

TESIS

**ANALISIS PENERAPAN PEMODELAN GERAKAN KARAKTER
MANUSIA PADA ANIMASI 3D MENGGUNAKAN
*FORWARD KINEMATICS***



Disusun oleh:

Nama : Rifal Ahmad Musthofa
NIM : 18.52.1076
Konsentrasi : Informatics Technopreneurship

**PROGRAM STUDI S2 TEKNIK INFORMATIKA
PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS AMIKOM YOGYAKARTA
YOGYAKARTA**

2020

TESIS

**ANALISIS PENERAPAN PEMODELAN GERAKAN KARAKTER
MANUSIA PADA ANIMASI 3D MENGGUNAKAN
*FORWARD KINEMATICS***

*ANALYSIS OF THE APPLICATION OF HUMAN CHARACTER
MOVEMENT MODELING IN 3D ANIMATION USING
FORWARD KINEMATICS*

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh derajat Magister



Disusun oleh:

Nama : Rifal Ahmad Musthofa
NIM : 18.52.1076
Konsentrasi : Informatics Technopreneurshp

**PROGRAM STUDI S2 TEKNIK INFORMATIKA
PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS AMIKOM YOGYAKARTA
YOGYAKARTA**

2020

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS PENERAPAN PEMODELAN GERAKAN KARAKTER
MANUSIA PADA ANIMASI 3D MENGGUNAKAN
*FORWARD KINEMATICS***

***ANALYSIS OF THE APPLICATION OF HUMAN CHARACTER
MOVEMENT MODELING IN 3D ANIMATION USING
FORWARD KINEMATICS***

Dipersiapkan dan Disusun oleh

Rifal Ahmad Musthofa

18.52.1076

Telah Diujikan dan Dipertahankan dalam Sidang Ujian Tesis
Program Studi S2 Teknik Informatika
Program Pascasarjana Universitas AMIKOM Yogyakarta
pada hari Selasa, 5 Mei 2020

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Magister Komputer

Yogyakarta, 5 Mei 2020

Rektor

Prof. Dr. M. Suvanto, M.M.
NIK. 190302001

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS PENERAPAN PEMODELAN GERAKAN KARAKTER
MANUSIA PADA ANIMASI 3D MENGGUNAKAN
FORWARD KINEMATICS
*ANALYSIS OF THE APPLICATION OF HUMAN CHARACTER
MOVEMENT MODELING IN 3D ANIMATION USING
FORWARD KINEMATICS***

Dipersiapkan dan Disusun oleh

Rifai Ahmad Musthofa

18.52.1076

Telah Diujikan dan Dipertahankan dalam Sidang Ujian Tesis
Program Studi S2 Teknik Informatika
Program Pascasarjana Universitas AMIKOM Yogyakarta
pada hari Selasa, 5 Mei 2020

Pembimbing Utama

Prof. Dr. Ema Utami, S.Si., M.Kom
NIK. 190302037

Pembimbing Pendamping

Dr. Suwanto Baharjo, S.Si., M.kom
NIK. 999106

Anggota Tim Penguji

Dr. Arief Setyanto, S.Si., MT
NIK. 190302036

Dr. Kusriani, M.Kom
NIK. 190302106

Prof. Ema Utami, S.Si., M.Kom
NIK. 190302037

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Magister Komputer

Yogyakarta, 5 Mei 2020

Direktur Program Pascasarjana

Dr. Kusriani, M.Kom
NIK. 190302106

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama mahasiswa : Rifai Ahmad Musthofa
NIM : 18.52.1076
Konsentrasi : Informatics Technopreneurship

Menyatakan bahwa Tesis dengan judul berikut:

Analisis Penerapan Pemodelan Gerakan Karakter Manusia Pada Animasi 3d Menggunakan Forward Kinematics

Dosen Pembimbing Utama : Prof. Dr. Ema Utami, S.Si., M.Kom.

Dosen Pembimbing Pendamping : Dr. Suwanto Raharjo, S.Si., M.kom

1. Karya tulis ini adalah benar-benar **ASLI** dan **BELUM PERNAH** diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, baik di Universitas AMIKOM Yogyakarta maupun di Perguruan Tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan **gagasan**, rumusan, dan penelitian **SAYA** sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dari Tim Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan disebutkan dalam Daftar Pustaka pada karya tulis ini.
4. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab **SAYA**, bukan tanggung jawab Universitas AMIKOM Yogyakarta.
5. Pernyataan ini **SAYA** buat dengan sesungguhnya, apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka **SAYA** bersedia menerima **SANKSI AKADEMIK** dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Perguruan Tinggi.

Yogyakarta, 5 Mei 2020

Yang Menyatakan,



Rifai Ahmad Musthofa

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan segala puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan Hidayah-Nya dan atas dukungan serta doa dari orang-orang tercinta, akhirnya tesis ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, dengan rasa bangga dan bahagia, tesis ini saya persembahkan kepada:

1. Ayah, Ibu, dan kakak yang telah memberikan dukungan moril maupun materi serta doa yang tiada henti, motivasi dan kesabaran kepada saya.
2. Ibu Prof. Ema Utami, S.Si., M.Kom dan Bapak Dr. Suwanto Raharjo, S.Si., M.Kom selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan arahan dan bimbingan positif dalam menyelesaikan Tesis ini hingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Bapak Agus Purwanto, M.Kom selaku pendamping tim kami sedari kuliah S1 yang juga memberikan masukan serta arahan kepada kami semua.
4. MSV Studio yang telah memperbolehkan kami melakukan penelitian bersama.
5. Sahabat seperjuangan Geng Tecis, Ahmad Zaid Rahman, Afifah Nur Aini dan Enie Yuliani yang selalu menemani dari awal semester satu hingga pengerjaan Tesis ini selesai dan selalu memberikan semangat untuk tidak menyerah.
6. Segenap keluarga Admisi MTI Universitas Amikom, Mbak Tutut, Mbak Laily dan Mas Azis, yang selalu sabar dengan kami semua hingga Tesis kami akhirnya selesai.

7. Keluarga besar MTI, 18S2TI, kelas Exc. angkatan 20 B, yang telah menjadi teman saya semasa kuliah pascasarjana serta kenangan yang tidak dapat saya rasakan di kesempatan lain.
8. Serta semua pihak yang telah membantu serta mendukung saya yang tidakbisa saya sebutkan satu persatu.

Saya ucapkan terima kasih, baik teman-teman yang saya tulis maupun tidak bisa saya tulis, segala *doa* yang baik untuk teman-teman semua. Semoga Tesis ini dapat bermanfaat dan berguna di masa yang akan datang. *Amiin.*



HALAMAN MOTTO

“Barang siapa yang tidak mensyukuri yang sedikit, maka ia tidak akan mampu mensyukuri sesuatu yang banyak.”

- HR. Ahmad

“Apa yang melewatkanmu tidak akan pernah menjadi takdirku, dan apa yang ditakdirkan untukku tidak akan pernah melewatkanmu.”

-Umar bin Khatab



KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kepada Allah SWT atas Karunia- Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul “Analisis Penerapan Pemodelan Gerakan Karakter Manusia Pada Animasi 3d Menggunakan Forward Kinematics” dapat terselesaikan dengan baik. Kritik dan saran sangat diharapkan penulis agar dapat lebih baik lagi di kemudian hari.

Dalam penyusunan dan penulisan tesis ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis dengan senang hati menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. M. Suyanto, M.M. selaku rektor Universitas AMIKOM Yogyakarta.
2. Dr. Kusriani, M.Kom. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas AMIKOM Yogyakarta yang telah menunjuk dosen pembimbing sehingga memperlancar penulis dalam menyelesaikan tesis.
3. Prof. Dr. Ema Utami, S.Si., M.Kom. dan Dr. Suwanto Raharjo, S.Si., M.Kom. selaku pembimbing utama dan pendamping yang telah mencurahkan perhatian, bimbingan, nasihat, doa, dan kepercayaan yang sangat berarti bagi penulis serta telah meluangkan waktu dalam memberikan arahan dan masukan selama penelitian dan penyusunan tesis.
4. Dr. Kusriani, M.Kom. dan Bapak Arief Setyanto, S.Si., MT. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan yang membangun.
5. Orang tua dan kakak yang telah memberkan doa dan motivasi sehingga menjadi penyemangat bagi penulis dalam mengerjakan tesis.

6. Teman-teman seperjuangan yang telah memberikan semangat dan dukungan selama masa pendidikan hingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.
7. Semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Akhir kata, semoga tesis ini bermanfaat, khususnya bagi penulis dan umumnya bagi masyarakat dalam rangka menambah wawasan pengetahuan.

Yogyakarta, 5 Mei 2020

Penulis



DAFTAR ISI

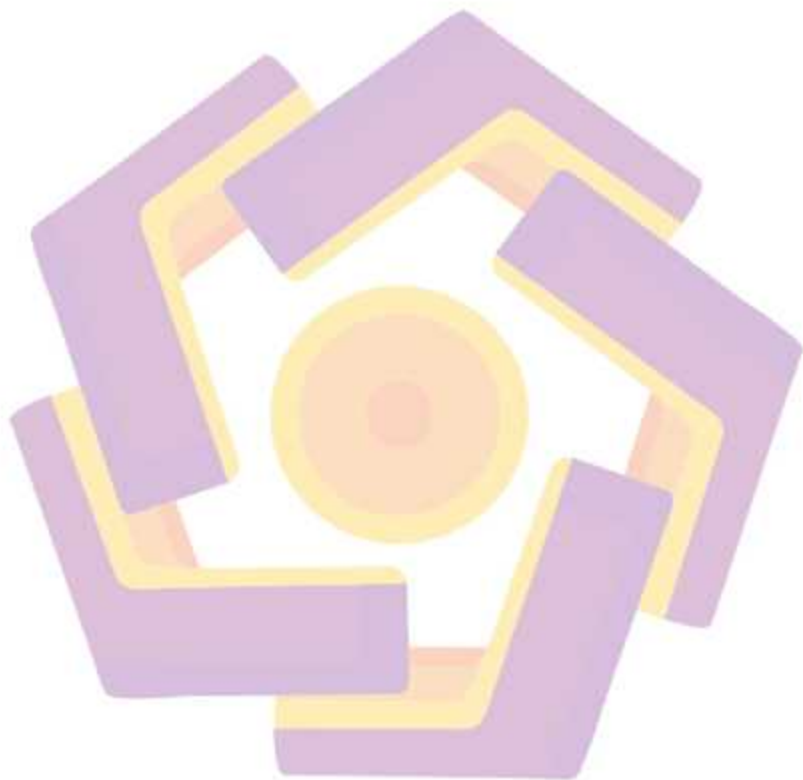
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
HALAMAN MOTTO.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
INTISARI.....	xxiii
ABSTRACT.....	xxiv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	6
1.3. Batasan Masalah.....	6
1.4. Tujuan Penelitian.....	8
1.5. Manfaat Penelitian.....	8
BAB II.....	10
TINJAUAN PUSTAKA.....	10

21. Tinjauan Pustaka.....	10
22. Keaslian Penelitian.....	12
23. Landasan Teori.....	18
2.3.1. Animasi.....	18
2.3.2. Prinsip-prinsip animasi.....	20
2.3.2.1 Squash and Stretch.....	20
2.3.2.2 Anticipation.....	21
2.3.2.3 Staging.....	21
2.3.2.4 Straight Ahead action and pose to pose.....	21
2.3.2.5 Follow Through and Overlapping Acion.....	22
2.3.2.6 Slow in Slow out.....	22
2.3.2.7 Arcs.....	22
2.3.2.8 Secondary Action.....	23
2.3.2.9 Timing.....	23
2.3.2.10 Exaggeration.....	23
2.3.2.11 Solid Drawing.....	23
2.3.2.12 Apeal.....	24
24 Forward kinematics (FK).....	24
2.4.1. Joint.....	25
2.4.2. End effector.....	26

2.4.3. Artikulasi dan Poses	26
25 Struktur/sistem rangka manusia	27
2.5.1. Rangka aksial.....	27
2.5.2. Rangka apendikular	27
26 Hubungan antar tulang /persendian.....	28
2.6.1. Sendi Mati (Sinartrosis).....	28
2.6.2. Sendi Kaku (Amfiartrosis).....	28
2.6.3. Sendi Gerak (Djartrosis).....	28
BAB III.....	30
Metode Penelitian.....	30
31 Jenis, Sifat dan Pendekatan Penelitian.....	30
32 Metode Pengumpulan Data.....	30
3.2.1. Metode Studi Literatur	30
3.2.2. Metode Kepustakaan	30
3.2.3. Metode Observasi	31
33 Metode Analisis Data.....	31
34 Alur Penelitian	31
3.4.1. Pengumpulan data.....	32
3.4.2. Analisa dan Perancangan.....	33
3.4.3. Implementasi	34
3.4.4. Pengujian	35

