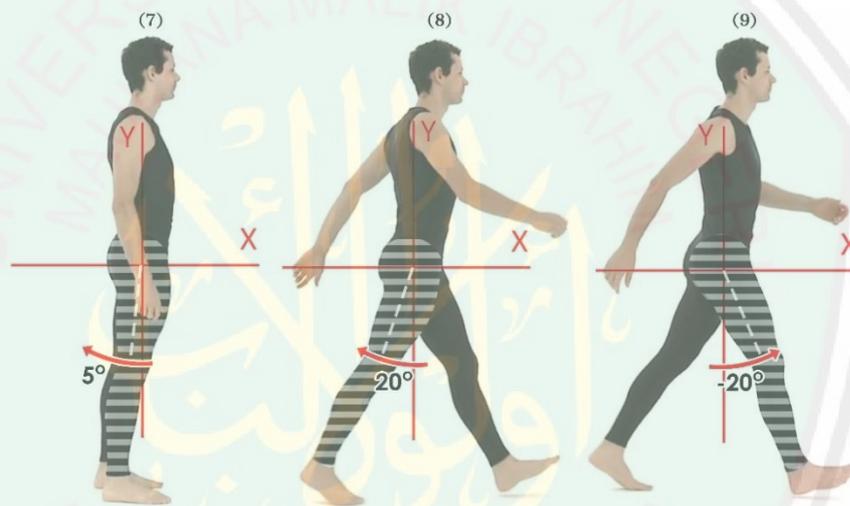
Tahap ini memiliki tujuan untuk mengetahui derajat kebebasan tulang (*degree of freedom*) pada manusia. Peneliti menggunakan busur derajat sebagai alat ukur untuk mengukur derajat kebebasan tulang. Pengukuran derajat kebebasan tulang dimulai dengan mengukur sendi bagian tangan yaitu sendi lengan, sendi siku dan sendi pergelangan tangan sedangkan pada sendi bagian kaki yaitu sendi peluru antara paha dan pinggul, sendi lutut dan sendi pergelangan kaki. Pada persendian lengan dan paha memungkinkan gerakan bebas hampir 270° , kemudian pada sendi siku digerakkan satu arah rotasi 90° dan lutut hanya dapat digerakkan satu arah rotasi -90° .



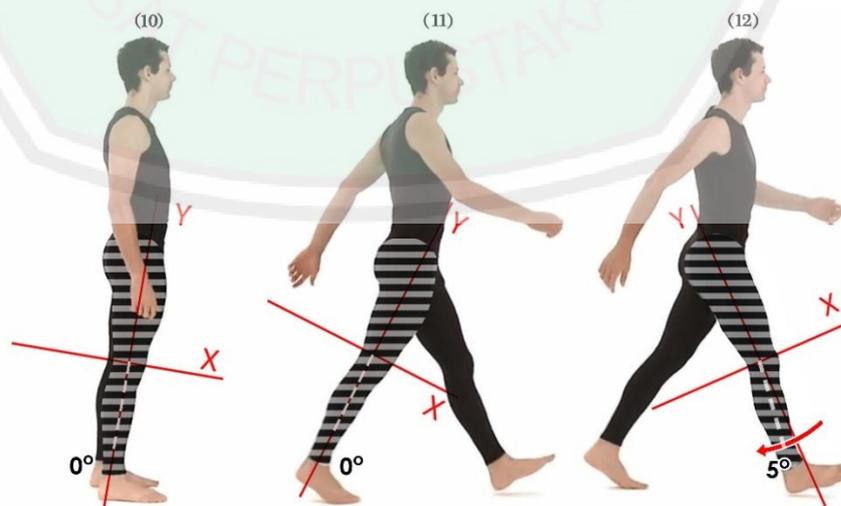
Gambar 3.3 Pengukuran sudut derajat sendi lengan atas.



Gambar 3.4 Pengukuran sudut derajat sendi lengan bawah.



Gambar 3.5 Pengukuran sudut derajat sendi paha.



Gambar 3.6 Pengukuran sudut derajat sendi betis.

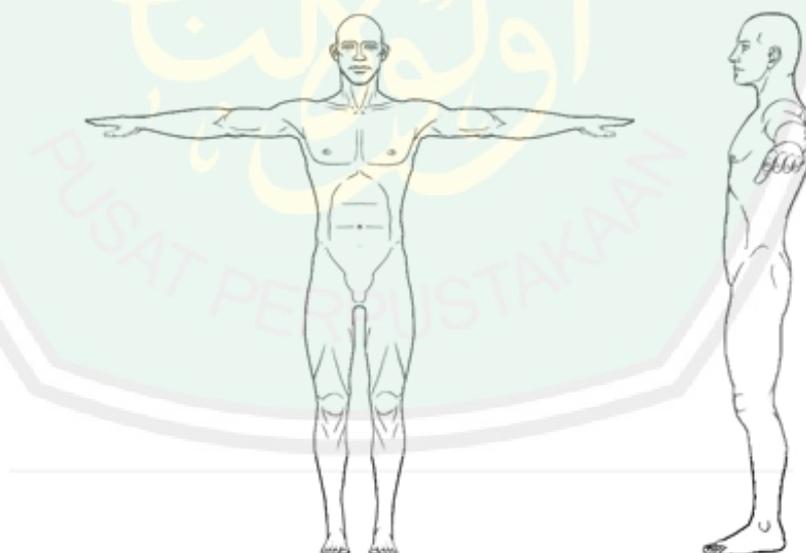
Tabel 3.1 Rekapitulasi derajat sendi untuk diterapkan pada *software* Blender

No	Bagian Tulang	Arah Jalan	Sudut Derajat
1	Lengan Atas (1)	Tegak	5 derajat
2	Lengan Atas (2)	Ketika kaki kiri maju	-30 derajat
3	Lengan Atas (3)	Ketika kaki kanan maju	40 derajat
4	Lengan Bawah (4)	Tegak	-25 derajat
5	Lengan Bawah (5)	Ketika kaki kiri maju	-30 derajat
6	Lengan Bawah (6)	Ketika kaki kanan maju	-25 derajat
7	Paha arsir (7)	Tegak	5 derajat
8	Paha arsir (8)	Ketika kaki kiri maju	20 derajat
9	Paha arsir (9)	Ketika kaki kanan maju	-20 derajat
10	Betis arsir (10)	Tegak	0 derajat
11	Betis arsir (11)	Ketika kaki kiri maju	0 derajat
12	Betis arsir (12)	Ketika kaki kanan maju	5 derajat

3.1.2.3 Desain Kerangka 2D

Desain 2D dibuat untuk mempermudah dalam pembuatan kerangka 3D.

Pada penelitian ini, peneliti menggunakan desain 2D tubuh manusia.



Gambar 3.7 Desain Kerangka 2D tubuh manusia

Terlihat pada gambar 3.7 merupakan data objek kerangka 2D tubuh manusia yang di dapat dari Google dan di edit menggunakan aplikasi Photoshop CS3.

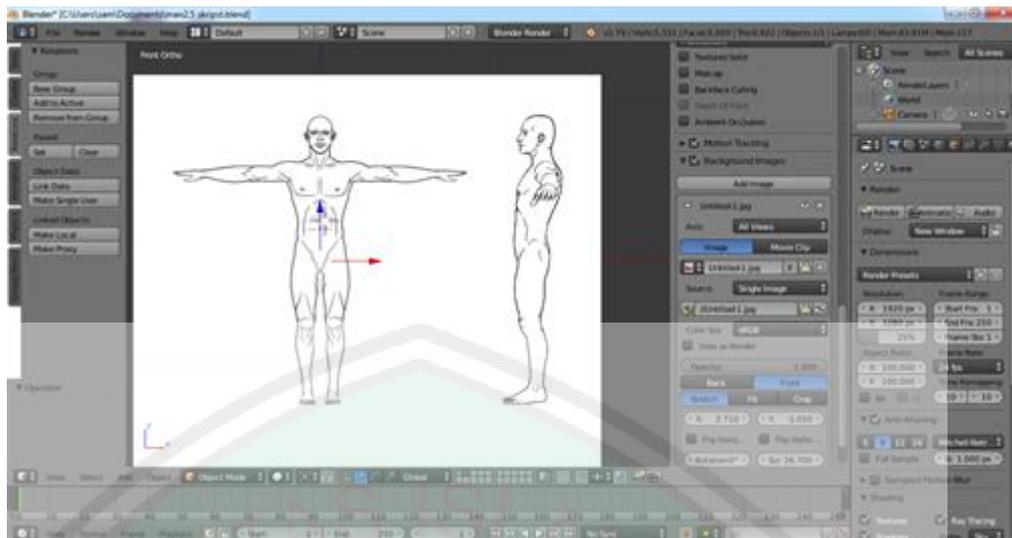
Desain kerangka 2D diambil berdasarkan *tracing* pada struktur tubuh manusia. Kerangka gambar 2D tersebut disesuaikan dengan rancangan model 3D, yaitu tampak depan dan samping agar mudah dilakukan *tracing* pada tahap *modeling* 3D. Setelah kerangka 2D dibuat, langkah selanjutnya adalah mengekspor hasil desain 2D tersebut ke dalam gambar *bitmap*, dapat berupa JPG atau PNG, yang untuk selanjutnya di impor ke dalam *software* Blender.

3.1.3 Modeling 3D

Dalam *modeling* 3D, peneliti memanfaatkan *software* berbasis *open source* namun gratis yaitu *software* Blender. Dimulai dengan mengimpor desain kerangka 2D manusia yang telah didapat sebelumnya kedalam *software* Blender.



Gambar 3.8 Blok diagram *modeling* 3D karakter manusia.

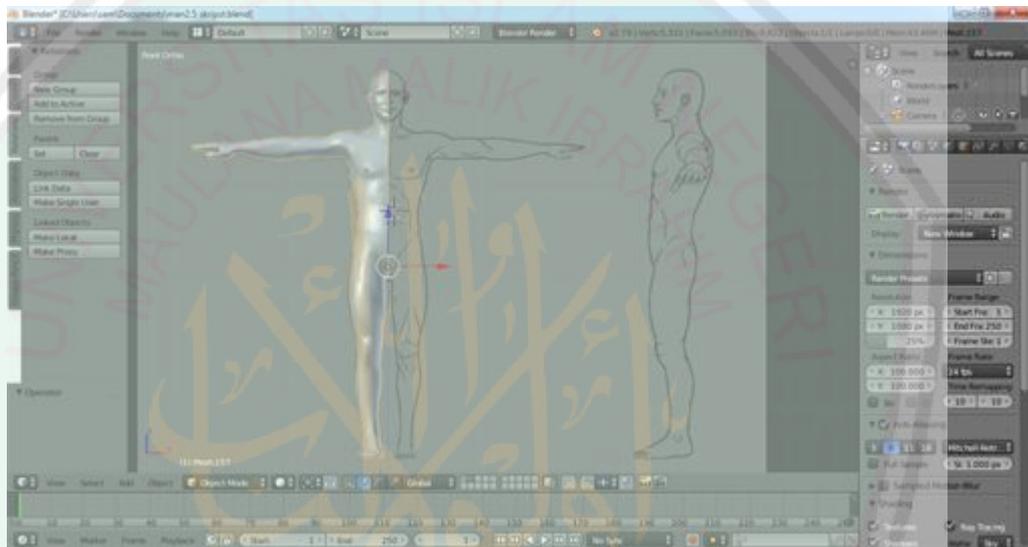


Gambar 3.9 Impor desain kerangka 2D kedalam *software* Blender.