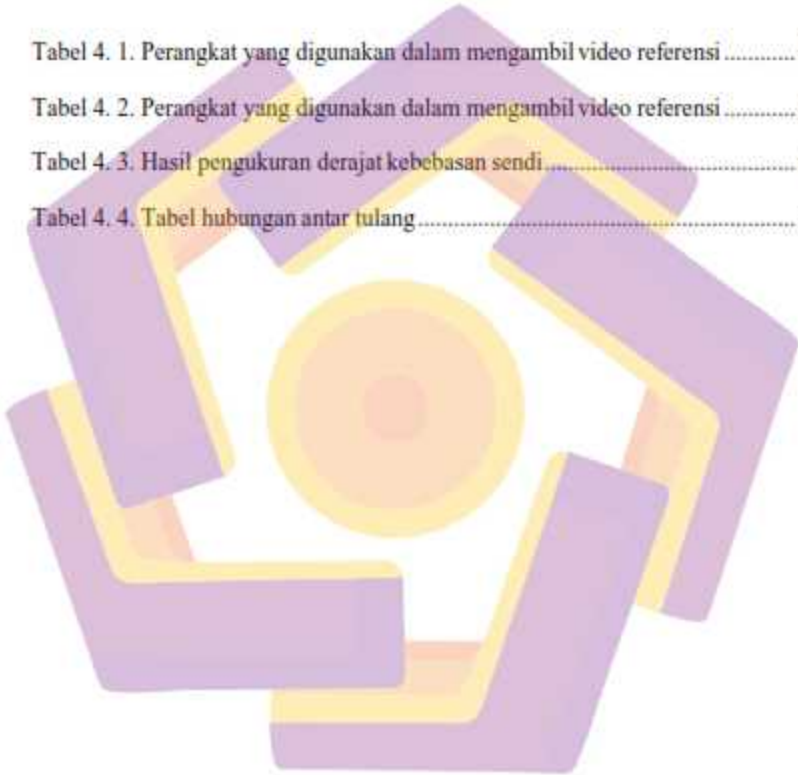
3.4.5. Analisis dan Hasil	36
BAB IV	37
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	37
4.1. Gambaran Umum Obyek Penelitian	37
4.2 Analisis	38
4.2.1. Analisis Gerakan	38
4.2.2. Analisis Derajat Sendi	41
4.2.3. Analisis Karakter Animasi 3D	50
4.2.4. Analisis Struktur Rig / Tulang	54
4.2.5. Analisis Kontrol Karakter Animasi 3D	60
4.3 Implementasi Gerak	72
4.3.1 Penerapan derajat kebebasan tulang (Degree of Freedom)	72
4.3.3 Pembuatan Gerakan Animasi	77
4.4 Testing Gerakan Animasi	79
4.5 Hasil Pengujian	82
4.5.1 Pengujian Video Referensi	82
4.5.2 Pengujian Gerakan Animasi 3D dengan Menerapkan Sudut Derajat Kebebasan Pada Sendi (Degrees Of Freedom)	84
4.5.3 Pengujian Pada Gerakan Animasi 3D Tanpa Menerapkan Sudut Derajat Kebebasan Pada Sendi (Degrees Of Freedom)	94
4.5.4 Analisis Hasil	103
BAB V PENUTUP	106

51. Kesimpulan	106
52. Saran	108
Daftar Pustaka	109



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Matriks literatur review dan posisi penelitian Analisis Penerapan Pemodelan Gerakan Karakter Manusia Pada Animasi 3D Menggunakan <i>Forward Kinematics</i>	12
Tabel 4. 1. Perangkat yang digunakan dalam mengambil video referensi	38
Tabel 4. 2. Perangkat yang digunakan dalam mengambil video referensi	43
Tabel 4. 3. Hasil pengukuran derajat kebebasan sendi.....	48
Tabel 4. 4. Tabel hubungan antar tulang.....	59



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>squash</i>	21
Gambar 2.2. <i>Straight-Ahead Action and Pose to Pose</i>	22
Gambar 2.3. <i>Arcs</i>	23
Gambar 2.4. <i>Articulated Body</i>	25
Gambar 2.5. <i>Revolute joint</i>	25
Gambar 2.6. <i>Prismatic joint</i>	26
Gambar 2.7. <i>End effector</i>	26
Gambar 2.8. Artikulasi.....	27
Gambar 20.....	53
Gambar 3.1. Alur penelitian.....	32
Gambar 3.11. Sketsa proporsi tubuh manusia.....	53
Gambar 3.15. <i>Node view</i> hubungan rig/tulang <i>leg r</i> (kaki kanan).....	56
Gambar 4.1. Video dari arah atas.....	39
Gambar 4. 2. Video dari arah depan.....	40
Gambar 4. 3. Video dari arah samping.....	40
Gambar 4. 4. Sendi manusia yang diukur.....	42
Gambar 4. 5. Pengukuran Derajat.....	43
Gambar 4. 6. Visual derajat sendi peluru tulang bahu.....	44
Gambar 4. 7. Visual derajat sendi engsel siku tangan.....	45
Gambar 4. 8. Visual derajat sendi putar pangkal.....	46

Gambar 4. 9. Visual derajat sendi engsel lutut.....	47
Gambar 4. 10. Karakter animasi 3D yang di <i>download</i> dari situs www.free3d.com	51
Gambar 4. 11. Penerapan karakter pada software <i>Autodesk Maya</i>	52
Gambar 4. 12. Sketsa proporsi tubuh manusia.....	53
Gambar 4. 13. Pencocokan karakter dan tulang rangka manusia.....	54
Gambar 4. 14. Struktur rig/tulang	54
Gambar 4. 15. Layer rig/tulang karakter animasi 3D.....	55
Gambar 4. 16. <i>Node view</i> hubungan rig/tulang <i>leg l</i> (kaki kiri).....	56
Gambar 4. 17. <i>Node view</i> hubungan rig/tulang <i>hand r</i> (tangan kanan).....	57
Gambar 4. 18. <i>Node view</i> hubungan rig/tulang <i>hand l</i> (tangan kiri).....	57
Gambar 4. 19. <i>Node view</i> hubungan rig/tulang <i>chest</i> (dada).....	58
Gambar 4. 20. <i>Node view</i> hubungan rig/tulang <i>neck</i> (leher).....	58
Gambar 4. 21. <i>Node view</i> hubungan rig/tulang <i>head</i> (kepala).....	59
Gambar 4. 22. kontrol karakter animasi 3D.....	60
Gambar 4. 23. <i>Node view</i> hubungan kontrol animasi <i>headpivot01</i> (Kontrol Kepala Utama).....	62
Gambar 4. 24. <i>Node view</i> hubungan kontrol animasi <i>Root</i> (Kontrol Pinggul).....	63
Gambar 4. 25. <i>Node view</i> hubungan kontrol animasi <i>Chest01</i> (Kontrol Dada).....	63
Gambar 4. 26. <i>Node view</i> hubungan control animasi <i>Neck01</i> (Kontrol Leher).....	64
Gambar 4. 27. <i>Node view</i> hubungan control animasi <i>Collar01_L</i> (Kontrol Bahu Kiri)	64

Gambar 4. 28. <i>Node view</i> hubungan control animasi <i>Collar01_R</i> (Kontrol Bahu Kanan)	65
Gambar 4. 29. <i>Node view</i> hubungan control animasi <i>Hand_R_FK</i> (KontrolTangan Kanan Forward Kinematics).....	65
Gambar 4. 30. <i>Node view</i> hubungan control animasi <i>Hand_R_PV</i> (Kontrol Siku Kanan)	66
Gambar 4. 31. <i>Node view</i> hubungan control animasi <i>Hand_L_FK</i> (KontrolTangan Kiri Forward Kinematics).....	67
Gambar 4. 32. <i>Node view</i> hubungan control animasi <i>Hand_L_PV</i> (Kontrol Siku Kiri)	67
Gambar 4. 33. <i>Node view</i> hubungan control animasi <i>Foot_L_FK</i> (Kontrol Kaki Kiri ForwardKinematics).....	68
Gambar 4. 34. <i>Node view</i> hubungan control animasi <i>Foot_R_FK</i> (Kontrol Kaki Kanan Forward Kinematics).....	69
Gambar 4. 35. <i>Node view</i> hubungan control animasi <i>Leg_L_PV</i> (Kontrol Lutut Kiri)	69
Gambar 4. 36. <i>Node view</i> hubungan control animasi <i>Leg_R_PV</i> (Kontrol Lutut Kanan)	70
Gambar 4. 37. <i>Node view</i> hubungan control animasi <i>TRS</i> (Kontrol Skala Karakter 3D).....	71
Gambar 4. 38. <i>Node view</i> hubungan control animasi <i>TR</i> (Kontrol Posisi Karakter 3D).....	71
Gambar 4. 39. Setting sudut derajat min/max tulang bahu kanan dan kiri.....	73

Gambar 4. 40. Setting sudut derajat min/max tulang siku kanan dan kiri.....	74
Gambar 4. 41. Setting sudut derajat min/max tulang pangkal paha kanan dan kiri	75
Gambar 4. 42. Setting sudut derajat min/max tulang lutut kanan dan kiri	76
Gambar 4. 43. Sebelum dan sesudah setting sudut derajat min/max	77
Gambar 4. 44. Proses pengujian gerakan animasi 3D yang dilakukan oleh animator senior MSV	78
Gambar 4. 45. Pose Keyframe Karakter 3D tanpa DoF	79
Gambar 4. 46. Pose Keyframe Karakter 3D menggunakan DoF	79
Gambar 4. 47. Hasil animasi 3D pada Media Player Classic	80
Gambar 4. 48. Proses pengujian gerakan video referensi.....	81
Gambar 4. 49. Proses pengujian gerakan animasi 3D menggunakan DoF.....	81
Gambar 4. 50. Proses pengujian gerakan animasi 3D tanpa DoF	81
Gambar 4. 51. Tampilan tabel hasil pengukuran sudut tangan kanan video referensi	82
Gambar 4. 52. Tampilan tabel hasil pengukuran sudut tangan kiri video referensi	83
Gambar 4. 53. Tampilan tabel hasil pengukuran sudut kaki kanan video referensi	83
Gambar 4. 54. Tampilan tabel hasil pengukuran sudut kaki kiri video referensi .	84
Gambar 4. 55. Tampilan tabel hasil pengukuran sudut tangan kanan video animasi menggunakan DoF	85

Gambar 4. 56. Tampilan tabel hasil pengukuran sudut tangan kiri video animasi menggunakan DoF.....	85
Gambar 4. 57. Tampilan tabel hasil pengukuran sudut kaki kanan video animasi menggunakan DoF.....	86
Gambar 4. 58. Tampilan tabel hasil pengukuran sudut kaki kiri video animasi menggunakan DoF.....	86
Gambar 4. 59. Grafik perbandingan sudut tangan kanan pada gerakan animasi menerapkan kan sudut kebebasan pada sendi (<i>Degrees of Freedom</i>).....	87
Gambar 4. 60. Grafik perbandingan sudut tangan kiri pada gerakan animasi menerapkan sudut kebebasan pada sendi (<i>Degrees of Freedom</i>).....	88
Gambar 4. 61. Grafik perbandingan sudut kaki kanan pada gerakan animasi menerapkan sudut kebebasan pada sendi (<i>Degrees of Freedom</i>).....	89
Gambar 4. 62. Grafik perbandingan sudut kaki kiri pada gerakan animasi menerapkan sudut kebebasan pada sendi (<i>Degrees of Freedom</i>).....	90
Gambar 4. 63. Tampilan tabel hasil pengukuran sudut tangan kanan video animasi tanpa DoF	95
Gambar 4. 64. Tampilan tabel hasil pengukuran sudut tangan kiri video animasi tanpa DoF	95
Gambar 4. 65. Tampilan tabel hasil pengukuran sudut kaki kanan video animasi tanpa DoF	96
Gambar 4. 66. Tampilan tabel hasil pengukuran sudut kaki kiri video animasi tanpa DoF	96

Gambar 4. 67. Grafik perbandingan sudut tangan kanan pada gerakan animasi tanpa menerapkan sudut kebebasan pada sendi (<i>Degrees of Freedom</i>).....	97
Gambar 4. 68. Grafik perbandingan sudut tangan kiri pada gerakan animasi tanpa menerapkan sudut kebebasan pada sendi (<i>Degrees of Freedom</i>).....	98
Gambar 4. 69. Grafik perbandingan sudut kaki kanan pada gerakan animasi tanpa menerapkan sudut kebebasan pada sendi (<i>Degrees of Freedom</i>).....	99
Gambar 4. 70. Grafik perbandingan sudut kaki kiri pada gerakan animasi tanpa menerapkan sudut kebebasan pada sendi (<i>Degrees of Freedom</i>).....	100



INTISARI

Penelitian dengan judul “Analisis Penerapan Pemodelan Gerakan Karakter Manusia Pada Animasi 3D Menggunakan Forward Kinematics” bertujuan untuk mengetahui bagaimana tingkat akurasi, tingkat efektivitas serta menemukan batas limit pergerakan sendi animasi manusia dalam membuat animasi yang telah di tentukan dengan metode Forward Kinematics.

Referensi animasi yang digunakan adalah dengan pergerakan tendangan Taekwondo yaitu jump kick atau “*Twieo Ap Chagi*”. Dalam studi ini penulis akan mencari parameter pergerakan beladiri jump kicks animasi 3dimensi menggunakan metode Forwards Kinematics dengan berdasar literatur tentang anatomi tubuh manusia. Dalam studi ini animator akan menguji ketepatan pergerakan animasi dengan pergerakan manusia aslinya. Animator dapat menjadikan penelitian ini sebagai acuan untuk pergerakan animasi dengan metode Forwards Kinematics

Berdasarkan hasil implementasi Penggunaan metode forward kinematics dapat diterapkan pada pembuatan animasi 3D gerakan manusia dengan tingkat akurasi kemiripan yang baik pada bagian kaki maupun tangan gerak beladiri taekwondo jump kick “*Twieo Ap Chagi*” Sehingga dapat terlihat natural sesuai dengan anatomi tubuh manusia. Walaupun akurasi di bagian tangan tidak seakurat bagian kaki. Jika menerapkan sudut derajat kebebasan pada beberapa sendi dengan menggunakan metode forward kinematics memiliki pengaruh yang tidak cukup signifikan pada akurasi gerak yang dihasilkan dengan menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi dan tidak menerapkannya, namun dalam prosesnya animator membutuhkan waktu lebih lama dalam melakukan pergerakan pada penganimasian karakter animasi 3D manusia tersebut, dikarenakan gerakan yang menjadi terbatas jika menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi.

Kata kunci: Forward Kinematics, Kinematics, Efektifitas, 3D, Animasi.

ABSTRACT

Research with the title "Analysis of the Application of Human Character Movement Modeling in 3D Animation Using Forward Kinematics" aims to find out how the level of accuracy, level of effectiveness and find the limits of the movement of human animation joints in making animation that has been determined by the Forward Kinematics method.

The animated reference used is the Taekwondo kick movement, which is the jump kick or "Twieo Ap Chagi". In this study, the writer will look for the parameters of the 3d dimensional martial jump kicks movement using the Forwards Kinematics method based on literature on the anatomy of the human body. In this study the animator will test the accuracy of the animation's movements with the original human's movements. Animators can make this research as a reference for animation movement with the Forwards Kinematics method

Based on the implementation results the use of the forward kinematics method can be applied to making 3D animations of human movements with a good degree of accuracy in both the legs and hands of the taekwondo jump kick self-defense "Twieo Ap Chagi" so that it can look natural according to the anatomy of the human body. Although the accuracy in the hands is not as accurate as the legs. If applying degrees of freedom to a number of joints using the forward kinematics method has insignificant influence on the accuracy of the motion produced by applying degrees of freedom to the joints and not applying them, but in the process the animator requires more time to make moves on animating animated characters 3D human, due to the movement that becomes limited if applying the degree of freedom in the joints.

Keywords: Forward Kinematics, Kinematics, Effectiveness, 3D, Animation.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Saat ini, animasi khususnya animasi digital yang dibuat pada umumnya sudah menggunakan bantuan dari komputer telah menjadi salah satu industri yang paling menguntungkan dengan angka pertumbuhan yang tinggi di setiap tahunnya. Hal ini dapat dilihat dari keberadaan animasi yang dapat ditemukan dengan mudah dalam kehidupan sehari-hari (Ferguson, 2010), mulai dari serial televisi (*The Simpsons, Family Guy, South Park*), iklan, video musik, permainan video/komputer (*Super Mario Bros, Battlefield, Final Fantasy*), dan film animasi (berdurasi pendek ataupun layar lebar seperti *Moana, Toy Story, Frozen*).

Semakin berkembangnya industri hiburan, semakin canggih komputer yang digunakan. Pembuatan film animasi merupakan salah satu pendorong industri hiburan untuk mengembangkan teknologi mereka. Pembuatan film animasi memberikan keuntungan yang cukup signifikan bagi perusahaan, salah satunya perusahaan Walt Disney yang mendapat pendapatan sebesar \$7,593,287,504 dari penjualan film animasinya sampai tahun 2016 lalu. (sumber :[http:// www.the-number.com](http://www.the-number.com), 2017).

Animasi juga dapat ditemukan dalam beberapa situs web, dan pemanfaatannya telah meluas ke berbagai bidang seperti arsitektur, edukasi, kesehatan, hingga simulasi militer yang dapat menunjukkan bahwa animasi telah jauh berkembang sejak film animasi pertama diciptakan pada tahun 1928. Bahkan pada tahun 2015, industri animasi global mendapatkan total keuntungan hingga

mencapai \$244 billion, atau sekitar Rp. 3.301,5 triliun yang sebagian besar berasal dari Negara Amerika, Canada, Jepang, China, Perancis, Inggris, Korea dan Jerman. (sumber: [http:// www.researchandmarkets.com](http://www.researchandmarkets.com), 2017).

Sampai saat ini di Indonesia sendiri mulai mengembangkan film animasi sebagai industri hiburan tanah air, namun Indonesia belum banyak berkontribusi untuk segemen global karna keterbatasan waktu dan biaya produksi yang belum memungkinkan (sumber: Rencana Pengembangan Animasi Nasional 2015-2019). Meskipun Indonesia belum banyak berkontribusi di dunia global, namun dalam dunia industry animasi telah terdapat peningkatan sebesar 6.68%.(sumber: Data Statistik dan Hasil Survei Ekonomi Kreatif, 2017).

Animasi dalam bentuk film selama perkembangannya, dapat terbagi menjadi beberapa jenis, namun jenis yang paling umum digunakan adalah animasi dan animasi 3D (Mahinder, 2016). Pada animasi 2D, objek digambar dalam bentuk datar/flat karena hanya mempunyai 2 koordinat/dimensi yaitu horizontal axis (X) dan vertical axis (Y), sedangkan animasi 3D mempunyai 3 koordinat yaitu X, Y dan Z dimana hal ini membuat objek 3D memiliki volume/kedalaman/depth sehingga dapat dilihat dari segala arah.

Kelebihan dari animasi 3D dimana proses pembuatan animasi membutuhkan waktu yang lebih cepat karena karakter yang digunakan telah diberi rig (tulang) terlebih dahulu sebelum tahap penganimasian dimulai, sehingga pada tahap tersebut karakter dapat digerakkan sesuai keinginan dengan lebih mudah dan cepat. Berbeda dengan animasi 2D yang membutuhkan waktu lebih lama karena

dibuat secara frame by frame dan gambar yang telah dibuat sebelumnya tidak dapat dipergunakan kembali di kemudian hari.

Akan tetapi proses penganimasian karakter 3D tidaklah selalu cepat, karena sering sekali terkendala ditahap penganimasian yang diakibatkan dari kerumitan atau ketidakberaturannya fungsi dari tiap rig pada objek karakter 3D, oleh karena itu dibutuhkan tahap pembuatan rig yang tepat untuk mendukung proses penganimasian yang lebih efisien dari segi proses dan waktunya.

Dari permasalahan tersebut, melalui penelitian ini penulis akan fokuskan kepada salah satu tahapan pembuatan animasi 3D yaitu rigging yang menggunakan teknik penganimasian rig/bone dalam animasi 3D telah dikenal sebagai Kinematics.

Kinematics (Kinematik) pada dasarnya merupakan ilmu yang mempelajari tentang pergerakan sebuah benda tanpa memperhitungkan gaya yang menyebabkan gerakan. Terdapat dua jenis kinematics yaitu *Forward kinematics* dan *Inverse kinematics*. *Forward kinematics* hanya dapat mengontrol posisi setiap ruas secara tidak langsung dengan cara menentukan sudut rotasi dari sendi di antara pangkal dan ujung efektor, sehingga kelemahan dari metode ini adalah animator harus mengatur sudut sendi terlebih dahulu untuk membentuk suatu pose gerakan. Sebaliknya, dengan *inverse kinematics* penempatan ujung efektor dapat dikendalikan secara langsung dengan memecah sudut sendi yang dapat menempatkannya pada lokasi yang diinginkan (Ge, 2000).

Metode *kinematics* merupakan metode yang sesuai untuk digunakan pada animasi yang mempunyai articulated body atau bagian yang saling tersambung sehingga membentuk suatu kerangka. Salah satu objek yang dapat menggambarkan

bentuk tersebut yaitu manusia, yang mempunyai bagian-bagian tubuh yang saling terhubung satu sama lain dan dihubungkan dengan sendi-sendi, sehingga jika terjadi pergerakan dari sendi tersebut maka bagian lain yang terhubung juga akan mengalami perubahan posisi yang kemudian menghasilkan suatu model gerakan.

Dalam animasi, manusia merupakan salah satu karakter yang paling sulit untuk dianimasikan secara meyakinkan (Roberts, 2013) karena setiap bagian tubuhnya bergerak sesuai dengan anatomi terutama oleh sistem kerangka yang saling dihubungkan dengan sendi sehingga setiap pergerakan yang dianimasikan harus dilakukan secara akurat dan mendetail. Dalam *kinesiology/biomechanics*, yaitu ilmu yang mempelajari tentang gerak tubuh manusia, terdapat empat gerakan-gerakan persendian secara umum (Napitulu, 2007) yang sering dilakukan oleh manusia. Semakin kompleks gerakan yang dilakukan maka semakin lama waktu yang dibutuhkan dalam membuat animasi.

Oleh karena itu, dibutuhkan suatu metode yang menjadikan proses pergerakan akurat pada karakter. Pada penelitian ini, penulis mencoba untuk memberikan solusi terhadap permasalahan yang telah dijabarkan di atas yaitu dengan membuat pemodelan gerakan yang umum dilakukan oleh karakter manusia sebagai sampel ke dalam animasi 3D menggunakan metode *inverse kinematics*.

Dalam penelitian ini, penulis merujuk beberapa penelitian sebelumnya yang membahas tentang topik yang berkaitan dengan penelitian yang akan penulis lakukan. Penelitian tersebut diantaranya yaitu: penelitian dari Annisa Rahayu Pangesti yang melakukan penelitian untuk menghasilkan model gerakan animasi 2D yang menerapkan metode *inverse kinematics* untuk pemodelan gerakan karakter

manusia serta menentukan sudut derajat kebebasan pada beberapa sendi (Pangesti, 2019).

Penelitian dari Lalu Agam Pramadya Syalabi yang bertujuan untuk menerapkan pengembangan fitur Quick Rig pada Autodesk Maya, penelitian tersebut menerapkan metode *invers kinematics* dan *forward kinematics* pada objek animasi 3D yang diterapkan, serta menguji tingkat efisiensi waktu.

Kemudian penelitian dari Agung Dwi Saputro yang bertujuan untuk menerapkan metode *inverse kinematics* dalam objek animasi hewan ular 3D, menentukan sudut gerak pada animasi tersebut pada setiap ruas tulang ular (Saputro, 2018). Penelitian dari Niki Hardinata yang bertujuan untuk menerapkan metode *inverse kinematics* dalam animasi 2D dengan menggunakan hewan felidae sebagai objeknya (Hardinata, 2017). Penelitian dari Muga Linggar Famukhit yang melakukan penelitian untuk menerapkan metode *inverse kinematics* pada hewan kepiting yang berupa simulasi 3D (Famukhit, 2016). Kemudian penelitian dari Guanze Liao, yang bertujuan untuk membuat animasi pendek dengan menggunakan metode *inverse kinematics* (Liao, 2017).