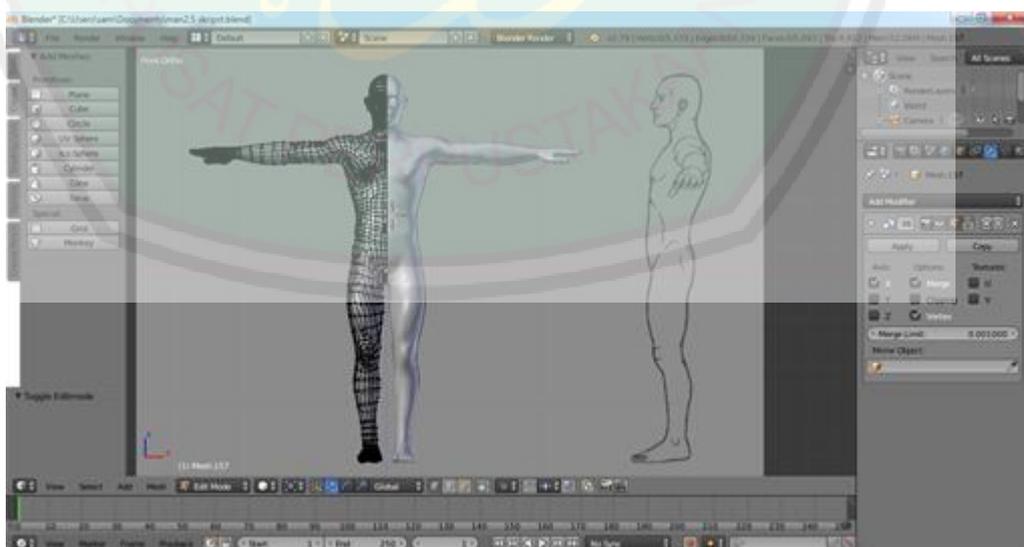
Pada tahap *modeling* 3D karakter manusia ini *modeller* melakukan rekonstruksi geometri tiga dimensi objek tubuh manusia menggunakan *software* blender berdasarkan konsep kerangka 2D yang di dapat sebelumnya sebagai acuan. Ukuran yang akan dibuat di atur pada tab properti dengan skala yang telah di susun sebelumnya. Fungsi utama desain kerangka 2D tampak depan dan tampak samping adalah agar mempermudah *modeler* untuk melakukan *tracing* model 3D berdasarkan sumbu x, y dan z.

Di awali dengan objek *cube*, kemudian merekonstruksi bagian tubuh tampak depan dengan cara *tracing* kerangka 2D yaitu menambah dan memindahkan titik *vertex* sesuai dengan kerangka 2D tampak depan. Kemudian melakukan *tracing* bagian tubuh tampak samping sehingga mendapat objek kasar bentuk tubuh, pada objek kasar ini akan ditambahkan efek *modifier-subdivision surface* yang ada pada tab properti *software* blender. Pada *subdivision surface* di atur sedemikian rupa hingga tampak seperti tubuh manusia pada umumnya, setelah *modeling* bagian tubuh selesai, *modeler* akan melanjutkan *modeling* bagian kepala dengan teknik yang sama.

Agar *model* karakter terlihat mirip layaknya manusia, *modeler* melakukan sentuhan *brush* pada *sculpt mode*, dalam hal ini yaitu pada lengkukan-lengkukan hingga tonjolan-tonjolan yang ada pada tubuh manusia pada umumnya. Dalam pemodelan ini *modeler* mengambil setengah dari objek tubuh manusia yang telah dibuat kemudian diberi fungsi *modifier-mirror* atau cermin yang ada pada tab *propertis*, teknik ini bertujuan agar objek tubuh menjadi simetri antara tubuh kanan dan tubuh kiri.

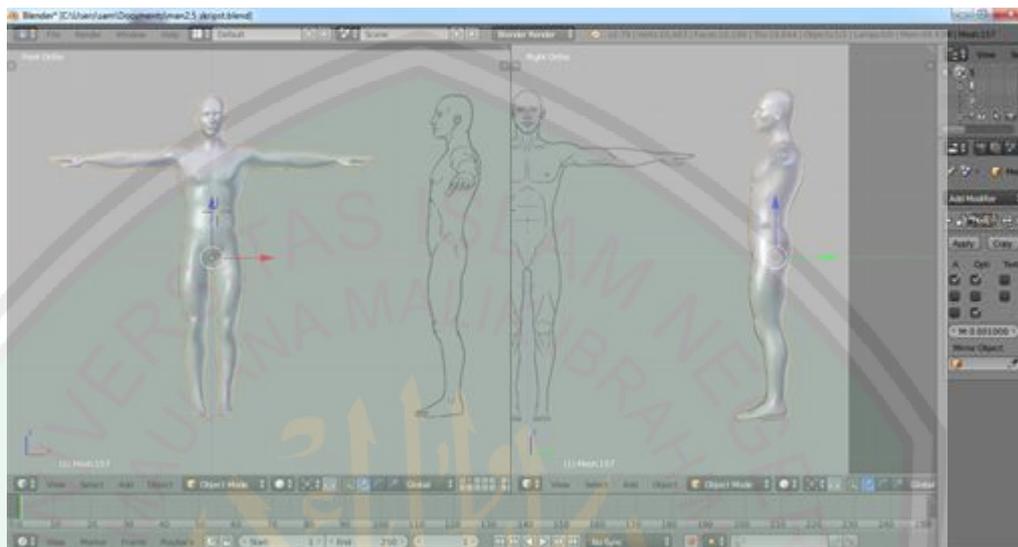


Gambar 3.10 Modeling tubuh bagian kiri



Gambar 3.11 Penambahan fungsi *mirror*.

Posisi kanan dan kiri pada fungsi *mirror* tidak selalu tepat, di perlukan sedikit *editing* posisi pada edit mode. Setelah dirasa posisi sudah tepat, maka fungsi *mirror* sudah bisa di *apply* untuk menyatukan tubuh bagian kiri dan tubuh bagian kanan.



Gambar 3.12 Objek tubuh tampak depan dan tampak samping.

Memodelkan tubuh manusia tidaklah mudah, karena membutuhkan ketelatenan dan kejelian, pada objek tubuh manusia, garis yang dibutuhkan dominan membentuk kurva atau lengkung, sehingga membutuhkan vertex yang banyak. Spesifikasi perangkat pun harus mumpuni, karena semakin banyak vertex maka semakin banyak memakan memori.

Pada gambar 3.11 terlihat model tubuh manusia tampak depan dan tampak samping, dimana yang semula objek kerangka tubuh manusia 2D hingga berbentuk 3D.

3.1.4 Rigging Karakter 3D

Tahap selanjutnya adalah *rigging* karakter dimana pada tahap ini peneliti membuat gerakan-gerakan terhadap model karakter yang telah dibuat sebelumnya, sehingga karakter tersebut akan terlihat hidup. Pada proses

rigging karakter peneliti menggunakan objek dasar *human (meta-rig)* yang sudah tersedia pada aplikasi Blender, kemudian dilakukan sedikit perubahan untuk menyesuaikan terhadap model karakter.



Gambar 3.13 Blok diagram perancangan kerangka *bone* karakter 3D manusia.



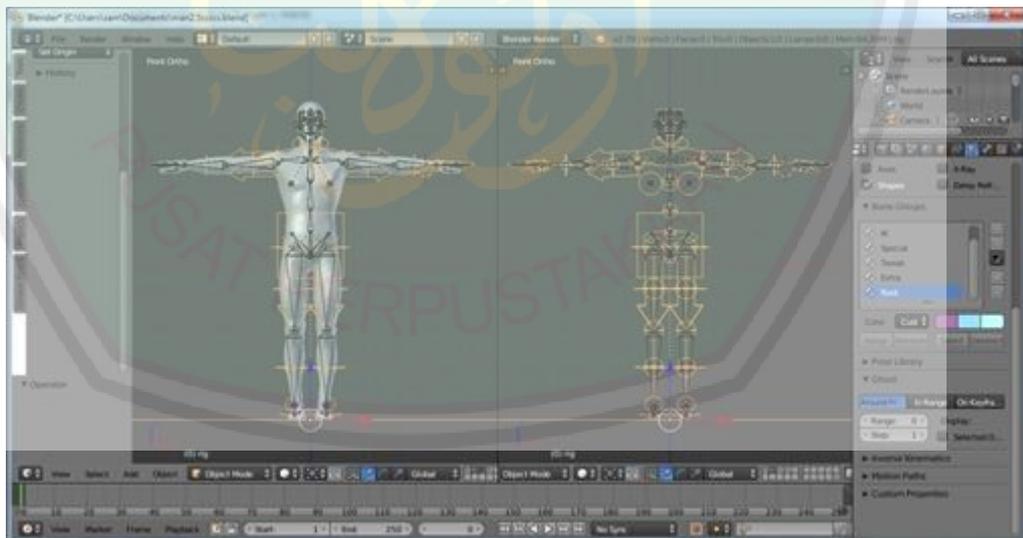
Gambar 3.14 Kerangka objek tulang human (*Meta-Rig*).

Proses selanjutnya yaitu implementasi susunan struktur tulang pada objek 3D model manusia. sedikit mengubah susunan kerangka objek tulang *human (meta-rig)* untuk mempresisi dengan bentuk objek tubuh manusia.



Gambar 3.15 Presisi objek tulang manusia (*Meta-Rig*) dengan karakter 3D.

Tahapan selanjutnya adalah tahapan *generated rig*, dimana *rigify* secara otomatis membuat *controller* yang berdasarkan letak *bone*, pemberian nama *bone* secara otomatis, pembuatan *controller inverse kinematics* dan *forward kinematics*, Pembuatan *layer bone* yang *user friendly* dengan nama-nama bagian *bone*.



Gambar 3.16 Implementasi *generated rig*.

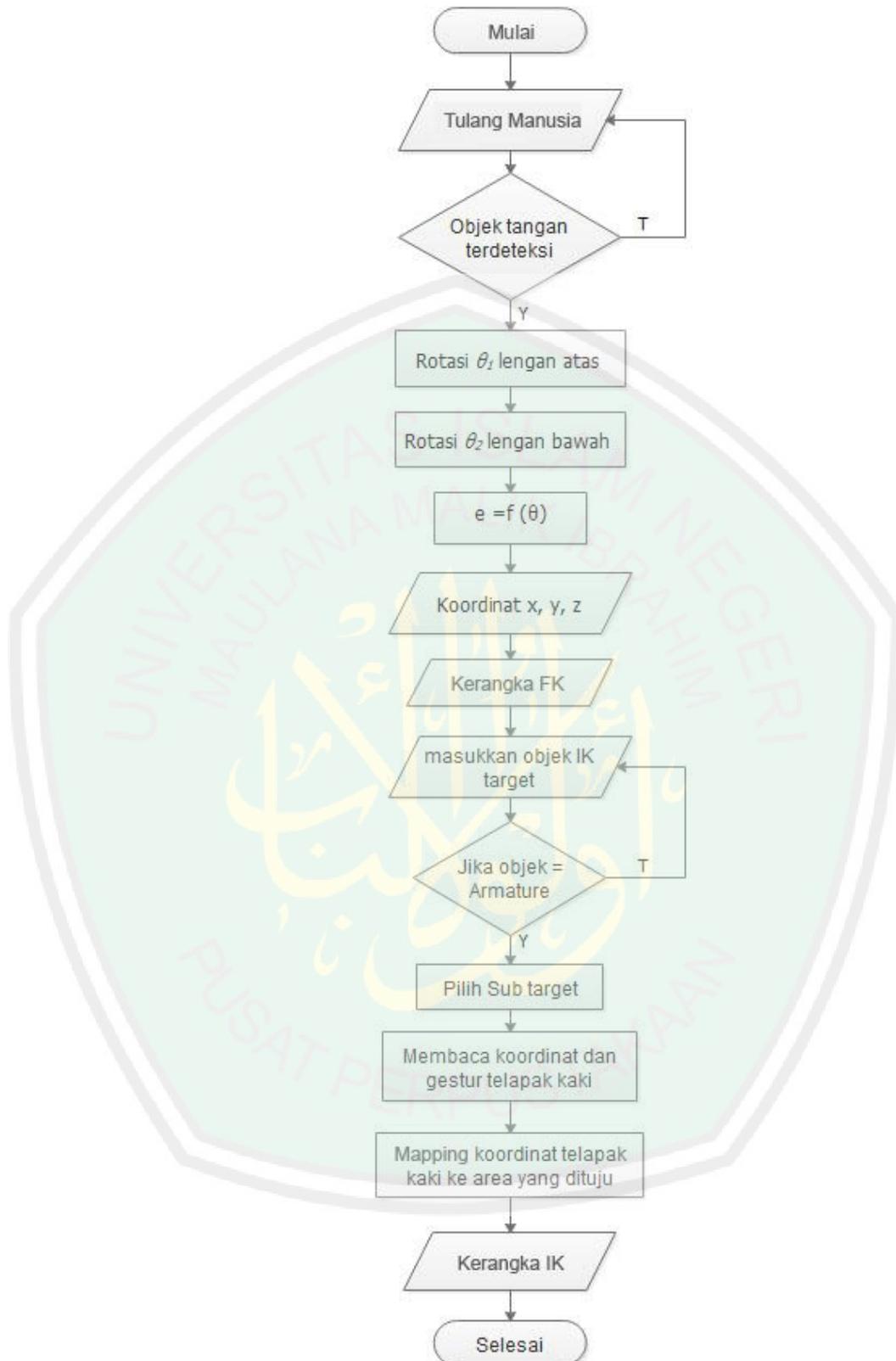
Tahap berikutnya adalah tahap *parenting rigify to bone*. *Parenting rigify to bone* merupakan proses pengikatan model kepada kerangka. Proses ini

berfungsi agar ketika kerangka model digerakkan, tubuh model akan bergerak bersama kerangkanya.