Dari penelitian-penelitian tersebut, metode *inverse kinematics* akan diterapkan pada animasi 3 Dimensi yang diharapkan dapat memberikan tingkat akurasi yang lebih akurat terhadap proses penganimasian, dengan memperhatikan parameter pada gerak sendi maksimal manusia yang didapatkan dari studi literatur, kepustakaan dan observasi. Sehingga gerak animasi yang dihasilkan nantinya diharapkan bisa seperti gerak akurat manusia pada umumnya, pengujian untuk gerak animasi sendiri berupa gerakan salah satu gerak beladiri yaitu *jump kicks*.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dijabarkan di atas, maka didapatkan rumusan masalah yang akan diberi solusinya pada penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

- a. Apa saja parameter untuk membuat animasi 3D karakter manusia memiliki gerak yang natural menggunakan metode *Forward Kinematics*?
- b. Apa pengaruh gerak animasi 3Dimensi dengan menggunakan karakter manusia, jika menerapkan derajat sendi dengan menggunakan metode *forward kinematics*?
- c. Bagaimana tingkat natural animasi 3Dimensi Karakter manusia yang dihasilkan jika menggunakan metode *forward kinematics*?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Menggunakan jenis animasi 3 Dimensi.
2. Menggunakan metode *forward kinematics*.
3. Menggunakan model karakter manusia di ambil dari *bananacake* pada situs free3d.com.
4. Menggunakan Autodesk Maya 2017 dalam pengujian animasi.
5. Menggunakan gerakan animasi beladiri "*jump kicks*" yang di peragakan oleh professional beladiri guna sebagai video referensi
6. Pergerakan yg di gunakan sebagai bahan Uji adalah *Twieo Ap Chagi*
7. Pergerakan dilakukan oleh atlit professional beladiri taekwondo dengankondisi fisik yang baik dan tanpa cacat

8. Sendi manusia yang terlibat dalam pergerakan animasi yaitu sendi yang termasuk dalam sendi mati (*sinarthrosis*), sendi kaku (*amfiarthrosis*) dan sendi gerak (*diarthrosis/synovial*).
9. Pergerakan dilakukan oleh professional atlit dengan range umur 20-30 tahun.
10. Menguji seberapa natural pergerakan pada animasi 3D karakter manusia.
11. Konteks natural menurut Intan Laila Sari seorang animator professional, paramaternya ialah memperhatikan prinsip-prinsip animasi tersebut yang diantaranya ialah *timing and spacing*, *pose to pose*, *anticipation*, *follow through and overlapping action*, *slow in and slow out*, *arcs*, dan *secondary action*. Serta gerak referensi berupa video untuk mendapatkan hasil yang natural yang ditunjang dengan *rigging* karakter, baik menggunakan *forward kinematics* maupun *Invers kinematics*.
12. Hanya diujikan dengan Karakter 3 Dimensi manusia
13. Penerapan metode *forward kinematics* hanya pada bagian tangan, kaki dan pinggul karakter animasi 3D
14. Uji coba animasi dilakukan oleh animator professional.
15. Dalam kriteria pengujian yaitu memperhitungkan tingkat akurasi hasil gerak animasi 3D karakter manusia dengan referensi gerakan video *liveshoot*.
16. Menggunakan software *ImageJ* untuk mengukur sudut drajat kebebasan.
17. Prinsip animasi *Exaggeration* dan *Appeal* tidak di perhitungkan dalam penelitian ini.
18. Pengukuran akurasi gerak animasi menggunakan fitur *measure tool* pada software *Tracker*, yaitu fitur *Protractor*.

19. Menentukan dasar tolak ukur kebebasan sendi, dengan menggunakan studi observasi, literatur dan kepustakaan.
20. Bagian sendi yang diuji ialah sendi peluru pada bahu kiri dan kanan, sendi engsel pada siku kiri dan kanan, sendi peluru pada paha kiri dan kanan, serta sendi engsel pada lutut kiri dan kanan

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian sebagai berikut:

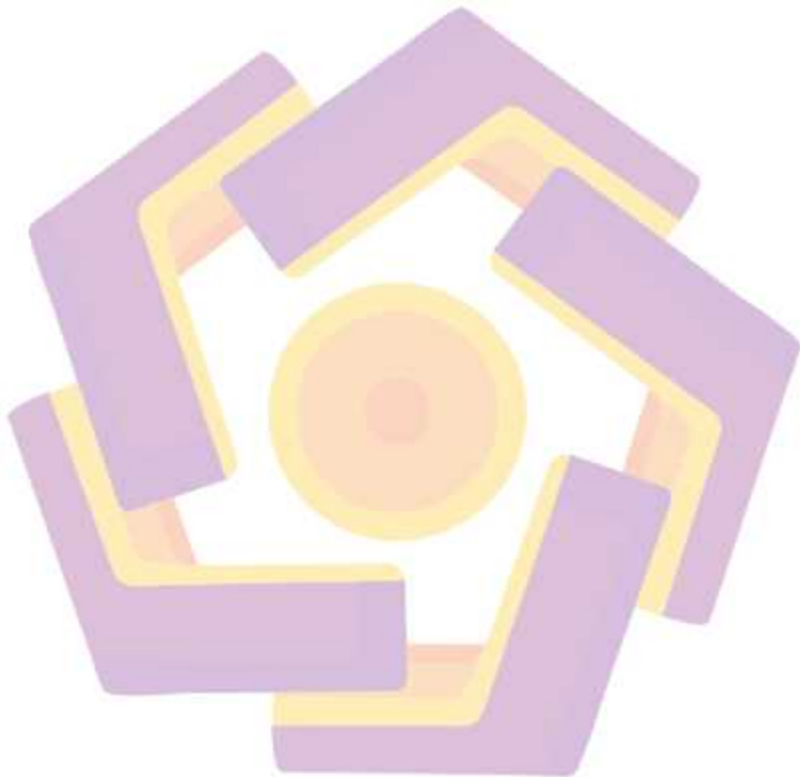
- a. Mengetahui bagaimana menghasilkan gerakan animasi 3D yang sesuai dengan gerakan natural pada manusia dengan menerapkan metode *forward kinematics*.
- b. Mengetahui berapa tingkat natural animasi 3D karakter manusia yang dihasilkan menggunakan metode *forward kinematics*.
- c. Memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Studi di Magister Teknik Informatika Universitas AMIKOM Yogyakarta.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang akan didapat dari penelitian ini sebagai berikut:

- a. Secara teori, penelitian ini dapat memberikan pengetahuan mengenai pergerakan animasi 3D karakter manusia dengan menggunakan metode *forward kinematics* dengan mengetahui batasan-batasan drajat sudut dalam Gerakan animasi.
- b. Secara praktis, penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi dalam melakukan penelitian lanjutan atau pembuatan animasi dengan metode *Forward Kinematics* yg berkaitan dengan sendi.

- c. Bagi animator, metode yang digunakan dalam penelitian ini dapat memberikan solusi agar pembuatan animasi 3D dapat lebih natural dengan memperhatikan sudut kebebasan sendi sesuai anatomi pada manusia sehingga terlihat natural.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian Annisa Rahayu Pangesti (2019) mengenai analisis penerapan metode Inverse Kinematics dengan karakter 2 dimensi. Penelitian ini membahas bagaimana untuk menghasilkan Gerakan animasi 2 dimensi dengan natural dan menghitung berapa akurasi yang didapat.

Penelitian H. van Welbergen (2009) yang membahas mengenai pembuatan animasi secara real time. Dengan metode yang di gunakan, penulis dalam penelitian tersebut menghitung tingkat kenaturalan animasi itu sendiri tetapi secara realtime, kemudian penulis juga menambahkan control animasi sehingga lebih mudah dalam menganimasikan.

Penelitian Saputro (2018) yang membahas bagaimana penerapan metode *inverse kinematics* pada simulasi gerak hewan ular yang kemudian menghitung besar derajat pada pergerakan setiap ruas tulang hewan ular (Saputro, 2018). Penelitian tersebut mendorong penulis untuk bisa menentukan sudut pergerakan yang tepat pada objek karakter manusia 3D sehingga dapat memudahkan dalam proses penganimasian.

Penelitian Famukhit (2016) membahas tentang pembuatan simulasi gerak keping menggunakan metode inverse kinematik. Pada penelitian tersebut, peneliti membuat animasi 3D dari hewan keping berdasarkan analisa yang telah dilakukan terhadap hewan tersebut (Famukhit, 2016). Pada penelitian ini, penulis menerapkan

metode inverse kinematics pada animasi 3D sehingga tahap yang dilakukan hampir sama dengan penelitian tersebut.

Penelitian dari Daniel João Bandim Faustino (2016) menjelaskan terkait dengan pembuatan animasi pemain sepakbola berdasarkan dari tracking data posisi. Yang membedakan dengan penelitian ini adalah media yang digunakan menggunakan *motion capture*. Dengan tujuan untuk mensimulasikan pergerakan pemain sepak bola. Penelitian yang disampaikan oleh Daniel ini menghasilkan keakuratan antara simulasi dengan aslinya.

Penelitian Duits et al (2015) menjelaskan tentang teknik untuk menyempurnakan metode inverse kinematics untuk jari manusia. Peneliti membuat sebuah solusi dengan algoritma closed-form yang dapat memberikan posisi yang akurat ketika model gerakan jari manusia digerakkan. (Duits, 2015). Pada peneltentuitian tersebut metode inverse kinematics diterapkan pada jari manusia yang juga mempunyai sendi-sendi yang terhubung dan membentuk sudut tertentu ketika digerakkan.

2.2. Keaslian Penelitian

Tabel 2. 1. Matriks literatur review dan posisi penelitian
Analisis Penerapan Pemodelan Gerakan Karakter Manusia Pada Animasi 3D Menggunakan *Forward Kinematics*

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
1	Analisis Penerapan Metode Inverse Kinematics Untuk Pemodelan Gerakan Karakter Manusia Pada Animasi 2 Dimensi	Annisa Rahayu Pangesti, Tesis, Program Pascasarjana Universitas AMIKOM Yogyakarta, 2019	<p>1. Mengetahui bagaimana menghasilkan gerakan animasi 2D yang sesuai dengan gerakan natural pada manusia dengan menerapkan metode inverse kinematics.</p> <p>2. Mengetahui berapa akurasi animasi 2D karakter manusia yang dihasilkan menggunakan metode inverse kinematics.</p>	<p>1. Penggunaan metode inverse kinematics dapat diterapkan pada pembuatan animasi 2D gerakan manusia dengan tingkat akurasi kemiripan yang baik sehingga dapat terlihat natural sesuai dengan anatomi tubuh manusia.</p> <p>2. Gerakan animasi 2D manusia yang dibuat menggunakan metode inverse kinematics tidak hanya dapat dibuat dari arah samping tetapi dapat juga dikembangkan menjadi gerakan memutar seolah mempunyai Z axis seperti animasi 3D.</p>	<p>1. Model gerakan tidak hanya terbatas pada gerakan berjalan dan berlari, tetapi juga berbagai gerakan karakter manusia lainnya.</p> <p>2. Pembuatan gerakan animasi dapat dikembangkan dengan menggunakan dua metode seperti inverse kinematics dan forward kinematics</p>	Perbedaan antara penelitian tersebut dengan penelitian yang akan penulis lakukan adalah perbedaan dari metode yang di gunakan yaitu invers dan forward kinematics, selain itu objek yang di gunakan menggunakan objek 2D sedangkan penulis yang akan melakukan penelitian menggunakan objek 3D
2	Real Time Animation of Virtual Humans:	J. H. van Basten2 A. Egges2 Zs.	Tujuan penelitian ini adalah membuat bagaimana animasi 3 dimensi terlihat	Kesimpulan emtode ini dapat berkontribusi pada animasi dapat dikendalikan sepenuhnya. sistem yang	Apabila karakter mempunyai ukuran yang besar ditambahkan lagi	Perbedaan yang mendasar dengan penelitian ini adalah dari metode pengerjaannya, penulis dalam penelitian

Tabel 2.1 (Lanjutan)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
	A Trade-off Between Naturalness and Control	Ruttkay1 M. H. Overmars2	natural dengan realtime.	menghasilkan gerakan alami secara real-time. Arus teknik menawarkan pertukaran antara kontrol, kealamian dan waktu perhitungan. Trade-off yang dipilih tergantung pada aplikasi domain. Teknik pengeditan gerak menggunakan detail gerakan ditangkap atau bakat animator terampil, tetapi mereka memungkinkan sedikit penyimpangan dari contoh yang diambil dan dapat kekurangan realisme fisik.	control sehingga animator lebih mudah dalam menganimasikan karakter	tersebut membuat animasi dengan realtime dan menghitung tingkat keaturalannya
3	Simulasi Gerak Ular Menggunakan Metode Inverse Kinematics	Agung Dwi Saputro, M. Suyanto, Sukojo, Jurnal Informasi Interaktif Vol.3 No.2, 2018	Penelitian tersebut bertujuan untuk: 1. mencari pola pada pergerakan objek animasi 3D hewan ular. 2. Menentukan sudut kebebasan pada gerak objek animasi 3D hewan ular.	Dari hasil penelitian yang dilakukan, penulis mengambil kesimpulan sebagai berikut : 1. Pola gerak ular yang didapat berbentuk kurva atau huruf S 2. Besar sudut kebebasan tulang (degrees of freedom) setiap ruas tulang ular king snake adalah 8,6° untuk	Pada penelitian tersebut Simulasi gerak ular dibuat tidak hanya dengan menggunakan satu metode saja, akan tetapi bisa dengan menambahkan metode lain seperti forward kinematik	Perbedaan terletak pada penerapan objek 3D, objek 3D yang digunakan pada penelitian tersebut berupa hewan ular. Selain itu, gerakan pada penelitian yang akan penulis buat akan melibatkan besar sudut kebebasan tulang pada ruas tulang karakter manusia.