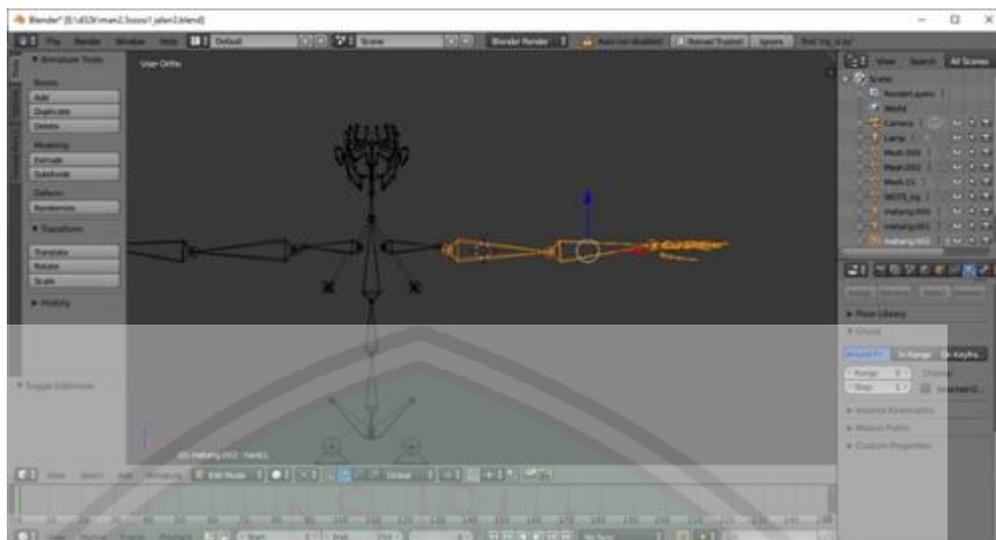


Gambar 3.17 Implementasi *parenting rigify to bone*

Proses berikutnya adalah penambahan target *forward kinematics* pada tulang bagian tangan dan target *inverse kinematics* pada tulang bagian kaki, dan mengatur bagian tulang mana saja yang akan digerakkan dengan *forward kinematics* maupun *inverse kinematics*.



Gambar 3.18 Flowchart implementasi *forward kinematics* dan *inverse kinematics*



Gambar 3.19 Penambahan target *forward kinematics* pada tulang bagian tangan.

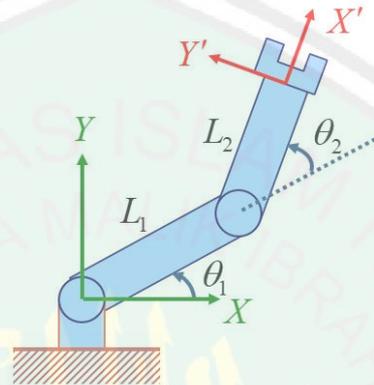


Gambar 3.20 Penambahan target *inverse kinematics* pada tulang bagian kaki.

Ketika karakter sudah dapat bergerak sesuai dengan FK dan IK, langkah selanjutnya yaitu menerapkan nilai derajat kebebasan tulang dimana pada penelitian ini peneliti hanya berfokus pada tulang tangan yaitu pangkal sendi lengan atas dan pangkal sendi lengan bawah kemudian pada tulang kaki yaitu pangkal sendi paha dan pangkal sendi betis. Penambahan nilai sudut derajat ini diterapkan berdasarkan data analisis yang telah diperoleh sebelumnya.

Penambahan nilai sudut derajat kebebasan tulang dilakukan dengan memanfaatkan *tools armature* pada tab *properties*.

Perhitungan *forward kinematics* berfokus pada persendian yang mengatur antara tulang satu dengan tulang yang lainnya. Proses perhitungan *forward kinematics* didasari dengan nilai-nilai *degree of freedom* (DOF).



Gambar 3.21 Proses perhitungan *forward kinematics* dengan 2 *degree of freedom*. (Boggus, 2018)

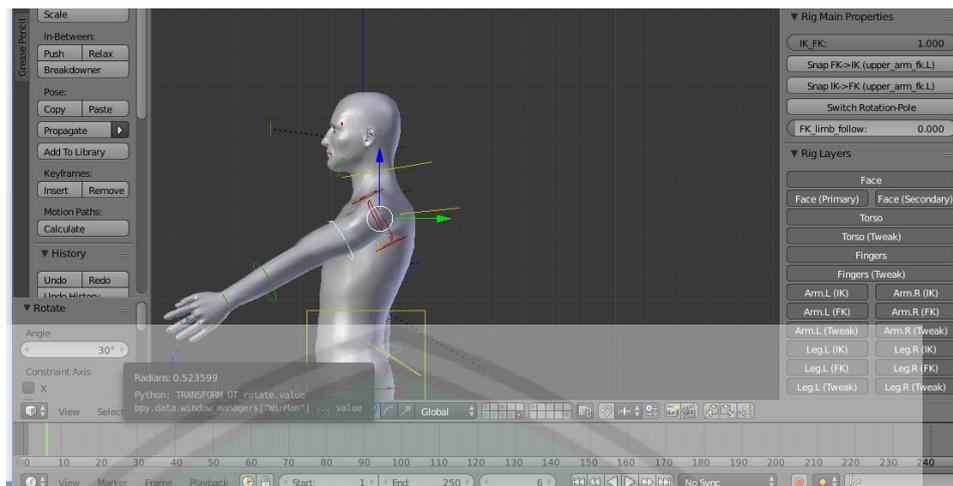
Proses perhitungan *forward kinematics* diawali dengan mempertimbangkan nilai DOF untuk sambungan $\theta = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m]$ dan *joint* yang digambarkan sebagai $e = [e_1, e_2, \dots, e_n]$. Gerak *end effector* pada *forward kinematics* secara tidak langsung dihitung sebagai akumulasi dari semua transformasi *end effector* dari *joint* yang diberikan persamaan :

$$e = f(\theta) \quad (3.1)$$

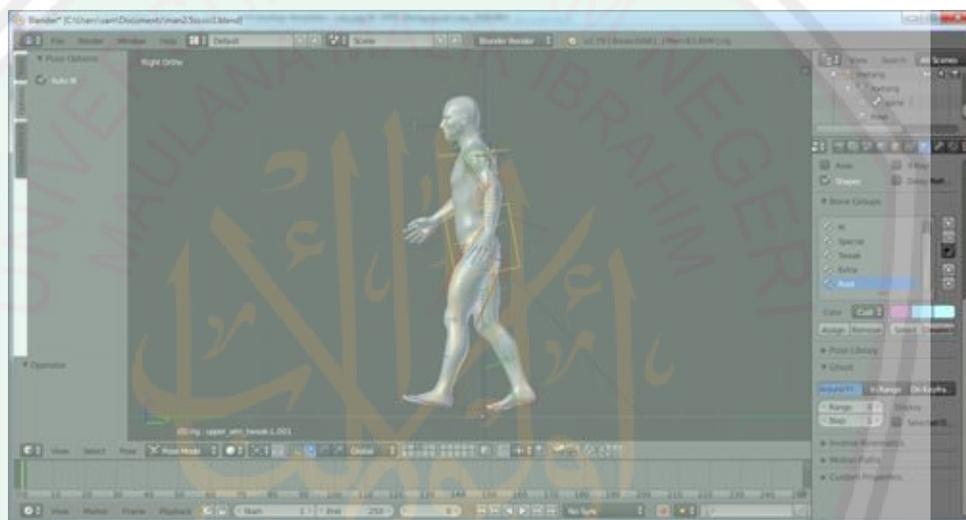
Selanjutnya persamaan fungsi θ untuk mengetahui nilai koordinat:

$$\begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & & \\ & T & \\ & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} T &= [\text{rot}\theta_1][\text{trans}l_1] + [\text{rot}\theta_1 + \text{rot}\theta_2][\text{trans}l_2] \\ &= \begin{bmatrix} \sin \theta_1 & -\cos \theta_1 & 0 \\ \cos \theta_1 & \sin \theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & l_1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sin(\theta_1 + \theta_2) & -\cos(\theta_1 + \theta_2) & 0 \\ \cos(\theta_1 + \theta_2) & \sin(\theta_1 + \theta_2) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & l_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$



Gambar 3.22 Pengukuran ukuran derajat kebebasan tulang.



Gambar 3.23 Gerak berjalan manusia menggunakan metode *forward kinematics* dan *inverse kinematics*.

3.2 Metode Pengujian

Berdasarkan tahapan analisis dan perancangan yang telah di jabarkan sebelumnya, maka tahap selanjutnya adalah pengujian nilai kesalahan terhadap derajat kebebasan tulang pada objek 3D manusia ketika berjalan untuk mengetahui nilai persentase kesalahan derajat kebebasan tulang objek 3D manusia ketika berjalan dengan menggunakan algoritma *forward kinematics* dan *inverse kinematics* dengan rumus berikut:

$$error(\%) = ABS \left(\frac{\text{nilai data} - \text{nilai hasil}}{\text{nilai data}} \times 100\% \right) \quad (3.2)$$

3.3 Pra Produksi

Di dalam bagian pra produksi mencakup ide cerita dan *storyboard* yang akan di terapkan pada animasi cerita asbabun nuzul surah Al-Fiil.

3.3.1 Ide Cerita

Ide cerita dalam pembuatan animasi 3D cerita Al-Fiil berdasarkan asbabun nuzul surah Al-Fiil yang diambil dari sejarah dan hadits.

Dalam sejarahnya diceritakan bagaimana raja Abrahah ingin menghancurkan Ka'bah, berawal dari kehasutan Abrahah melihat Ka'bah selalu dikunjungi orang untuk berhaji, Abrahah membuat tandingan gereja yang besar di Son'ah Yaman untuk menyaingi Ka'bah, merasa kurang puas, Abrahah berencana menyerang dan menghancurkan ka'bah dengan 60 ribu bala tentara beserta pasukan gajah, akan tetapi ketika sampai pada lembah Makkah, Allah SWT menggagalkan rencana jahat Abrahah, Allah SWT mengirimkan malaikatnya yang menjelma sebagai pasukan burung Ababil dengan membawa batu api dari neraka, di dalam surah Al-Fiil diceritakan batu neraka tersebut dilemparkan pada setiap pasukan raja Abrahah hingga menembus dari atas kebawah seperti daun-daun yang dimakan ulat.

Dari sejarah singkat tersebut dirasa kisah ini menarik untuk di diambil sebagai ide cerita dalam bentuk animasi 3D sebagai pembelajaran sejarah, kemudian juga diharapkan dengan adanya film pendek animasi berbasis 3D ini membuat para penontonnya lebih tertarik dan mudah mengingat sejarah asbabun nuzul surah Al-Fiil serta kandungan yang ada di dalamnya.

3.3.2 Storyboard

Langkah yang akan dilakukan selanjutnya yaitu menyusun alur cerita dalam bentuk storyboard berdasarkan ide cerita.

	<ul style="list-style-type: none"> - Suasana kota Makkah - Ka'bah selalu di datangi banyak orang untuk berhaji
	<ul style="list-style-type: none"> - Abrahah iri dan hasud melihat Ka'bah yang selalu di datangi banyak orang
	<ul style="list-style-type: none"> - Pasukan di siapkan untuk menghancurkan ka'bah
	<ul style="list-style-type: none"> - Abrahah dan pasukan gajahnya berangkat untuk menghancurkan ka'bah
	<ul style="list-style-type: none"> - Abdul Muthalib berdo'a di depan ka'bah

	<ul style="list-style-type: none"> - Allah mengirim pasukan burung Ababil dengan membawa 3 batu dari neraka, 1 di paruhnya, 2 dikakinya
	<ul style="list-style-type: none"> - Pasukan burung Ababil melemparkan batu menghancurkan Abrahah dan pasukan gajahnya
	<ul style="list-style-type: none"> - Abrahah pasukan gajahnya tumbang oleh batu yang dibawa burung Ababil

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Di dalam bab ini akan membahas tentang implementasi dari perancangan yang telah di buat sebelumnya dimana akan dilakukan pengujian terhadap gerakan berjalan manusia menggunakan metode *forward kinematics* dan *inverse kinematics* berdasarkan hasil analisis pola gerak berjalan manusia yang sudah didapatkan sebelumnya.

4.1 Produksi

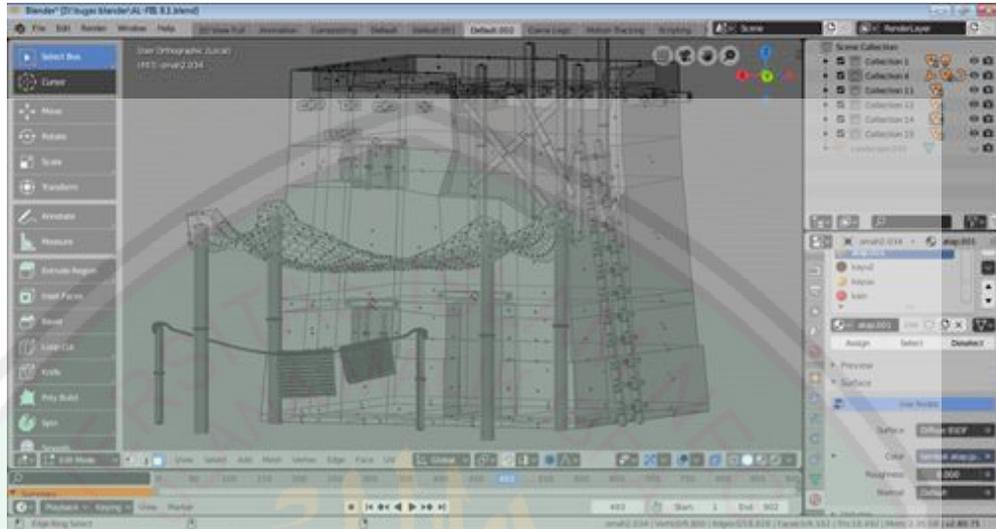
Pada bagian produksi mencakup *modeling*, *texturing*, *riging*, *animating*, *lighting*, *camera operating*, dan *rendering* yang akan di terapkan dalam pembuatan animasi cerita asbabun nuzul surah Al-Fiil.

4.1.1 Modeling

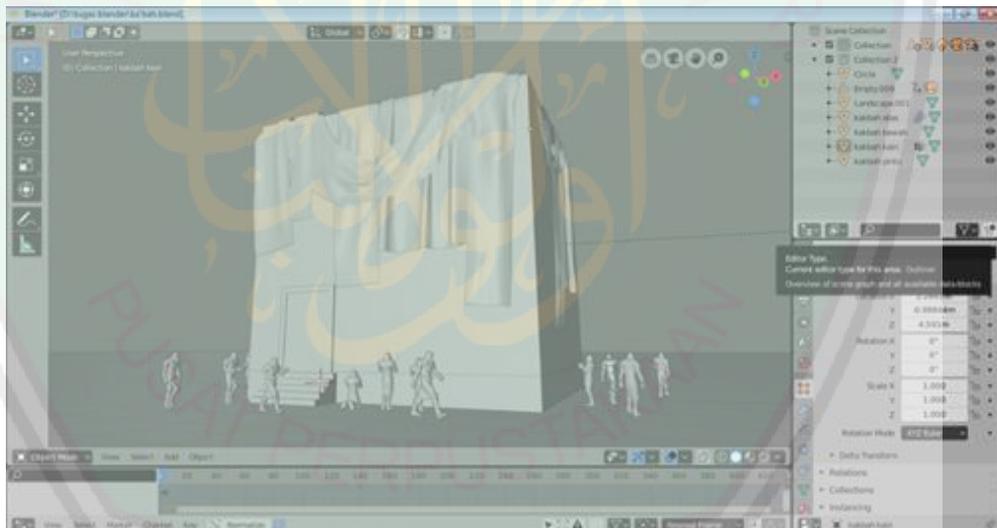
Proses ini adalah proses pembuatan sebuah model objek dalam bentuk tiga dimensi (3D) menggunakan *software* blender. Keseluruhan obyek dapat diperlihatkan secara 3D, sehingga hasil dalam tahap ini disebut sebagai pemodelan tiga dimensi (*3D modeling*). Model dapat berupa karakter makhluk hidup seperti manusia, hewan atau tumbuh-tumbuhan maupun benda mati seperti tanah, bangunan dan lain-lain.

Proses modeling dalam pembuatan film animasi pendek berbasis 3D yang mengangkat kisah dari *asbabun nuzul* surah Al-Fiil menggunakan *software* blender dengan beberapa teknik seperti *extrude* yang berfungsi untuk menambahkan *vertex*, *grab* untuk menggeser atau menarik objek, *scale* yang berfungsi mengubah bentuk *vertex* yang diseleksi, serta beberapa tool lainnya sesuai dengan kebutuhan.

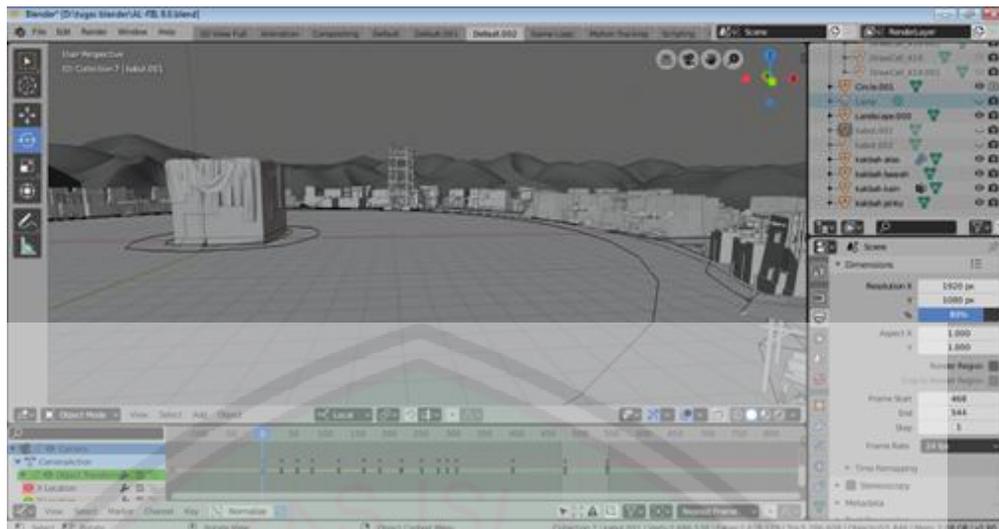
Pemodelan *environment* di lakukan satu persatu dimulai dari bangunan rumah, Ka'bah, hingga padang pasir kemudian di tata-tata sedemikian rupa hingga menyerupai sebuah kota.



Gambar 4.1 Modeling bangunan rumah.



Gambar 4.2 Modeling Ka'bah.

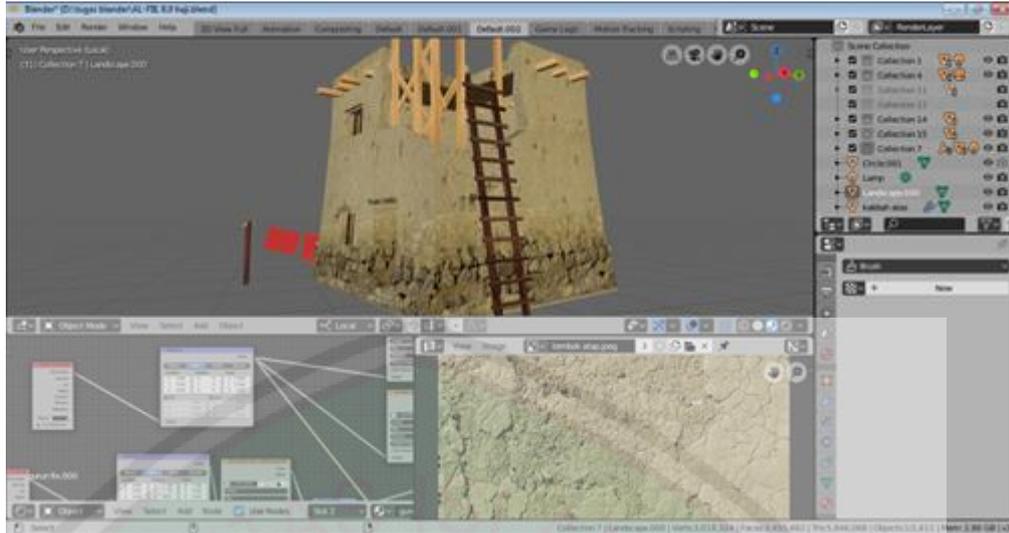


Gambar 4.3 Modeling Kota.

Untuk mempercepat proses produksi, beberapa model *environment*, model karakter dan model hewan seperti gajah dan burung di dapat dari penelitian sebelumnya.

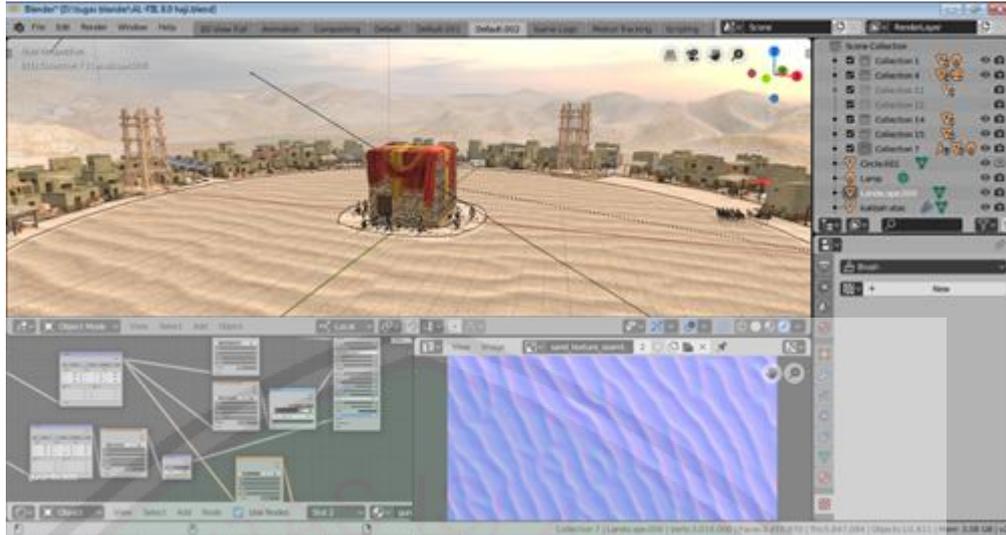
4.1.2 Texturing

Proses ini adalah proses pembuatan dan pemberian warna dan material pada objek yang telah dimodelkan sebelumnya. Sehingga objek tersebut akan tampak kesan yang nyata. Tahapan yang perlu dilaksanakan sebelum mengaplikasikan warna dan material pada objek adalah proses *UV mapping*. *UV mapping* diperlukan agar warna dan material pada objek akan tertempel dengan terstruktur. Kemudian *node editor* yang memberikan efek realistis pada material agar tampak lebih nyata. Selain itu *software* pendukung lainnya, yaitu photoshop CS3 juga diperlukan dalam perancangan dan penyempurnaan bahan dasar *texture*. Gambar *UV mapping* dan *node editor* dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Texturing bangunan.

Pada Gambar 4.4 terlihat objek bangunan rumah yang telah diberi tekstur sehingga terlihat lebih real, tekstur berasal dari *file image* ataupun foto berupa jpg atau png yang kemudian diimpor pada aplikasi Blender, kemudian dilakukan proses *unwrapping* pada setiap objek yaitu proses membuka setiap sisi *face* suatu objek untuk membuat tekstur 2D menutupi bidang sisi objek tersebut, kemudian *face* tersebut akan otomatis ditampilkan pada jendela kerja *UV image editor*, kemudian pada jendela *UV node editor*, letak tekstur dapat diatur pada setiap *face* sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 4.5 Kota Makkah setelah di berikan tekstur.