Tabel 2.1 (Lanjutan)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
			3. Menerapkan metode inverse kinematic pada simulasi gerak berjalan hewan ular 3D	arah kiri dan kanan, sedangkan untuk arah atas dan bawah sebesar $5,6^\circ$ 3. Metode inverse kinematik dapat diterapkan dalam pembuatan simulasi gerak berjalan ular 3D.		
4	Simulasi Gerak Kepiting Menggunakan Metode Inverse Kinematics	Maga Linggar Famukhit, Journal Sentra Penelitian Engineering dan Edukasi (Speed) Vol.8 No.2, 2016	Tujuan dari penelitian tersebut yaitu sebagai berikut: 1. Mengetahui derajat kebebasan tulang-tulang hewan kepiting untuk diterapkan dalam karakter animasi 3D 2. Menghasilkan pola gerak hewan kepiting untuk diterapkan dalam animasi 3D	1. Sudut derajat kebebasan tulang (<i>Degrees of Freedom</i>) kepiting berjenis Parathelphusa Convexa, kaki nomor 1, 2, 3, 4 ke arah depan adalah 70° , 50° , 40° , 50° , ke arah belakang 20° , 40° , 50° , 70° , ke arah atas 50° , 70° , 60° , 60° , dan ke arah bawah 30° , 50° , 40° , 30° . 2. Tercipta pola gerakan jalan hewan kepiting yaitu dua kaki ganjil (1,3) pada sisi kanan berpasangan dengan kaki genap (6,8) pada sisi kiri dan kaki genap (2,4) pada sisi kanan berpasangan dengan kaki ganjil (5,7) pada sisi kiri.	Hasil akhir dari penelitian tersebut yaitu berupa sebuah simulasi gerakan berjalan dari satu jenis kepiting, yaitu Parathelphusa Convexa, sehingga dalam tahap pembuatannya, pergerakan animasi tidak dapat digunakan kembali untuk karakter yang berbeda. Saran untuk penelitian ini yaitu adanya penambahan gerakan dengan jenis kepiting yang berbeda, sehingga selain mendapatkan model	Pada penelitian yang akan penulis lakukan, hasil animasi dari pergerakan obyek yang diamati, dalam hal ini manusia, dapat digunakan kembali dengan karakter yang sama atau pun karakter yang berbeda. Hal ini bertujuan untuk mempermudah animator dalam proses produksi agar dapat membuat animasi dengan lebih cepat.

Tabel 2.1 (Lanjutan)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
					gerakan dari berbagai macam keping, juga dapat mengetahui perbedaan gerak jalan dari masing-masing jenis keping.	
5	Beyond Mocap Animating Soccer Players Based on Positional Tracking Data	Daniel João Bandim Faustino	<p>1. Sejauh mana kita dapat mensintesis animasi untuk pemain sepak bola virtual melalui penggunaan penangkapan gerak dan data pelacakan posisi yang lebih realistis daripada solusi saat ini?</p> <p>2. Sejauh mana kita bisa mengotomatiskan proses sehingga dibutuhkan waktu lebih sedikit untuk mendapatkan animasi untuk</p>	Beyond Mocap adalah kerangka kerja sintesis gerakan offline berbasis data otomatis, yang tidak memerlukan input pengguna untuk sintesis itu sendiri. Gerakan yang disintesis menghormati kendala posisi yang disediakan oleh data pelacakan posisi, dengan margin kesalahan tertentu meskipun dengan hasil yang lebih baik untuk momen-momen penting. Momen-momen penting ini didefinisikan sebagai batasan bingkai dan disediakan oleh pengguna melalui sistem anotasi. Melalui sistem anotasi, Beyond Mocap juga memastikan batasan bingkai	Orientasi gerakan untuk gerakan yang disintesis tidak ideal karena diperoleh dari data pelacakan posisi. Informasi mengenai arah menghadap pemain sepak bola tidak disediakan, dan koordinat posisi juga tidak dilacak secara terperinci, menyebabkan data menjadi agak berisik. Karena rotasi dihitung dari perbedaan antara koordinat posisi, ini dapat menyebabkan karakter dalam gerakan yang disintesis berputar secara tidak realistis. Akibatnya,	Perbedaan yang mendasar dengan penelitian ini adalah alat untuk menguji menggunakan motion capture. Selain itu penulis dalam penelitian ini membuat otomatisasi alat sehingga akurasi yang di hasilkan bisa lebih optimal dari segi waktu

Tabel 2.1 (Lanjutan)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
			<p>pemain sepak bola virtual daripada solusi saat ini?</p>	<p>ini terjadi pada cap waktu yang ditentukan pengguna. Gerakan yang disintesis oleh Beyond Mocap lebih terlihat realistis dan memiliki tingkat kealamian yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan gerakan dalam solusi saat ini yang digunakan oleh Beyond Sports, sebagian karena minimisasi seluncur kaki serta transisi yang lebih mulus antara gerakan yang berbeda. Meskipun proses sintesis membutuhkan waktu lebih lama bila dibandingkan dengan solusi saat ini, ini kurang penting karena animasi yang dihasilkan lebih alami. Waktu yang diperlukan untuk membubuhi keterangan gerakan yang akan disintesis secara signifikan lebih rendah, namun, memungkinkan algoritma untuk dijalankan di latar belakang sementara</p>	<p>gerakan yang memerlukan karakter virtual untuk bergerak ke arah yang berbeda dari arah yang menghadap, seperti kiper atau gerakan "berjalan mundur", tidak didukung oleh pendekatan kami. Pendekatan yang dijelaskan dipilih karena kesederhanaannya dan dapat dilengkapi dengan beberapa teknik lain untuk memperoleh lebih banyak variasi dalam gerakan hasil akhir serta tingkat realisme yang lebih tinggi. Adaptasi gerak (Bab 2.2.1) dapat diterapkan pada klip mocap individu untuk mendapatkan anggota pemain sepak bola virtual mencapai posisi</p>	

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
				pengguna melakukan tugas-tugas lain.	yang benar di mana titik kontak seharusnya, yang memungkinkan, misalnya, untuk tendangan pada ketinggian yang diinginkan	
6	A Closed-Form Solution for Human Finger Positioning	Roel Duits, Arjan Egges dan A. Frank van der Stappen, 2015	Membuat sebuah solusi dengan algoritma <i>closed-form</i> yang dapat memberikan posisi yang akurat ketika model gerakan jari manusia digerakkan sesuai dengan arahan posisi yang diinputkan oleh user.]	Pada penelitian tersebut menghasilkan sebuah solusi untuk permasalahan dalam metode <i>inverse kinematics</i> dengan menggunakan penyelesaian <i>closed-form</i> yang diambil dari metode <i>Forward kinematics</i> . Kesimpulan yang dihasilkan adalah bahwa dengan menggunakan solusi tersebut maka para animator akan lebih mudah dalam membuat animasi gerakan jari tangan dengan gerakan yang tepat sesuai dengan posisi yang diinputkan oleh user.	Kelemahan pada penelitian tersebut yaitu jika animasi yang dibuat membutuhkan gerakan yang lebih kompleks maka metode yang digunakan perlu digabungkan dengan metode lainnya sehingga solusi yang didapatkan akan lebih baik.	Metode <i>inverse kinematics</i> yang digunakan dalam penelitian tersebut digunakan dalam menentukan posisi yang tepat sesuai dengan titik yang diinputkan oleh user, sedangkan pada penelitian yang akan penulis lakukan, metode <i>inverse kinematics</i> akan digunakan dalam pergerakan animasi karakter manusia dengan menggerakkan bagian-bagian dari tubuh untuk menghasilkan gerakan yang diinginkan.

2.3. Landasan Teori

2.3.1. Animasi

Animasi berasal dari kata animate dalam bahasa Inggris, dan animare dalam bahasa Latin, yang mempunyai arti “menghidupkan” (Wright, 2005). Animasi merupakan sebuah proses penggambaran dan pemotretan karakter –manusia, hewan, atau benda mati- dalam pose yang sukses sehingga membuatnya terlihat hidup (Blair, 1994). Animasi juga dapat diartikan sebagai proses dalam membuat sebuah ilusi gerakan dan perubahan dengan cara menampilkan urutan Gambar statis yang minimal berbeda satu sama lain dengan cepat (Tian, 2016). Selama perkembangannya, animasi mengalami perubahan seiring dengan adanya teknologi komputer, sehingga membuat animasi terbagi menjadi 2 jenis yaitu animasi tradisional dan animasi komputer

1. Animasi 2 Dimensi

Animasi 2D merupakan animasi yang terdiri dari dua dimensi/ukuran yaitu panjang (X-axis) dan lebar (Y-axis) yang dibuat dengan menggambar setiap pergerakan dari objeknya secara langsung di komputer dengan basis 2D bitmap graphics atau 17 2D vector graphics menggunakan bantuan teknologi seperti pentablet/digitizer. Animasi 2D juga termasuk versi komputerisasi otomatis dari teknik animasi tradisional seperti tweening, morphing, onion skinning, dan rotoscoping. Tahap produksi dari animasi 2D dilakukan dengan cara frame by frame yaitu dengan menggambarkan setiap perubahan gerak dari suatu objek di setiap frame, dimana setiap detik terdiri dari beberapa frame yang berurutan yang mempunyai satuan yaitu frame per second (fps). Biasanya animasi 2D mempunyai fps yang sering

digunakan yaitu sebesar 12 atau 24 fps. Semakin besar nilai fps pada animasi, semakin halus pergerakan animasi tersebut dan semakin banyak Gambar yang dibutuhkan.

2. Animasi 3 Dimensi

Animasi 3D merupakan pengembangan dari animasi 2D. Disebut animasi 3 dimensi karena jenis animasi ini memiliki sifat kedalaman/ruang pada objeknya.

Penggunaan perangkat lunak membuat visual nyata dalam sudut pandang panjang (X-axis), lebar (Y-axis) dan ruang (Z-axis). Animasi 3D juga dapat di definisikan sebagai animasi yang dapat dilihat dari berbagai sudut pandang (Point of View) sehingga terlihat semakin hidup dan nyata, mendekati wujud aslinya. Seluruh tahapan animasi 3D dikerjakan dengan media komputer, mulai dari modeling, texturing, lighting sampai rendering.

3. Metode Animasi 3 Dimensi

Metode dalam penganimasian ada 2 jenis yaitu *forward* dan *Invers kinematics*. *Forward Kinematics* adalah teknik penganimasian menggunakan cara langsung pada tiap sendinya untuk mencapai gerakan tertentu. sedangkan *Invers Kinematics* adalah teknik yang digunakan dalam model animasi kompleks dan rig gerak dengan sejumlah sendi. Perbedaan mendasar dengan *Forward Kinematics*, *Invers kinematics* ditentukan dari pergerakan tulang berdasarkan sudut akhir dari beberapa sendi yang mendefinisikan gerakan.

4. Karakter Animasi

Karakter animasi merupakan tiruan atau bentuk representatif dari modeling yang akan di animasikan. Karakter sendiri ada 2 macam yaitu karakter 2D dan karakter 3D. Jika karakter 2D bisa dibuat hanya dengan menggambar saja tetapi karakter 3D hanya bisa di buat dengan software 3D

5. Gerakan animasi

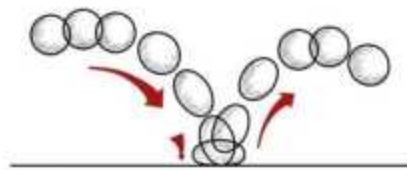
Gerakan animasi adalah proses Bergeraknya Karakter yang sudah di desain atau di rancang. Tahap gerakan animasi ini ada di step selanjutnya setelah pembuatan karakter

2.3.2. Prinsip-prinsip animasi

Menurut dua orang animator profesional (Thomas & Johnston, 2011,19), memberikan contoh tentang 12 prinsip animasi yang diadopsi dari animasi produksi Walt Disney. Ke-12 prinsip animasi tersebut sebagai berikut :

2.3.2.1 Squash and Stretch

Squash and stretch adalah upaya penambahan efek lentur pada objek atau figur sehingga memberikan efek gerak yang lebih hidup.. Prinsip ini telah dijadikan sebuah tes standar bagi semua animator pemula dengan menggambarkan sebuah pergerakan bola yang memantul. Prinsip *Squash and Stretch* juga sangat berguna untuk menganimasikan dialog dan ekspresi wajah.