4.1.3 Rigging

Rigging karakter adalah tahapan pembuatan struktur tulang pada model animasi 3D yang bertujuan agar model animasi dapat digerakkan. Proses ini cukup penting karena bagus tidaknya gerakan animasi yang dibuat, akan bergantung pada hasil dari proses *rigging*. Pada tahapan ini animator akan membuat struktur tulang yang nantinya akan digabungkan dengan model karakter yang sudah dibuat. Setelah proses ini selesai dan *bone* sudah digabungkan dengan model karakter, maka selanjutnya untuk dapat menggerakkan model karakter cukup dengan menggerakkan *bone* yang sudah dibuat, karena secara otomatis model karakter akan ikut bergerak sesuai dengan gerakan *bone*.

Proses ini telah di jelaskan pada bab sebelumnya, pada tahap inilah target *forward kinematics* dan target *inverse kinematics* ditambahkan.

Fungsi *forward kinematics* dan *inverse kinematics* sendiri sudah tersedia dalam blender 3D, karena Blender 3D merupakan aplikasi yang bersifat *open source* dengan menggunakan bahasa pemrograman Python, maka jika ingin

melakukan modifikasi pada *source code* nya kita buat jendela baru, kemudian pada *editor type*, pilih *text editor*

Berikut kode program pada blender 3D untuk memberikan atau menargetkan fungsi *forward kinematics* dan *inverse kinematics* pada tulang kaki.

```
def match_pole_target(ik_first, ik_last, pole, match_bone,
length):

    a = ik_first.matrix.to_translation()
    b = ik_last.matrix.to_translation() + ik_last.vector
    ikv = b - a
    pv = perpendicular_vector(ikv).normalized() * length

    def set_pole(pvi):
        ploc = a + (ikv/2) + pvi
        mat =
get_pose_matrix_in_other_space(Matrix.Translation(ploc),
pole)

        set_pose_translation(pole, mat)

        bpy.ops.object.mode_set(mode='OBJECT')
        bpy.ops.object.mode_set(mode='POSE')

    set_pole(pv)
    angle = rotation_difference(ik_first.matrix,
match_bone.matrix)
    pv1 = Matrix.Rotation(angle, 4, ikv) * pv
    set_pole(pv1)
    ang1 = rotation_difference(ik_first.matrix,
match_bone.matrix)

    pv2 = Matrix.Rotation(-angle, 4, ikv) * pv
    set_pole(pv2)
    ang2 = rotation_difference(ik_first.matrix,
match_bone.matrix)

    if ang1 < ang2:
        set_pole(pv1)

def fk2ik_leg(obj, fk, ik):
    thigh = obj.pose.bones[fk[0]]
    shin = obj.pose.bones[fk[1]]
    foot = obj.pose.bones[fk[2]]
    mfoot = obj.pose.bones[fk[3]]
    thighi = obj.pose.bones[ik[0]]
    shini = obj.pose.bones[ik[1]]
    footi = obj.pose.bones[ik[2]]
    mfooti = obj.pose.bones[ik[3]]
```

```

if 'auto_stretch' in footi.keys():
    if footi['auto_stretch'] == 0.0:
        thigh['stretch_length'] =
footi['stretch_length']
    else:
        diff = (thighi.vector.length +
shini.vector.length) / (thigh.vector.length +
shin.vector.length)
        thigh['stretch_length'] *= diff

    # Thigh position
    match_pose_rotation(thigh, thighi)
    match_pose_scale(thigh, thighi)

    # Shin position
    match_pose_rotation(shin, shini)
    match_pose_scale(shin, shini)

    # Foot position
    mat = mfoot.bone.matrix_local.inverted() *
foot.bone.matrix_local

    footmat =
get_pose_matrix_in_other_space(mfooti.matrix, foot) * amat

    set_pose_rotation(foot, footmat)
    set_pose_scale(foot, footmat)
    bpy.ops.object.mode_set(mode='OBJECT')
    bpy.ops.object.mode_set(mode='POSE')

else:
    # Thigh position
    match_pose_translation(thigh, thighi)
    match_pose_rotation(thigh, thighi)
    match_pose_scale(thigh, thighi)

    # Shin position
    match_pose_rotation(shin, shini)
    match_pose_scale(shin, shini)

    # Foot position
    mat = mfoot.bone.matrix_local.inverted() *
foot.bone.matrix_local
    footmat =
get_pose_matrix_in_other_space(mfooti.matrix, foot) * mat
    set_pose_rotation(foot, footmat)
    set_pose_scale(foot, footmat)
    bpy.ops.object.mode_set(mode='OBJECT')
    bpy.ops.object.mode_set(mode='POSE')

```

```

def ik2fk_leg(obj, fk, ik):

    thigh    = obj.pose.bones[fk[0]]
    shin     = obj.pose.bones[fk[1]]
    mfoot    = obj.pose.bones[fk[2]]
    if fk[3] != "":

        foot    = obj.pose.bones[fk[3]]

    else:

        foot = None

    thighi   = obj.pose.bones[ik[0]]
    shini    = obj.pose.bones[ik[1]]
    footi    = obj.pose.bones[ik[2]]
    footroll = obj.pose.bones[ik[3]]

    main_parent = obj.pose.bones[ik[6]]

    if ik[4] != "" and main_parent['pole_vector']:
        pole    = obj.pose.bones[ik[4]]
    else:
        pole = None

    mfooti    = obj.pose.bones[ik[5]]

    if (not pole) and (foot):

        # Clear footroll
        set_pose_rotation(footroll, Matrix())

        # Foot position
        mat = mfooti.bone.matrix_local.inverted() *
        footi.bone.matrix_local

        footmat =
        get_pose_matrix_in_other_space(foot.matrix, footi) * amat

        set_pose_translation(footi, footmat)
        set_pose_rotation(footi, footmat)
        set_pose_scale(footi, footmat)
        bpy.ops.object.mode_set(mode='OBJECT')
        bpy.ops.object.mode_set(mode='POSE')

        # Thigh position
        match_pose_translation(thighi, thigh)
        match_pose_rotation(thighi, thigh)
        match_pose_scale(thighi, thigh)

        # Rotation Correction
        correct_rotation(thighi, thigh)

```

```

else:
    # Stretch
    if 'stretch_lenght' in footi.keys() and
'stretch_lenght' in thigh.keys():

        # Kept for compat with legacy rigify Human
        footi['stretch_length'] =
thigh['stretch_length']

    # Clear footroll
    set_pose_rotation(footroll, Matrix())

    # Foot position
    mat = mfooti.bone.matrix_local.inverted() *
footi.bone.matrix_local

    footmat =
get_pose_matrix_in_other_space(mfoot.matrix, footi) * amat

    set_pose_translation(footi, footmat)
    set_pose_rotation(footi, footmat)
    set_pose_scale(footi, footmat)
    bpy.ops.object.mode_set(mode='OBJECT')
    bpy.ops.object.mode_set(mode='POSE')

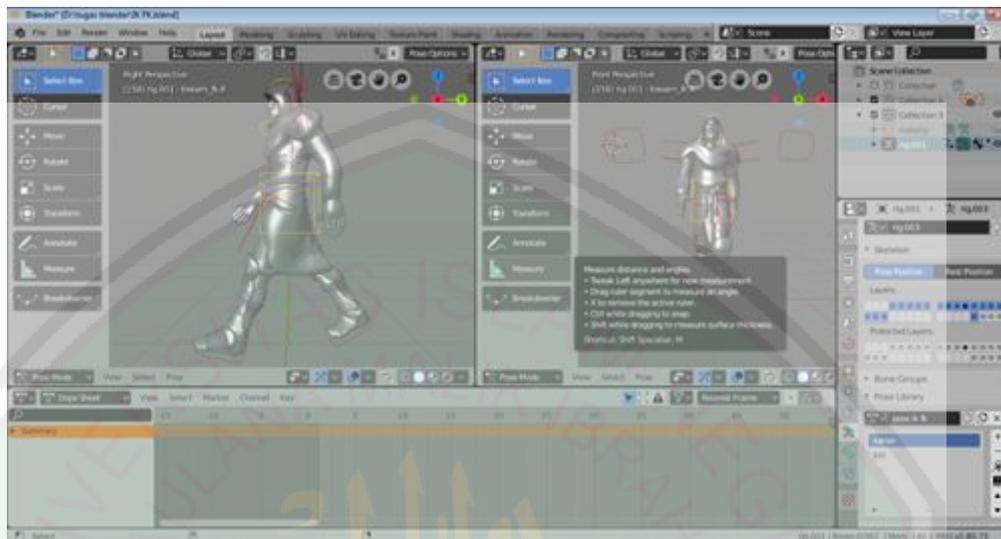
    # Pole target position
    match_pole_target(thighi, shini, pole, thigh,
(thighi.length + shini.length))

```

4.1.4 Animating

Proses *animating* diawali dengan menentukan *keypose* pada *frame* berdasarkan gerakan yang dibuat. Penentuan *keypose* ini dilakukan dengan cara menyimpan setiap pose ke dalam setiap *frame* atau *frame by frame* sesuai dengan gerakan yang dibuat, dalam penelitian ini yaitu gerakan manusia berjalan berdasarkan data sumbu derajat kebebasan tulang yang sudah diterapkan pada sendi. Pada proses ini juga memanfaatkan *addon controler* FK IK yang terdapat pada aplikasi blender, *controler* tersebut berfungsi untuk mengurangi kesalahan *pose* pada saat proses *animating*. *Add on controler* FK

IK ini sangat memudahkan *animator* dalam tahap *animating*, pasalnya *animator* hanya perlu menggerakkan *bone* Ik fk ctrl untuk membuat pola berjalan (*walk cycle*).



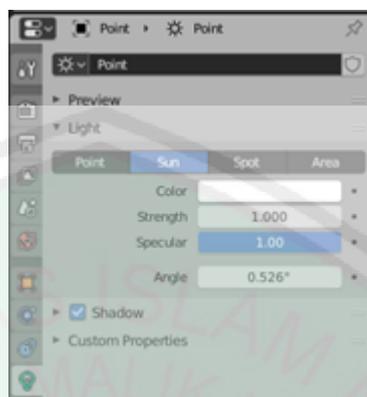
Gambar 4.6 *Animating* menggunakan metode *forward kinematics* dan *inverse kinematics*.

Pada proses *animating*, *animator* hanya melakukan rotasi pada objek sendi tangan yaitu lengan atas dan lengan bawah, kemudian rotasi pada kaki yaitu paha dan betis. Rotasi tersebut merujuk pada data sudut derajat sendi yang diperoleh sebelumnya.

4.1.5 *Lighting*

Lighting adalah tahapan dalam memberikan dan mengontrol elemen cahaya pada scene dan shot animasi 3D. Proses *lighting* juga diperlukan agar objek tampak menyatu dengan *background* sesuai posisi cahaya. Untuk mendapatkan proporsi cahaya yang sesuai, diperlukan waktu dan beberapa kali untuk percobaan. Setelah didapatkan hasil yang sesuai, *animator* harus konsisten dalam menentukan *lighting settings* yang sudah dibuat, agar hasilnya stabil. Proses *lighting* dilakukan dengan objek *sun*, yang diatur dengan efek *emission*,

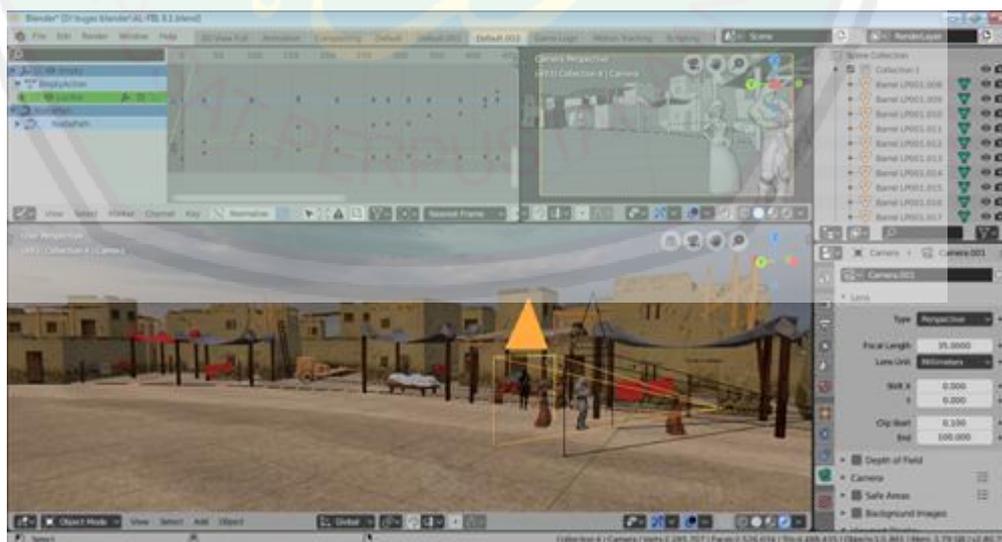
kemudian *strength* yang berfungsi sebagai kecerahan cahaya diatur dengan nilai 1.000 tidak terlalu terang seperti efek agak petang sehingga sesuai dengan suasana alur cerita.