Gambar 2.1. *squash*

2.3.2.2 Anticipation

Anticipation adalah persiapan sebelum aksi, yang diikuti oleh sebuah aksi, kemudian penyelesaian dari aksi tersebut. Hal ini dapat membangkitkan ketegangan atau kelucuan pada suatu aksi tertentu.

2.3.2.3 Staging

Staging dalam animasi meliputi bagaimana lingkungan dibuat untuk mendukung suasana atau yang ingin dicapai dalam sebagian atau keseluruhan scene. Biasanya berkaitan dengan posisi kamera pengambilan gambar. Termasuk ke dalamnya ekspresi yg ingin ditampilkan, mood yang ingin dibentuk, semua dapat dikomunikasikan dengan baik kepada penonton bila semua dibentuk dalam penataan gerak yang tepat dan jelas. Memahami konsep staging akan membantu animator untuk berkomunikasi dengan penonton.

2.3.2.4 Straight-Ahead Action and Pose to Pose

Straight Ahead Action dua cara yang bisa dilakukan untuk membuat animasi. Yang pertama adalah Straight Ahead Action, yaitu membuat animasi dengan cara seorang animator menggambar satu per satu (*frame by frame*). Pose to Pose, yaitu pembuatan animasi oleh seorang animator dengan cara menggambar hanya pada keyframe-keyframe tertentu saja, selanjutnya *in-between* atau interval antar keyframe

digambar/dilanjutkan oleh animator lain.



Gambar 2.2. *Straight-Ahead Action and Pose to Pose*

2.3.2.5 Follow Through and Overlapping Action

Follow through adalah tentang bagian tubuh tertentu yang tetap bergerak sesaat meskipun seseorang telah berhenti bergerak. *Overlapping action* secara mudah bisa dianggap sebagai gerakan saling-silang yaitu serangkaian gerakan yang saling mendahului.

2.3.2.6 Slow in Slow out

Merupakan prinsip pengaturan jarak/spasi antar gambar dalam *inbetween*, prinsip ini sangat berkaitan dengan prinsip timing. Teknik "*slow out*" biasanya ditempatkan pada akhir suatu gerakan/pose dan "*slow in*" ditempatkan pada awal pose berikutnya.

2.3.2.7 Arcs

Sistem pergerakan tubuh pada manusia, binatang, atau makhluk hidup lainnya bergerak mengikuti pola/jalur yang disebut Arcs.



Gambar 2.3. *Arcs*

2.3.2.8 Secondary Action

Secondary action adalah gerakan-gerakan tambahan yang dimaksudkan untuk memperkuat gerakan utama supaya sebuah animasi tampak lebih realistik.

2.3.2.9 Timing

Timing adalah tentang menentukan waktu kapan sebuah gerakan harus dilakukan. Ketepatan membuat pengaturan waktu akan memberikan kesan yang tepat pada karakter sebuah benda atau orang, atau bahkan mampu memberikan informasi emosi karakter.

2.3.2.10 Exaggeration

Exaggeration merupakan upaya mendramatisir animasi dalam bentuk rekayasa gambar yang bersifat hiperbolis. Dibuat sedemikian rupa sehingga terlihat sebagai bentuk ekstrimitas ekspresi tertentu dan biasanya digunakan untuk keperluan komedi.

2.3.2.11 Solid Drawing

Merupakan prinsip-prinsip dasar menggambar anatomi, komposisi berat, keseimbangan, dan pencahayaan yang dapat dilatih melalui serangkaian observasi dan pengamatan. Meskipun kini peran gambar yang dihasilkan sketsa manual sudah dapat digantikan oleh komputer, namun dengan pemahaman dasar dari prinsip ini akan menghasilkan animasi yang terlihat nyata.

2.3.2.12 Appeal

Appeal berkaitan dengan keseluruhan look atau gaya visual dalam animasi. *Appeal* juga tentang penokohan, berkorelasi dengan ‘kharisma’ seorang tokoh atau karakter dalam animasi. Sehingga visualisasi animasi yang ada bisa mewakili karakter/sifat yang dimiliki.

24 *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 di ruang kerja 3D. Dengan FK saat itu induk gabungan dipindahkan dalam hierarki, semua anak-anak mengikuti rotasi orang tua karenanya, orang tua hubungan anak selalu dijaga dan dengan demikian disebut sebagai gerak maju atau kinematika. menunjukkan penggunaan sistem FK untuk menggerakkan sendi lengan ke arah kaca dengan memutar secara berurutan setiap sambungan disudut yang tepat menuju tujuannya. Untuk seorang animator, ini adalah tugas yang membosankan karena sudut setiap sendi harus sesuai untuk memastikan penempatan lengan yang akurat.



Gambar 2.4. *Articulated Body*

Perbedaan mendasar dengan *Invers Kinematics* adalah tingkat kesulitan animator dalam menganimasikan. *Invers Kinematics* ditentukan dari pergerakan tulang berdasarkan sudut akhir dari beberapa sendi yang mendefinisikan gerakan. Istilah-istilah yang sering digunakan dalam *Forward Kinematics* di antaranya adalah sebagai berikut:

2.4.1. Point

Joint pada *Inverse kinematics* mempunyai dua jenis yaitu *revolute joint* seperti pada gambar 5 dan *prismatic joint* yang ditunjukkan oleh gambar 6. *Revolute joint* adalah *joint* yang terhubung dengan link yang dapat berputar di sekelilingnya, contohnya seperti pada jarum jam yang dapat berputar.



Gambar 2.5. *Revolute joint*

Sedangkan *prismatic joint* merupakan *joint* yang mempunyai link yang terhubung ke *joint* lainnya. Sebuah *articulated body* mempunyai *root joint* yang menjadi dasar dari struktur, contoh *root joints* pada manusia yaitu pada pertengahan pinggang.



Gambar 2.6. *Prismatic joint*

2.4.2. End effector

End effector adalah posisi paling luar dari link yang paling luar. Ini adalah ujung bebas rantai sendi dan tautan bolak-balik. *End Effector* bukanlah joint tetapi hanyalah posisi pada akhir articulated body. Articulated body dapat memiliki beberapa *end-effector* seperti pohon yang dapat memiliki banyak daun.



Gambar 2.7. *End effector*

2.4.3. Artikulasi dan Poses

Artikulasi adalah rotasi / terjemahan sendi yang menggerakkan hubungan yang terhubung. Artikulasi terdiri dari derajat sudut setiap joint yang terhubung. Sedangkan, sebuah pose adalah seperangkat artikulasi bersama yang menghasilkan posisi *articulated body*. Dengan kata lain, pose adalah nilai vektor daripada nilai scalar seperti *pose articulated body* adalah $\langle 45^\circ, 15^\circ, -60^\circ \rangle$ ditunjukkan dalam gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.8. Artikulasi

25 Struktur/sistem rangka manusia

Rangka (*skeleton*) manusia merupakan susunan dari berbagai macam tulang yang satu sama lainnya disambungkan dengan sendi (*joint/articulation*) (Roosita, 2015). Salah satu dari fungsi rangka adalah untuk bergerak. Rangka menjadi tempat pelekatan otot rangka dan memiliki sendi sehingga mampu menghasilkan pergerakan anggota tubuh (*motion*) atau melakukan perpindahan dari satu tempat ke tempat lain (*locomotion*).

Rangka manusia terdiri dari kurang lebih 206 tulang, yang berdasarkan letak tulang terhadap sumbu tubuh dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok (Ferdinand et al, 2009) yaitu:

2.5.1. Rangka aksial

Rangka aksial adalah tulang-tulang yang berada pada bagian tengah sumbu tubuh yang terdiri dari beberapa bagian seperti ruas tulang belakang (*columna vertebrata*), tulang tengkorak, tulang dada dan tulangiga/rusuk.

2.5.2. Rangka apendikular

Terdiri dari 126 buah tulang yang akan menyusun bagian dari tulang-tulang anggota gerak atas, bagian dari tulang-tulang anggota gerak bawah, bagian dari gelang bawah, dan bagian dari gelang pangkung.

26 Hubungan antar tulang /persendian

Persendian atau dapat disebut juga dengan artikulasi merupakan hubungan yang terjadi pada dua buah tulang atau lebih. Sendi yang terdapat dalam tubuh manusia sebagian besar mempunyai 1 sudut kebebasan/*Degree of Freedom* (DoF). Beberapa diantaranya mempunyai multiple DoF seperti pada pergelangan tangan dengan 2 DoF, dan bahu yang mempunyai 3 DoF. Berdasarkan sifat gerakannya, persendian dapat dikategorikan menjadi beberapa sendi:

2.6.1. Sendi Mati (Sinartrosis)

Sendi mati merupakan hubungan antartulang yang tidak dapat digerakkan. Penghubung antar tulangnya adalah serabut jaringan ikat atau tulang rawan. Contoh: hubungan antartulang yang membentuk tengkorak kepala.

2.6.2. Sendi Kaku (Amfiartrosis)

Sendi kaku merupakan hubungan antartulang yang dapat digerakkan secara terbatas, hanya sebatas bergerak mendekat dan menjauh antara kedua tulang. Contoh: hubungan antar tulang belakang.

2.6.3. Sendi Gerak (Diartrrosis)

Sendi gerak merupakan hubungan antartulang yang dapat digerakkan dengan leluasa. Sendi gerak pada manusia dibagi menjadi 5 macam (Kurniasih, 2018), yaitu:

a. Sendi peluru

Sendi peluru merupakan hubungan dua tulang yang memungkinkan terjadinya gerakan ke segala arah. Pada jenis persendian ini sering terjadi

lepas sendi. Contoh: hubungan antar tulang lengan atas dengan gelang bahu dan hubungan antara tulang paha dengan gelang panggul.

b. Sendi engsel

Sendi engsel merupakan hubungan dua buah tulang yang salah satu tulangnya hanya dapat digerakkan ke satu arah. Sendi engsel terdapat pada lutut dan siku serta antar ruas jari.

c. Sendi putar

Sendi putar merupakan hubungan dua buah tulang yang memungkinkan tulang yang satu bergerak memutar pada tulang lainnya. Contoh: hubungan antara tulang atlas dengan tulang pemutar. Sendi putar juga terdapat di antara tulang hasta dan tulang pengumpil.

d. Sendi geser

Sendi geser merupakan hubungan dua buah tulang yang memungkinkan pergeseran antar tulang, misalnya sendi yang terdapat pada pergelangan tangan dan kaki.

e. Sendi pelana

Sendi pelana merupakan hubungan dua buah tulang yang permukaannya berbentuk pelana kuda. Sendi ini terdapat diantara tulang telapak tangan dengan ruas ibu jari.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis, Sifat dan Pendekatan Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini termasuk ke dalam penelitian *Research and Development* yaitu suatu proses atau langkah-langkah untuk mengembangkan suatu produk baru, atau menyempurnakan produk yang telah ada, yang dapat dipertanggung jawabkan (Sujadi, 2003). Sedangkan sifat dari penelitian ini adalah penelitian deskriptif dengan tujuan untuk mendeskripsikan objek penelitian dalam hal ini adalah manusia ataupun hasil penelitian yang didapat yang berupa animasi 3D. Pendekatan pada penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dimana hasil yang akan didapatkan berupa angka-angka yang didapat dari perhitungan sudut-sudut yang telah dilakukan untuk kemudian dijadikan kesimpulan dari penelitian.

3.2 Metode Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data penulis mengumpulkan berbagai data dari beberapa sumber yaitu sebagai berikut:

3.2.1. Metode Studi Literatur

Metode ini dilakukan dengan menggunakan fasilitas yang ada seperti internet untuk mendapatkan informasi berkaitan dengan film animasi. Jenis data yang dihasilkan berupa data perkembangan animasi di dunia dan Indonesia.

3.2.2. Metode Kepustakaan

Merupakan metode pengumpulan data dengan melakukan kajian teori melalui buku-buku yang relevan dan sumber lainnya dari internet. Jenis data yang

didapatkan berupa teori-teori tentang animasi 3D, inverse kinematics, dan pergerakan manusia.