Gambar 4.7 Lighting setting

4.1.6 Camera Operating

Pemberian kamera bertujuan untuk menampilkan hasil render animasi. Proses ini dilakukan dengan mengatur jenis dan sudut pandangan pengambilan *scene* oleh kamera dengan cara mengatur koordinat *camera* sesuai kebutuhan mengacu pada *storyboard* yang telah dirancang sebelumnya kemudian menyimpannya pada *frame*.



Gambar 4.8 Camera operating.

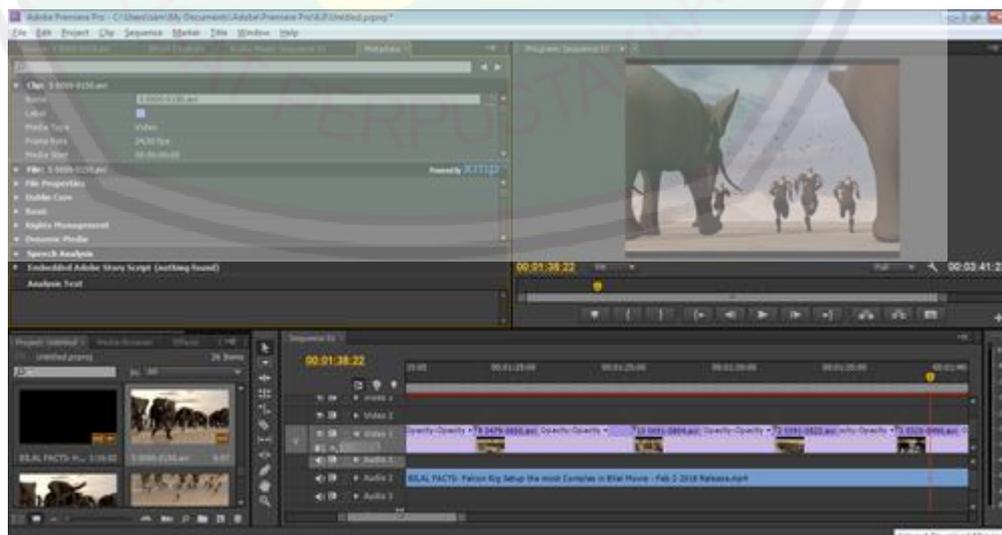
4.1.7 Rendering

Rendering adalah proses membuat atau membangun *output* file dari animasi yang telah dibuat. ketika sebuah animasi di-render, program akan mengambil bermacam-macam komponen, variabel, dan aksi dalam scene yang sudah dianimasi dan membangunnya menjadi hasil akhir yang dapat dilihat atau ditonton. Pada tahapan *rendering* hasil yang dimunculkan berupa video animasi *scene per scene* dari cerita *asbabun nuzul* Al-Fiil yang nantinya akan digabung sebagai hasil final dengan menggunakan aplikasi Adobe Premier Pro CS6.

Animator menggunakan *engine* terbaru milik blender yaitu *eevee render* karena hasil yang didapat hampir sama seperti *cycles render* tetapi dengan memakan waktu *render* yang lebih cepat.

4.2 Pasca Produksi

Fase terakhir dalam pembuatan film animasi pendek cerita Al-Fiil adalah menggabungkan *scene per scene* animasi dari proses *rendering* sebelumnya dengan menggunakan aplikasi Adobe Premier Pro CS6.

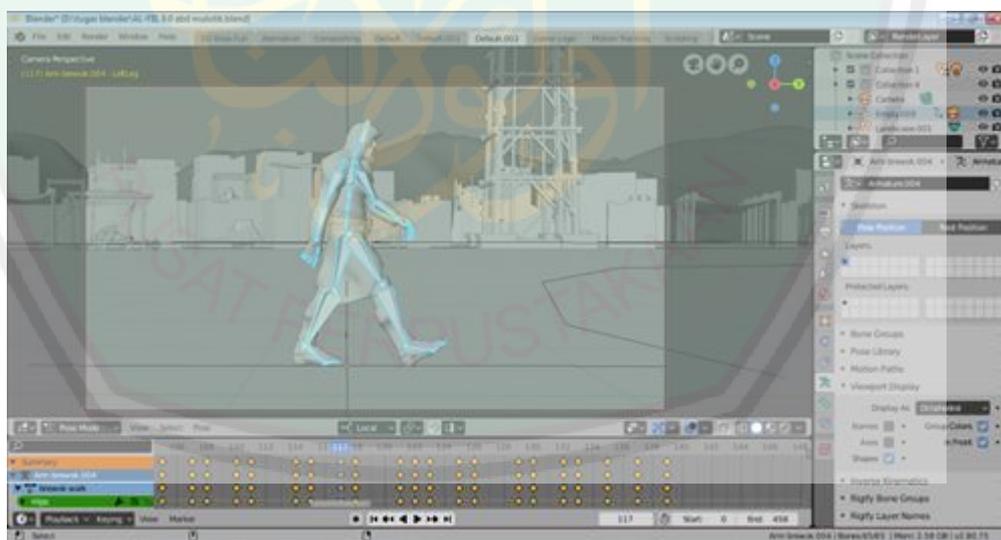


Gambar 4.9 Editing video.

Editing yang dilakukan pada tahap ini yaitu penyusunan *scene-scene* dari proses *rendering* blender sebelumnya dengan mengacu pada *storyboard*, serta menambahkan efek suara dan efek-efek lainnya sesuai dengan kebutuhan sehingga sesuai dengan ide cerita yang telah disusun sebelumnya. Hasil akhir dari final *editing* ini adalah berupa video berformat .mp4 yang siap disajikan.

4.3 Hasil Implementasi Metode

Pembuatan simulasi manusia ketika berjalan yang telah diimplementasikan dengan metode *forward kinematics* dan *inverse kinematics* sebelumnya akan dikerjakan berdasarkan data derajat kebebasan tulang yang diperoleh dari hasil analisa sebelumnya, yaitu dengan cara mengganti nilai koordinat lokasi *end-effector* berdasarkan hasil perhitungan *end-effector* pada kaki kemudian mengganti nilai rotasi lengan atas dan lengan bawah untuk mendapatkan nilai *end-effector* tangan.



Gambar 4.10 Simulasi gerak berjalan manusia

Gambar 4.10 menunjukkan simulasi berjalan karakter manusia yang telah diimplementasikan dengan metode *forward kinematics* dan *inverse kinematics* dan dikombinasikan dengan *add on rigify* yang di dalamnya terdapat *generate*

bone manusia untuk *controller forward kinematics* dan *inverse kinematics* pada *bone* agar memudahkan animator untuk memindahkan *bone*.

Dari pembuatan simulasi gerak manusia ketika berjalan dengan mengacu pada data derajat kebebasan tulang sebelumnya, maka akan diperoleh nilai koordinat *end-effector* dan nilai rotasi dengan perhitungan sebagai berikut :

$$T = [rot\theta_1][transl_1] + [rot\theta_1 + rot\theta_2][transl_2]$$

$$= \begin{bmatrix} \sin \theta_1 & -\cos \theta_1 & 0 \\ \cos \theta_1 & \sin \theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & l_1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sin \theta_1 + \theta_2 & -\cos \theta_1 + \theta_2 & 0 \\ \cos \theta_1 + \theta_2 & \sin \theta_1 + \theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & l_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Pada posisi tegak, diketahui sudut lengan atas $\theta_1 = 5^\circ$ dan sudut lengan bawah $\theta_2 = -25^\circ$ kemudian $l_1 = 30$ dan $l_2 = 27$ maka:

$$= \begin{bmatrix} \sin 5 & -\cos 5 & 0 \\ \cos 5 & \sin 5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 30 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sin -20 & \cos 20 & 0 \\ \cos -20 & \sin -20 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 27 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Karena tulang lengan atas bagian depan berada di kuadran III maka sudut sin dan sudut cos menjadi minus, sedangkan lengan bawah berada di kuadran IV maka sudut sin menjadi minus sehingga :

$$= \begin{bmatrix} \sin -5 & \cos 5 & 0 \\ \cos -5 & \sin -5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 30 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sin 20 & \cos 20 & 0 \\ \cos -20 & \sin 20 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 27 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -0,087 & 0,996 & 0 \\ -0,996 & -0,087 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 30 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,342 & 0,939 & 0 \\ -0,939 & 0,342 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 27 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -0,087 & 0,996 & -2,610 \\ -0,996 & -0,087 & -29,880 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,342 & 0,939 & 9,234 \\ -0,939 & 0,342 & -25,353 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T = \begin{bmatrix} -0,255 & 1,935 & 6,624 \\ -1,935 & -0,255 & -55,233 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T \\ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -0,255 & 1,935 & 6,624 \\ -1,935 & -0,255 & -55,233 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6,624 \\ -55,233 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Maka didapatkan hasil nilai *end-effector* sumbu $x = 6,624$ dan sumbu $y = -55,233$ pada tulang tangan ketika di posisi tegak.

Pada posisi tangan ke depan, diketahui sudut lengan atas $\theta_1 = -30^\circ$ dan sudut lengan bawah $\theta_2 = -30^\circ$ kemudian $l_1 = 30$ dan $l_2 = 27$ maka:

$$= \begin{bmatrix} \sin -30 & \cos 30 & 0 \\ \cos -30 & \sin -30 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 30 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sin -60 & \cos 60 & 0 \\ \cos -60 & \sin -60 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 27 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Karena tulang tangan bagian depan berada di kuadran IV, maka sudut \sin menjadi minus sehingga :

$$= \begin{bmatrix} \sin 30 & \cos 30 & 0 \\ \cos -30 & \sin 30 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 30 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sin 60 & \cos 60 & 0 \\ \cos -60 & \sin 60 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 27 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 30 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 27 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 15 \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & -15\sqrt{3} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & \frac{27\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{27}{2} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}-1}{2} & \frac{\sqrt{3}+1}{2} & \frac{27\sqrt{3}-30}{2} \\ -\frac{\sqrt{3}-1}{2} & \frac{\sqrt{3}-1}{2} & \frac{30\sqrt{3}-27}{2} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ 1 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} T \\ & \\ & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}-1}{2} & \frac{\sqrt{3}+1}{2} & \frac{27\sqrt{3}-30}{2} \\ -\frac{\sqrt{3}-1}{2} & \frac{\sqrt{3}-1}{2} & -\frac{30\sqrt{3}-27}{2} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \frac{27\sqrt{3}-30}{2} \\ -\frac{30\sqrt{3}-27}{2} \\ 1 \end{bmatrix} \\
 \begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ 1 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 38,383 \\ -39,481 \\ 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Maka didapatkan hasil nilai *end-effector* sumbu $x = 38,383$ dan sumbu $y = -39,481$ pada tulang tangan ketika posisi ke depan.

Pada posisi tangan ke belakang, diketahui sudut lengan atas $\theta_1 = 40^\circ$ dan sudut lengan bawah $\theta_2 = -25^\circ$ kemudian $l_1 = 30$ dan $l_2 = 27$ maka:

$$= \begin{bmatrix} \sin 40 & -\cos 40 & 0 \\ \cos 40 & \sin 40 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 30 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sin -15 & \cos 15 & 0 \\ \cos -15 & \sin -15 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 27 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Karena tulang tangan ketika ke belakang berada di kuadran III, maka sudut sin dan sudut cos menjadi minus sehingga:

$$\begin{aligned}
 &= \begin{bmatrix} \sin -40 & \cos 40 & 0 \\ \cos -40 & \sin -40 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 30 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sin 15 & -\cos 15 & 0 \\ \cos 15 & \sin 15 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 27 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} -0,643 & 0,766 & 0 \\ -0,766 & -0,643 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 30 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,259 & 0,966 & 0 \\ -0,966 & -0,259 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 27 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} -0,643 & 0,766 & -19,290 \\ -0,766 & -0,643 & -22,976 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,259 & 0,966 & -6,991 \\ -0,966 & -0,259 & -26,079 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$T = \begin{bmatrix} -0,902 & 1,732 & -26,281 \\ -1,732 & -0,902 & -49,055 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T \\ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -0,902 & 1,732 & -26,281 \\ -1,732 & -0,902 & -49,055 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -26,281 \\ -49,055 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Maka didapatkan hasil nilai *end-effector* sumbu $x = -26,281$ dan sumbu $y = -49,055$ pada tulang tangan ketika posisi ke belakang.

Untuk mencari nilai sudut derajat kebebasan tulang kaki, kita perlu mengetahui nilai *end-effector* dari data yang telah di peroleh sebelumnya sebagai *input* pada aplikasi blender.

Pada posisi kaki ketika tegak, diketahui sudut paha $\theta_1 = 5^\circ$ dan sudut betis $\theta_2 = 2^\circ$ kemudian $l_1 = 48,5$ dan $l_2 = 51,5$ maka:

$$= \begin{bmatrix} \sin 5 & -\cos 5 & 0 \\ \cos 5 & \sin 5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 48,5 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sin 7 & -\cos 7 & 0 \\ \cos 7 & \sin 7 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 51,5 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Karena tulang kaki ketika tegak berada di kuadran III, maka sudut sin dan sudut cos menjadi minus sehingga:

$$= \begin{bmatrix} -\sin 5 & \cos 5 & 0 \\ -\cos 5 & -\sin 5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 48,5 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\sin 7 & \cos 7 & 0 \\ -\cos 7 & -\sin 7 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 51,5 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -0,087 & 0,996 & 0 \\ -0,996 & -0,087 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 48,5 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,121 & 0,992 & 0 \\ -0,992 & -0,121 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 51,5 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -0,087 & 0,996 & -4,220 \\ -0,996 & -0,087 & -48,306 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,121 & 0,992 & -6,232 \\ -0,992 & -0,121 & -51,088 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T = \begin{bmatrix} -0,208 & 1,988 & -10,451 \\ -1,988 & -0,208 & -99,394 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T \\ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -0,208 & 1,988 & -10,451 \\ -1,988 & -0,208 & -99,394 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -10,451 \\ -99,394 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Maka didapatkan hasil nilai *end-effector* sumbu $x = -10,451$ dan sumbu $y = -99,394$ pada tulang kaki ketika posisi tegak.

Pada posisi kaki ke depan, diketahui sudut paha $\theta_1 = -20^\circ$ dan sudut betis

$\theta_2 = 5^\circ$ kemudian $l_1 = 48,5$ dan $l_2 = 51,5$ maka:

$$= \begin{bmatrix} \sin -20 & \cos 20 & 0 \\ \cos -20 & \sin -20 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 48,5 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sin -15 & \cos 15 & 0 \\ \cos -15 & \sin -15 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 51,5 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Karena tulang kaki bagian depan berada di kuadran IV, maka sudut \sin menjadi minus sehingga:

$$= \begin{bmatrix} \sin 20 & \cos 20 & 0 \\ \cos -20 & \sin 20 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 48,5 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sin 15 & \cos 15 & 0 \\ \cos -15 & \sin 15 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 51,5 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0,342 & 0,939 & 0 \\ -0,939 & 0,342 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 48,5 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,259 & 0,966 & 0 \\ -0,966 & 0,259 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 51,5 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0,342 & 0,939 & 16,587 \\ -0,939 & 0,342 & -45,542 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,259 & 0,966 & 13,339 \\ -0,966 & 0,259 & -49,749 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T = \begin{bmatrix} 0,429 & 1,936 & 29,926 \\ -1,936 & 0,429 & -95,291 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & T & \\ & & \\ & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0,429 & 1,936 & 29,926 \\ -1,936 & 0,429 & -95,291 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 29,926 \\ -95,291 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Maka didapatkan hasil nilai *end-effector* sumbu $x = 29,926$ dan sumbu $y = -95,291$ pada tulang kaki ketika posisi ke depan.

Pada posisi kaki ke belakang, diketahui sudut paha $\theta_1 = 20^\circ$ dan sudut betis $\theta_2 = 5^\circ$ kemudian $l_1 = 48,5$ dan $l_2 = 51,5$ maka:

$$= \begin{bmatrix} \sin 20 & -\cos 20 & 0 \\ \cos 20 & \sin 20 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 48,5 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sin 25 & -\cos 25 & 0 \\ \cos 25 & \sin 25 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 51,5 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Karena tulang kaki bagian belakang berada di kuadran III, maka sudut sin dan sudut cos menjadi minus sehingga:

$$= \begin{bmatrix} -\sin 20 & \cos 20 & 0 \\ -\cos 20 & -\sin 20 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 48,5 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\sin 25 & \cos 25 & 0 \\ -\cos 25 & -\sin 25 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 51,5 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -0,342 & 0,939 & 0 \\ -0,939 & -0,342 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 48,5 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,422 & 0,906 & 0 \\ -0,906 & -0,422 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 51,5 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -0,342 & 0,939 & -16,587 \\ -0,939 & -0,342 & -45,542 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,422 & 0,906 & -21,733 \\ -0,906 & -0,422 & -46,659 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T = \begin{bmatrix} -0,764 & 1,845 & -38,320 \\ -1,845 & -0,764 & -92,201 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & T & \\ & & \\ & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -0,764 & 1,845 & -38,320 \\ -1,845 & -0,764 & -92,201 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -38,320 \\ -92,201 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Maka didapatkan hasil nilai *end-effector* sumbu $x = -38,320$ dan sumbu $y = -92,201$ pada tulang kaki ketika posisi ke belakang.

Hasil nilai *end-effector* dari tulang tangan yang didapatkan setelah pembuatan simulasi gerak manusia saat berjalan dengan metode *forward kinematics* sebagai berikut :

Tabel 4.1 Hasil nilai *end-effector* dari tulang tangan

No	Tulang Tangan	Arah Jalan	Derajat	<i>end-effector</i>			
				data		hasil	
				x	y	x	y
1	Lengan Atas	Tegak	5°	-2,610	-29,880	-2,614	-29,885
2	Lengan Bawah	Tegak	-25°	6,624	-55,233	6,619	-55,257
3	Lengan Atas	Bagian Depan	-30°	15	-25,981	15	-25,981
4	Lengan Bawah	Bagian Depan	-30°	38,383	-39,481	38,383	-39,481
5	Lengan Atas	Bagian Belakang	40°	-19,290	-22,976	-19,284	-22,981
6	Lengan Bawah	Bagian Belakang	-25°	-26,281	-49,055	-26,272	-49,061

Hasil nilai rotasi sudut derajat pada tulang kaki yang didapatkan setelah pembuatan simulasi manusia berjalan yang diimplementasikan dengan metode *inverse kinematics* sebagai berikut :

Tabel 4.2 Hasil nilai derajat dari tulang kaki.

No	Tulang Kaki	Arah Jalan	<i>end-effector</i>		Derajat	
			x	y	data	hasil
1	Paha	Tegak	-4,220	-48,306	5°	4,87°
2	Betis	Tegak	-10,451	-99,394	2°	2,21°
3	Paha	Bagian Depan	16,587	-45,542	-20°	-14,4°

4	Betis	Bagian Depan	29,926	-95,291	5°	5,84°
5	Paha	Bagian Belakang	-16,581	-45,542	20°	19,8°
6	Betis	Bagian Belakang	-38,32	-92,201	5°	5,31°

Setelah mengetahui nilai *end-effector* dari tulang tangan dan nilai derajat rotasi tulang sendi kaki yang mengacu pada data dari hasil analisis sebelumnya, maka akan dilakukan pengujian terhadap nilai kesalahan posisi koordinat *end-effector* tulang tangan yang di implementasikan dengan metode *forward kinematics* dan nilai kesalahan derajat kebebasan tulang pada tulang sendi kaki yang di implementasikan dengan metode *inverse kinematics* dengan menggunakan rumus :

$$error (\%) = ABS \left(\frac{\text{nilai data} - \text{nilai hasil}}{\text{nilai data}} \times 100\% \right) \quad (4.1)$$

Berikut ini perhitungan kesalahan posisi *end-effector* pada simulasi tulang tangan manusia ketika berjalan menggunakan metode *forward kinematics* :

- **Posisi tangan tegak**

Error (%) *end-effector* tulang lengan atas :

sumbu x :

$$error (\%) = ABS \frac{(-2,610) - (-2,614)}{(-2,610)} \times 100\%$$

$$= 0,15\%$$

sumbu y :

$$error (\%) = ABS \frac{(-29,880) - (-29,885)}{(-29,880)} \times 100\%$$

$$= 0,02\%$$

Error (%) *end-effector* tulang lengan bawah :

sumbu x :

$$error (\%) = ABS \frac{(6,624) - (6,619)}{(6,624)} \times 100\%$$

$$= 0,08\%$$

sumbu y :

$$\begin{aligned} \text{error} (\%) &= \text{ABS} \frac{(-55,233) - (-55,257)}{(-55,233)} \times 100\% \\ &= 0,04\% \end{aligned}$$

- **Posisi tangan ke depan**

Error (%) *end-effector* tulang lengan atas :

sumbu x :

$$\begin{aligned} \text{error} (\%) &= \text{ABS} \frac{(15) - (15)}{(15)} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

sumbu y :

$$\begin{aligned} \text{error} (\%) &= \text{ABS} \frac{(-25,981) - (-25,981)}{(-25,981)} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

Error (%) *end-effector* tulang lengan bawah :

sumbu x :

$$\begin{aligned} \text{error} (\%) &= \text{ABS} \frac{(38,383) - (38,383)}{(38,383)} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

sumbu y :

$$\begin{aligned} \text{error} (\%) &= \text{ABS} \frac{(-39,481) - (-39,481)}{(-39,481)} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

- **Posisi tangan ke belakang**

Error (%) *end-effector* tulang lengan atas :

sumbu x :

$$\begin{aligned} \text{error} (\%) &= \text{ABS} \frac{(-19,290) - (-19,284)}{(-19,29)} \times 100\% \\ &= 0,03\% \end{aligned}$$

sumbu y :

$$\begin{aligned} \text{error} (\%) &= \text{ABS} \frac{(-22,976) - (-22,981)}{(-22,976)} \times 100\% \\ &= 0,02\% \end{aligned}$$

Error (%) *end-effector* tulang lengan bawah :

sumbu x :

$$\begin{aligned} error (\%) &= ABS \frac{(-26,281) - (-26,272)}{(-26,281)} \times 100\% \\ &= 0,03\% \end{aligned}$$

sumbu y :

$$\begin{aligned} error (\%) &= ABS \frac{(-49,055) - (-49,061)}{(-49,055)} \times 100\% \\ &= 0,01\% \end{aligned}$$

Berikut ini perhitungan kesalahan derajat sendi pada tulang kaki simulasi gerak manusia ketika berjalan yang diimplementasikan metode *invers kinematics*:

- **Posisi kaki tegak**

Error (%) *end-effector* tulang paha :

$$\begin{aligned} error (\%) &= ABS \frac{5 - 4,87}{5} \times 100\% \\ &= 2,6\% \end{aligned}$$

Error (%) *end-effector* tulang betis :

$$\begin{aligned} error (\%) &= ABS \frac{2 - 2,21}{0} \times 100\% \\ &= 10,5\% \end{aligned}$$

- **Posisi kaki ke depan**

Error (%) *end-effector* tulang paha :

$$\begin{aligned} error (\%) &= ABS \frac{(-20) - 14,4}{(-20)} \times 100\% \\ &= 28\% \end{aligned}$$

Error (%) *end-effector* tulang betis :

$$\begin{aligned} error (\%) &= ABS \frac{5 - 5,84}{5} \times 100\% \\ &= 16,8\% \end{aligned}$$

- **Posisi kaki ke belakang**

Error (%) *end-effector* tulang paha :

$$\begin{aligned} error (\%) &= ABS \frac{20 - 19,8}{20} \times 100\% \\ &= 1\% \end{aligned}$$

Error (%) *end-effector* tulang betis :

$$\begin{aligned} \text{error (\%)} &= \text{ABS} \frac{5 - 5,31}{0} \times 100\% \\ &= 6,2\% \end{aligned}$$

Tabel 4.3 Tingkat kesalahan posisi *end-effector* tulang tangan.