3.2.3. Metode Observasi

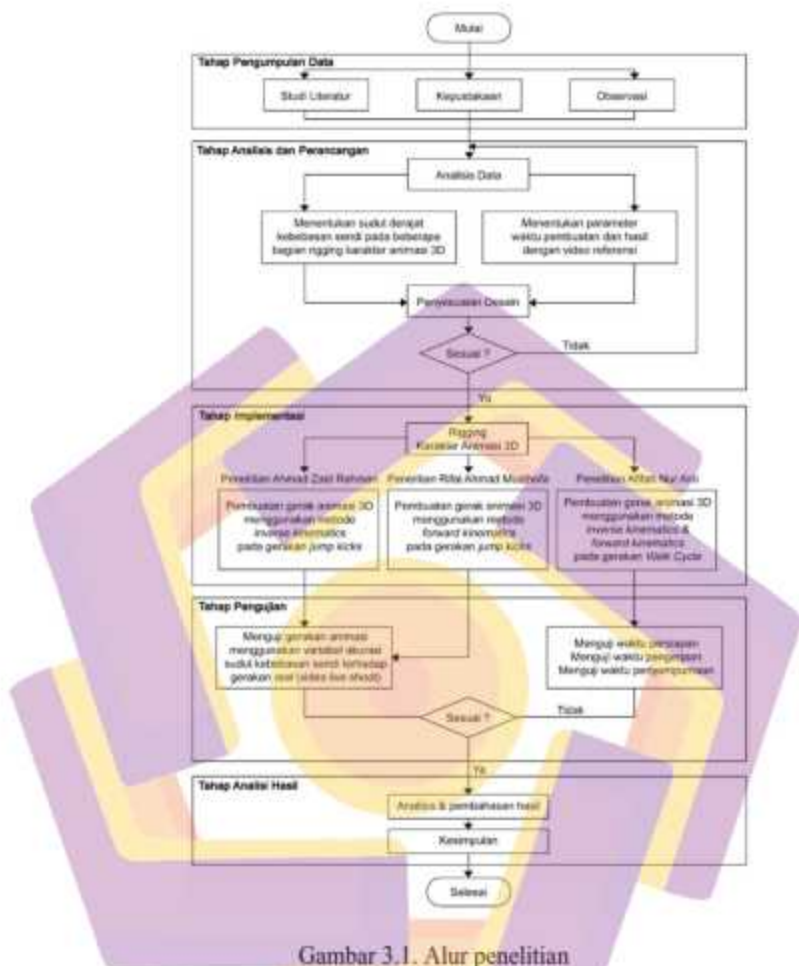
Dalam penelitian ini, metode observasi dilakukan terhadap objek manusia untuk mengumpulkan data yang berkaitan dengan pergerakan dasar manusia. Data yang diperoleh kemudian digunakan untuk mengukur pergerakan dari tulang-tulang dan sudut sendi untuk dijadikan referensi dalam animasi gerak karakter manusia. Data berupa video referensi gerak "*jump kick*" pada beladiri Taekwondo.

3.3 Metode Analisis Data

Metode analisis data pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis data-data yang telah didapatkan dari tahap pengumpulan data. Metode ini digunakan untuk mengolah data menjadi informasi sehingga mudah dipahami dan dapat digunakan untuk mengambil kesimpulan.

3.4 Alur Penelitian

Dalam melakukan penelitian, diperlukan adanya tahapan-tahapan yang diurutkan secara sistematis agar pelaksanaan penelitian dapat berjalan dengan baik. Adapun alur pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1 sebagai berikut:



Secara garis besar urutan penelitian adalah sebagai berikut.

3.4.1. Pengumpulan data

Pada tahap pengumpulan data, dilakukan beberapa metode seperti studi literature, kepustakaan, dan observasi. Tahap ini bertujuan untuk mengumpulkan

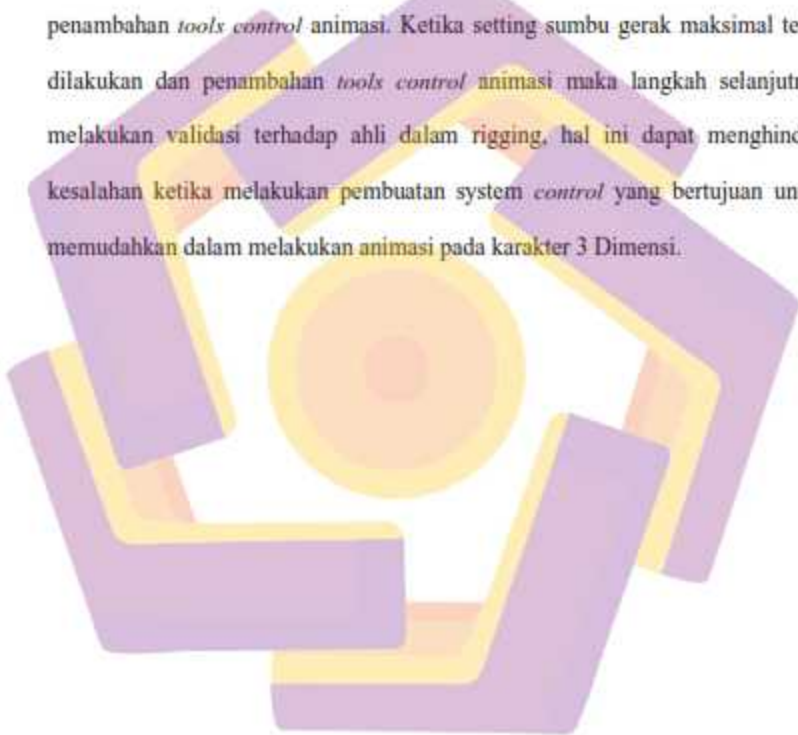
data yang berkaitan dengan penelitian ini yang berupa data seperti struktur rangka anatomi tubuh manusia, pola gerak sendi serta parameter gerak maksimal manusia pada umumnya, dan data mengenai metode *forward Kinematics*. Hasil pada tahap ini yaitu tinjauan pustaka dan landasan teori yang merupakan dasar dari penelitian.

3.4.2. Analisa dan Perancangan

Tahap analisa yaitu: menganalisa data yang telah didapat hasil dari tahap pengumpulan data. Pada tahap Analisa data, terbagi 2 bagian yang akan dilakukan, yaitu Menentukan sudut derajat kebebasan sendi pada beberapa bagian rigging karakter animasi 3D yang di dalam penelitian ini akan dilakukan oleh saya Rifai Ahmad Musthofa sebagai penulis dalam penelitian ini dan Ahmad Zaid Rahman yang pada tahap analisa data juga melakukan pembahadan yang sama serta Menentukan parameter waktu pembuatan dan hasil dengan video referensi yang dimana pada tahap Analisa data akan dilakukan oleh Afifah Nur Aini. Pada tahap analisa data untuk menentukan sudut derajat kebebasan sendi pada beberapa bagian rigging karakter animasi 3D, kemudian dilakukan perhitungan kerangka rigging dengan pemberian parameter tolak ukur kebebasan tulang di beberapa sendi/rigging karakter animasi 3D yang telah ada serta menerapkan pada padarig dan kontrol animasi karakter 3D. Setelah itu melakukan validasi, apakah desain yang dibuat sudah sesuai atau belum. Tahap validasi dilakukan dengan ahli pada bidangnya tersebut. Hal ini untuk menghindari kesalahan ketika tahap implementasi nantinya.

3.4.3. Implementasi

Pada tahap ini adalah melakukan eksperimen dengan menerapkan metode *Forward Kinematics*. Dalam hal penerapannya dilakukan perbagian terlebih dahulu, yaitu melakukan sebuah *setting* untuk menentukan sumbu gerak maksimal di beberapa sendi/rigging pada karakter yang telah ada serta penambahan *tools control* animasi. Ketika *setting* sumbu gerak maksimal telah dilakukan dan penambahan *tools control* animasi maka langkah selanjutnya melakukan validasi terhadap ahli dalam rigging, hal ini dapat menghindari kesalahan ketika melakukan pembuatan *system control* yang bertujuan untuk memudahkan dalam melakukan animasi pada karakter 3 Dimensi.



3.4.4. Pengujian

Tahap pengujian bertujuan untuk menguji penenerapan dari metode-metode yang digunakan dari 3 peneliti yaitu, inverse kinematics dan forward kinematics. Pada penelitian penulis sendiri Rifai Ahmad Musthofa dan Ahmad Zaid Rahman penelitian melakukan tahapan pengujian yang sama yaitu, menguji gerakan animasi 3D menggunakan variabel akurasi sudut kebebasan sendi terhadap gerakan real (video referensi) yang membedakan dari 2 penelitian tersebut ialah menggunakan metode berbeda yaitu inverse kinematics dan forward kinematics dan untuk tahap pengujian yang dilakukan oleh Afifah Nur Aini ialah menguji efektifitas dari kedua metode yaitu, inverse kinematics dan forward kinematics, yang dimana dalam penelitian tersebut dilakukan beberapa pengujian yaitu, menguji waktu persiapan, menguji waktu pengerjaan dan menguji waktu penyempurnaan yang akan dilakukan di tiap metodenya.

Pada pengujian penulis sendiri, akan dilakukan oleh animator profesional dengan menganimasikan karakter 3 Dimensi yang sudah diberi parameter tolak ukur kebebasan tulang dan menganimasikan karakter 3 Dimensi yang tidak menggunakan tolak ukur kebebasan tulang. Selanjutnya ditahap pengujian setelah dilakukan penganimasian pada karakter 3 Dimensi, yaitu membandingkan sudut yang terbentuk dari beberapa sendi pada bagian tubuh animasi 3 Dimensi yang telah dibuat menggunakan metode inverse kinematic dengan video referensi yang berupa video live shoot. Pengujian ini penulis lakukan bertujuan untuk mengetahui berapa natural kemiripan dari kedua video tersebut. Software yang digunakan untuk mengukur sudut gerak sendi yaitu Tracker, yang dapat merekam sudut dari masing-

masing bagian tubuh yang terbentuk di setiap frame. Bagian tubuh yang diuji merupakan bagian tubuh yang memiliki sendi gerak yaitu sendi antara kepala dan leher, siku tangan, dan kaki. Tahap pertama yang dilakukan dalam pengujian ini yaitu dengan mengeksport terlebih dahulu masing-masing gerakan animasi 3 Dimensi yang telah dibuat ke dalam format video agar dapat diimpor ke dalam *software Tracker*. Pada penelitian ini, video yang dihasilkan mempunyai format .mp4. Pengukuran yang dihasilkan dari masing-masing video dilakukan berdasarkan sudut yang terbentuk dari setiap pose di setiap frame menggunakan salah satu fitur *measure tool* pada *software Tracker*, yaitu fitur *Protractor*. Dari pengukuran tersebut didapatkan data yang dapat dilihat dalam dua macam bentuk yaitu berupa tabel dan grafik.

3.4.5. Analisis dan Hasil

Pada tahap ini merupakan tahap evaluasi hasil dari eksperimen yang dilakukan sebelumnya dan evaluasi dari data yang didapat pada hasil penelitian dalam bentuk data angka-angka parameter tolak ukur kebebasan tulang dan akurasi gerak animasi 3 Dimensi jika diberikan parameter tolak ukur kebebasan tulang dan tidak diberikan parameter tolak ukur kebebasan tulang, kemudian memberikan kesimpulan yang bisa diambil dan saran apabila terdapat berbagai kekurangan dalam penelitian yang bertujuan kedepannya bisa dikembangkan kembali.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Gambaran Umum Obyek Penelitian

Pada penelitian ini penulis menggunakan obyek penelitian berupa salah satu gerakan beladiri Taekwondo yang diperagakan oleh atlet Taekwondo untuk diterapkan dalam animasi 3 dimensi menggunakan teknik *inverse kinematics*. Sebagai sampel penelitian, karakter manusia yang digunakan yaitu pria bernama Andika Faris Pratama berusia 20 tahun dengan tinggi badan 164, berat badan 54 kg, seorang atlet taekwondo dari tahun 2011 hingga sekarang yang telah mencapai tingkat sabuk hitam (Dan 1) dengan rangka tulang yang normal. Pergerakan karakter yang dianalisis ialah gerakan *jump kick*.

Gerakan *jump kick "Twieo Ap Chagi"* pada beladiri Taekwondo merupakan gerakan yang memiliki aturan dan dilakukan oleh seorang atlet profesional serta dalam pergerakannya melibatkan seluruh sendi gerak sehingga merupakan gerakan yang sesuai untuk dijadikan sampel dalam penelitian ini. Untuk mendapatkan hasil gerakan animasi yang terlihat natural seperti obyek asli, maka pengukuran derajat kebebasan sendi dilakukan terlebih dahulu. Pengukuran tersebut bertujuan untuk mengetahui ke arah mana sendi dapat berputar, dan berapa besar sudut yang dihasilkan sehingga pergerakan manusia dapat diterapkan dalam animasi 3D sesuai dengan aslinya.

4.2 Analisis

Tahap analisis merupakan proses untuk mendapatkan data-data mengenai obyek penelitian yang meliputi gerakan beladiri *jump kick* “*Twieo Ap Chagi*” dan derajat sendi pada obyek karakter yang diuji.