No	Tulang Tangan	Arah Jalan	Sumbu	% Error
1	Lengan Atas	Tegak	x	0,15%
			y	0,01%
2	Lengan Bawah	Tegak	x	0,07%
			y	0,04%
3	Lengan Atas	Bagian Depan	x	0%
			y	0%
4	Lengan Bawah	Bagian Depan	x	0%
			y	0%
5	Lengan Atas	Bagian Belakang	x	0,03%
			y	0,02%
6	Lengan Bawah	Bagian Belakang	x	0,03%
			y	0,01%

Tabel 4.4 Tingkat kesalahan derajat sendi tulang kaki.

No	Tulang Kaki	Arah Jalan	% Error
1	Paha	Tegak	2,6%
2	Betis	Tegak	10,5 %
3	Paha	Bagian Depan	28%
4	Betis	Bagian Depan	16,8%
5	Paha	Bagian Belakang	1%
6	Betis	Bagian Belakang	6,2 %

Dari tabel tingkat kesalahan , dapat diamati bahwa nilai kesalahan atau *error* tidak bergantung pada *input*, sehingga nilai kesalahan ini termasuk dalam galat *non-relative*. Untuk menentukan nilai rata-rata tingkat kesalahan *output* terhadap *input* dengan rumus rata-rata sederhana dapat menggunakan jumlah nilai *error* yang muncul dibagi dengan jumlah data :

$$\text{rata} = \frac{\sum \text{error}}{\sum \text{data}} = \frac{65,5}{12} = 5,45\%$$

4.4 Integrasi Islam

Pada penelitian yang telah dilakukan, menghasilkan sebuah film pendek berupa animasi 3D yang menceritakan peristiwa bagaimana dahsyatnya kuasa Allah SWT yang menghancurkan raja Abrahah bersama 60 ribu bala tentara dan pasukan gajahnya saat akan menghancurkan Ka'bah hanya dengan pasukan burung kecil yang disebut Ababil.

Animasi 3D ini dimaksudkan sebagai media pembelajaran agar lebih menarik dan mudah dipahami. kemudian juga diharapkan dengan adanya film pendek animasi berbasis 3D ini membuat para penontonnya lebih mudah mengingat sejarah asbabun nuzul surah Al-Fiil serta kandungan yang ada di dalamnya:

أَلَمْ تَرَ كَيْفَ فَعَلَ رَبُّكَ بِأَصْحَابِ الْفِيلِ (١) أَلَمْ يَجْعَلْ كَيْدَهُمْ فِي تَضْلِيلٍ (٢)
وَأَرْسَلَ عَلَيْهِمْ طَيْرًا أَبَابِيلَ (٣) تَرْمِيهِمْ بِحِجَارَةٍ مِّن سِجِّيلٍ (٤) فَجَعَلَهُمْ كَعَصْفٍ
مَّاكُولٍ (٥)

Artinya: “Apakah kamu tidak memperhatikan bagaimana Tuhanmu telah bertindak terhadap tentara bergajah? Bukankah Dia telah menjadikan tipu daya mereka (untuk menghancurkan Ka'bah) itu sia-sia? Dan Dia mengirimi mereka burung yang berbondong-bondong, yang melempari mereka dengan batu (berasal) dari tanah yang terbakar, lalu Dia menjadikan mereka seperti daun-daun yang dimakan (ulat).”

Maka dari itu itu sebaik-baik kisah sejarah yang dapat diambil pelajaran dan hikmah yang berharga adalah kisah-kisah yang terdapat dalam ayat-ayat al-Qur'an dan hadits. Seperti yang dijelaskan dalam Al-Qur'an surat Yusuf ayat 111 yang berbunyi :

لَقَدْ كَانَ فِي قَصصِهِمْ عِبْرَةٌ لِأُولِي الْأَلْبَابِ ۗ مَا كَانَ حَدِيثًا يُفْتَرَىٰ وَلَكِن تَصْدِيقَ
الَّذِي بَيْنَ يَدَيْهِ وَتَفْصِيلَ كُلِّ شَيْءٍ وَهُدًى وَرَحْمَةً لِّقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ

Yang artinya : “*Sesungguhnya pada kisah-kisah mereka (para Nabi dan umat mereka) itu terdapat pelajaran bagi orang-orang yang mempunyai akal (sehat). al-Qur’an itu bukanlah cerita yang dibuat-buat, akan tetapi membenarkan (kitab-kitab) yang sebelumnya dan menjelaskan segala sesuatu, serta sebagai petunjuk dan rahmat bagi orang-orang yang beriman*”. Q.S Yusuf ayat 111.

Selain itu juga di dalam Islam kita dianjurkan untuk terus belajar, seperti yang dijelaskan pada Al-Qur’an surat Al-Mujadalah ayat 11 berikut :

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

Yang artinya "*Wahai orang-orang yang beriman. Apabila dikatakan kepadamu, "Berilah kelapangan di dalam majelis, maka lapangkanlah, niscaya Allah akan memberi kelapangan untukmu. Dan apabila dikatakan berdirilah kamu, maka berdirilah, niscaya Allah akan mengangkat derajat orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang-orang yang berilmu beberapa derajat"*. Q.S Al-Mujadalah ayat 11.

Dalam Al-Quran surat Al-Mujadilah ayat 11 dijelaskan bahwasanya kita hendaknya menuntut ilmu dengan ikhlas dan lapang dada dan Allah akan mengangkat derajat orang-orang yang beriman dan yang berilmu. Selain itu juga kita sebagai muslim sangat dianjurkan untuk terus menuntut ilmu karena ilmu adalah petunjuk bagi seorang muslim menuju surga seperti yang dijelaskan pada hadits riwayat Ibnu Majah berikut :

مَنْ سَلَكَ طَرِيقًا يَلْتَمِسُ فِيهِ عِلْمًا سَهَّلَ اللَّهُ لَهُ طَرِيقًا إِلَى الْجَنَّةِ

Yang artinya “*Dari Abi Darda r.a. berkata, saya mendengar Rasuluallah Saw. Bersabda: “ Bagi siapa menempuh jalan untuk menuntut ilmu, maka Allah akan memudahkan jalannya ke surga*”. (HR. Ibnu Majah).

Hadits riwayat Ibnu Majah tersebut menjelaskan tentang ilmu pengetahuan merupakan faktor yang paling dominan dalam menunjang kemajuan dalam

berbagai aspek kehidupan. Ilmu adalah petunjuk bagi seorang muslim terhadap perbuatan-perbuatan baik dan akan menumbuhkan cahaya dalam hati yang kan membantu untuk membedakan antara yang *haq* dan batil atau perbuatan yang baik dan buruk.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini, dijelaskan mengenai kesimpulan dari penelitian ini berdasarkan hasil dan pembahasan. Serta saran yang berguna untuk pengembangan penelitian.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa implementasi metode *forward kinematics* dan *inverse kinematics* pada simulasi gerak berjalan manusia dalam pembuatan animasi 3D memiliki persentase tingkat kemiripan dengan pola gerak asli pada manusia ketika berjalan. Hal ini ditunjukkan dengan hasil perbandingan rotasi derajat sendi serta perhitungan *end effector* tulang tangan dan kaki dari data pengukuran derajat sendi manusia ketika berjalan dengan rotasi derajat sendi dan *end effector* pada animasi 3D manusia berjalan yang telah dilakukan menggunakan *software* blender 3D dengan presentase rata-rata *error* sebesar 5,45% dari 12 data. Oleh karena itu pembuatan objek animasi 3D manusia berjalan dengan menggunakan metode *forward kinematics* dan *inverse kinematics* dapat mempengaruhi tingkat kemiripan dengan objek aslinya. Maka dalam skripsi ini diharapkan berguna dalam penelitian di bidang animasi 3D khususnya bagi para creator yang mengembangkan lebih lanjut juga sebagai media belajar tidak hanya untuk dinikmati tapi kita semua mampu untuk mengambil hikmah dari apa yang terkandung dalam surat Al-Fiil

5.2 Saran

Setelah dilakukan berbagai kegiatan dalam penelitian ini, terdapat beberapa saran yang mungkin berguna untuk dapat mengembangkan penelitian ini. Berikut ini adalah saran-saran tersebut :

1. Pada *pose mode* blender 3D titik koordinat (0,0) hanya pada ketika *select* objek, sehingga harus menggunakan 3D *cursor* sebagai acuan untuk menentukan *end effector* ketika menggunakan *invers kinematics*. Untuk mempermudah menentukan *end effector* pada *invers kinematics*, diperlukan opsi koordinat (0,0) pada posisi *center* atau tengah area 3D *modeling*.
2. Sangat penting untuk menyesuaikan spesifikasi perangkat keras yang akan digunakan dengan kebutuhan pada program Blender. Hal ini bertujuan agar penggunaan program Blender dapat lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Awulle, Miranthy S., dkk. 2016. "Pembuatan Film Animasi 3D Menggunakan Metode Dynamic Simulation." *E-Journal Teknik Elektro dan Komputer Vol. 5 No.4 ISSN : 2301-8402* 70-79.
- Beane, Andy. 2012. *3D Animation Essentials*. Indianapolis: John Wiley & Sons, Inc.
- Boggus, Matt. 2018. *Forward and Inverse Kinematics*. Ohio: Ohio State University.
- Dwi Saputro, Agung, dkk. 2018. "Simulasi Gerak Ular Menggunakan Metode Inverse Kinematics." *Jurnal Informasi Interaktif Vol. 3 No. 2, ISSN 2527-5240*.
- Famukhit, Muga Linggar, dkk. 2016. "Simulasi Gerak Kepiting Menggunakan Metode Inverse Kinematics." *Journal Speed - Sentra Penelitian Engineering dan Edukasi Vol. 8 No. 2*.
- Fernandez, Ibiz. 2002. *Macromedia Flash Animation & Cartooning: A Creative Guide*. California: McGraw-Hill Companies.
- Frank, Fabian. 2014. *Moving-Picture*. 17 November. Diakses Oktober 2019. <https://www.moving-picture.com/advertising/work/moneysupermarket-elephunk/>.
- Huang, Jing, dkk. 2016. "Inverse kinematics using dynamic joint parameters: inverse kinematics animation synthesis learnt from sub-divided motion micro-segments." *The Visual Computer International Journal of Computer Graphics. ISSN 0178-2789*.
- Munadi. 2013. "Analisa Forward Kinematic Pada Simulator Arm Robot 5 Dof Yang Mengintegrasikan Mikrokontroler Arduino-Uno Dan Labview." *Rotasi Jurnal Teknik Mesin Vol .15 No. 6*.
- Nugraha, Heru Setya, dkk. 2015. "Pembuatan Model Gerakan Animasi 2D Dengan Menggunakan Metode Inverse Kinematics." *Seminar Nasional Teknologi Informasi Dan Multimedia, ISSN : 2302-3805*.
- Putra, Herdika Melia, dan Purwanto, Agus. 2015. "Pembuatan Film Animasi 2D Yang Berjudul Empat Monster Pada Komunitas Multimedia Amikom Surakarta." *Jurnal IT CIDA Vol 1 No. 1 ISSN: 2477-8133*.
- Thomas, Frank, dan Johnston, Ollie. 1981. *The Illusion of Life Disney Animation*. New York: Walt Disney Production.
- Vaughan, Tay. 2004. *Multimedia : Making It Work, Edisi ke-6*. Yogyakarta: Tim Penerjemah Andi, Tim Penerbit Andi.

Waeo, Victor, dkk. 2016. "Implementasi Gerakan Manusia Pada Animasi 3D Dengan Menggunakan Menggunakan Metode Pose to pose." *Jurnal Teknik Informatika Vol. 9*.