4.2.1. Analisis Gerakan

Untuk mengetahui bagaimana pergerakan anggota tubuh saat melakukan gerakan beladiri *jump kick*, maka dilakukan analisis terhadap gerakan melalui observasi secara langsung yang direkam kedalam bentuk video dari beberapa arah kamera, yaitu arah samping, arah depan dan arah atas. Berikut perangkat yang digunakan dalam pengambilan video referensi pada tabel 4.1 :

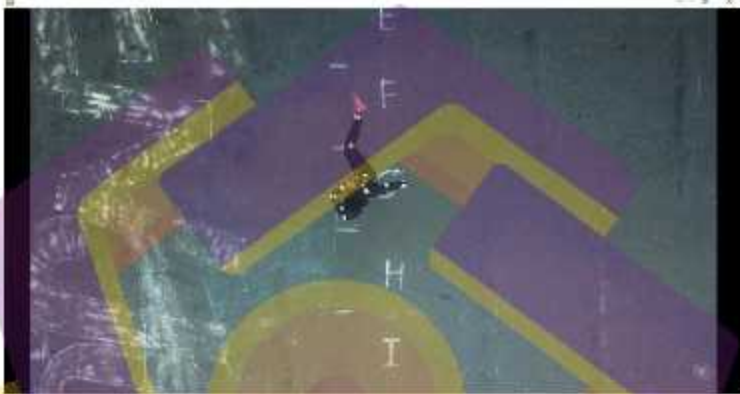
Tabel 4. 1. Perangkat yang digunakan dalam mengambil video referensi

No	Perangkat
1	DJI Mavic Pro 1
2	Sony A6400
3	Sony A7 Mark III
4	Lensa Sony FE 28mm F2
5	Lensa Sony FE 50mm F1.8

Video referensi tersebut kemudian diputar melalui aplikasi pemutar video, yang pada penelitian ini penulis menggunakan aplikasi Windows media player seperti pada gambar 4.1, gambar 4.2 dan gambar 4.3 berikut ini.

Video referensi yang direkam dari atas menggunakan Drone DJI Mavic Pro

1. Video dari arah atas ini bertujuan sebagai referensi dalam proses pembuatan gerak animasi 3D oleh animator penguji, berikut gambar 4.1 yang memperlihatkan hasil gambar dari arah atas



Gambar 4.1. Video dari arah atas

Video referensi yang direkam dari depan menggunakan kamera Sony Mirrorless A6400 dan lensa Sony FE 28mm F2, video dari arah depan ini bertujuan sebagai referensi arah gambar yang berbeda dalam proses pembuatan gerak animasi 3D oleh animator penguji, berikut gambar 4.2 yang memperlihatkan hasil gambar dari arah depan.



Gambar 4. 2. Video dari arah depan

Video referensi yang direkam dari samping menggunakan kamera Sony Mirrorless A7 mark iii dan lensa Sony FE 50mm F1.8, video dari arah samping ini bertujuan sebagai referensi arah gambar yang berbeda dan yang utama dalam proses pembuatan gerak animasi 3D oleh animator penguji, berikut gambar 4.3 yang memperlihatkan hasil gambar dari arah samping



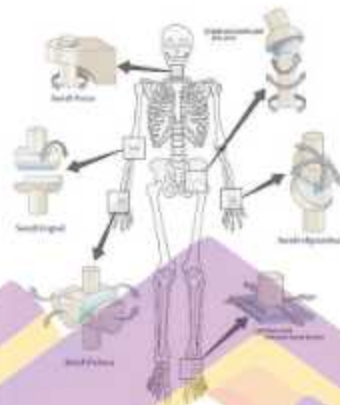
Gambar 4. 3. Video dari arah samping

Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan, gerakan manusia pada saat melakukan gerakan beladiri *jump kick* mempunyai pola gerakan yang berbeda-beda dalam proses melakukan gerakan tersebut, perbedaan tersebut diantaranya adalah gerakan tangan, jarak langkah kaki, kecepatan, jarak lompatan, beban tubuh dan posisi tubuh saat bergerak. Dalam gerakan beladiri *jump kick* ini juga terdapat beberapa prinsip animasi yang diantaranya ialah, *Anticipation, Pose to Pose, Follow Through and Overlapping Action, Slow in and Slow Out, Arcs*, dan *Timing Spacing*

4.2.2. Analisis Derajat Sendi

Setelah mendapatkan pola gerakan beladiri Taekwondo *jump kick*, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis derajat pada sendi-sendi manusia. Analisis derajat sendi ini bertujuan untuk mengetahui derajat kebebasan tulang (*Degree of Freedom*) manusia ketika melakukan pergerakan. Dari analisis ini akan diketahui ke arah mana, dan berapa besar sudut masing-masing sendi dapat bergerak.

Sebelum mengukur sudut derajat sendi, langkah yang dilakukan yaitu dengan menghitung jumlah ruas sendi berdasarkan anatomi manusia. Pada penelitian ini sendi-sendi yang akan diukur terdiri dari beberapa sendi yang termasuk dalam sendi diartrosis / synovial, diantaranya adalah sendi putar pada tulang leher, sendi peluru yaitu sendi antara bahu dan lengan serta sendi antara tulang paha dan tulang gelang panggul, dan sendi engsel pada siku tangan, lutut dan pergelangan kaki yang dapat ditunjukkan pada gambar 4.4.



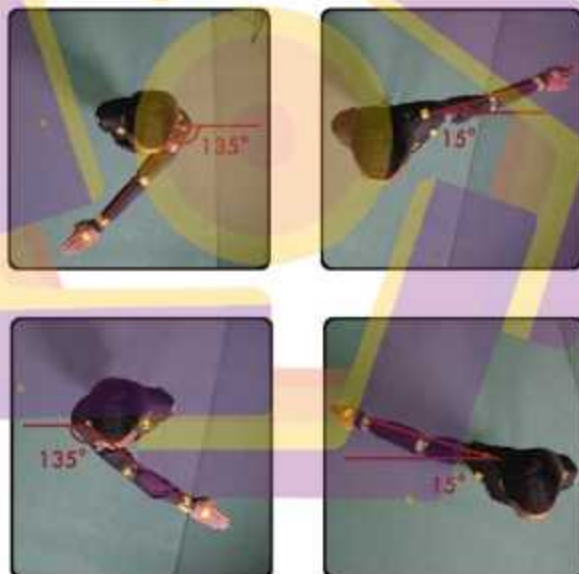
Gambar 4. 4. Sendi manusia yang diukur

Pada penelitian ini, pengukuran dilakukan dengan mengambil foto setiap sendi dari sampel penelitian. Dari foto tersebut, sudut derajat kebebasan sendi diukur menggunakan software *ImageJ* sehingga sudut minimal dan maksimal dari masing-masing sendi dapat diketahui dan kemudian dapat diterapkan sebagai pengaturan sendi pada animasi 3D menggunakan metode *inverse kinematics*. Maka dilakukan analisis terhadap gerakan pada beberapa sudut derajat kebebasan sendi melalui observasi secara langsung yang diambil dalam bentuk foto/gambar dari beberapa arah kamera, yaitu arah samping, arah depan dan arah atas. Berikut perangkat yang digunakan dalam pengambilan video referensi pada tabel 4.2:

Tabel 4. 2. Perangkat yang digunakan dalam mengambil video referensi

No	Perangkat
1	Canon 70D
2	Canon 700D
3	Sony A7 Mark iii
4	Lensa Canon 18-55mm
5	Lensa Sony FE 50mm F1.8

Hasil pengukuran derajat sendi tersebut dapat dilihat pada gambar berikut:

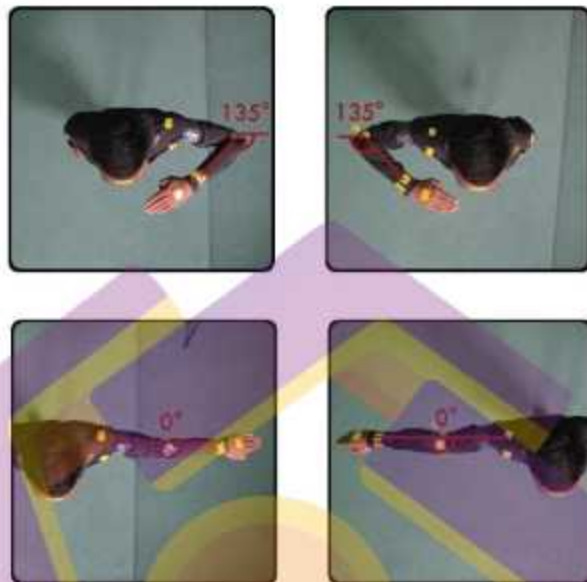


Gambar 4. 5. Pengukuran Derajat



Gambar 4. 6. Visual derajat sendi peluru tulang bahu

Pada Gambar 4.5 dilakukan pengambilan gambar dari arah samping kanan dan kiri serta dari arah atas untuk menunjukkan derajat kebebasan minimal dan maksimal pada bagian bahu kanan dan kiri



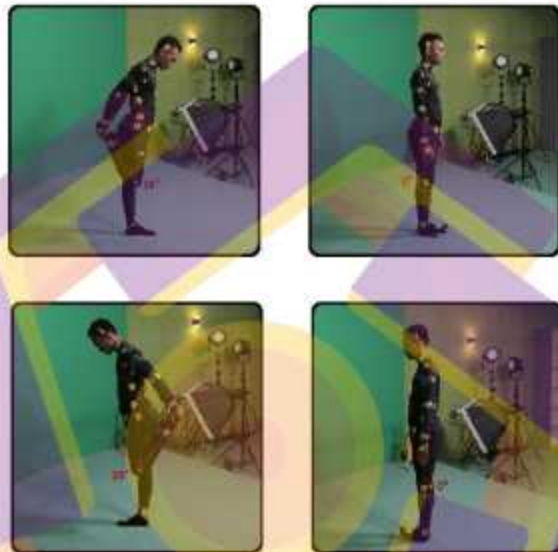
Gambar 4. 7. Visual derajat sendi engsel siku tangan

Pada Gambar 4.6 dilakukan pengambilan gambar dari satu sisi, yaitu arah atas pada sendi siku kanan dan kiri untuk menunjukkan derajat kebebasan minimal dan maksimal pada bagian siku kanan dan kiri, pada sendi siku hanya dilakukan satu arah pengambilan gambar, dikarenakan sifat sendi pada siku yang hanya bisa bergerak pada satu arah.



Gambar 4. 8. Visual derajat sendi putar pangkal

Pada Gambar 4.7 dilakukan pengambilan gambar dari arah samping kanan dan kiri serta dari arah atas untuk menunjukkan derajat kebebasan minimal dan maksimal pada bagian paha kanan dan kiri.



Gambar 4. 9. Visual derajat sendi engsel lutut

Pada Gambar 4.8 dilakukan pengambilan gambar dari satu sisi, yaitu arah samping pada sendi lutut kanan dan kiri untuk menunjukkan derajat kebebasan minimal dan maksimal pada bagian lutut kanan dan kiri, pada sendi lutut hanya dilakukan satu arah pengambilan gambar, dikarenakan sifat sendi pada lutut yang hanya bisa bergerak pada satu arah sama seperti sendi pada siku kanan dan kiri.

Tabel 4. 3. Hasil pengukuran derajat kebebasan sendi

No.	Sendi yang Diukur	Nama Bagian Tubuh	Arah Putar Tulang	Sudut Derajat Min	Sudut Derajat Maks
1	Sendi peluru	Tulang bahu kanan	Ke depan dan belakang	-35°	200°
			Ke kanan dan kiri	-15°	135°
2	Sendi Peluru	Tulang bahu kiri	Ke depan dan belakang	-35°	200°
			Ke kanan dan kiri	-15°	135°
3	Sendi engsel	Siku tangan kanan	Ke depan dan belakang	0°	135°
4	Sendi engsel	Siku tangan kiri	Ke depan dan belakang	0°	135°
5	Sendi peluru	Pangkal paha kanan	Ke depan dan belakang	0°	145°
			Ke kanan dan kiri	-35°	90°
6	Sendi peluru	Pangkal paha kiri	Ke depan dan belakang	0°	145°
			Ke kanan dan kiri	-35°	90°
7	Sendi engsel	Lutut kanan	Ke depan dan belakang	0°	145°
8	Sendi engsel	Lutut kiri	Ke depan dan belakang	0°	145°

Berdasarkan hasil pengukuran sudut derajat sendi manusia yang telah dilakukan, didapatkan data-data sebagai berikut:

- 1) Sendi sendi peluru pada tulang bahu kanan dapat berputar segala arah, dari hasil analisis didapat batas maksimal dari sendi ini adalah sebesar -35° hingga 200° untuk arah depan dan belakang, kemudian untuk arah kanan dan kiri sebesar -15° hingga 135° .
- 2) Sendi sendi peluru pada tulang bahu kiri dapat berputar segala arah, dari hasil analisis didapat batas maksimal dari sendi ini adalah sebesar -35° hingga 200° untuk arah depan dan belakang, kemudian untuk arah kanan dan kiri sebesar -15° hingga 135° .
- 3) Sendi engsel pada siku tangan kanan hanya dapat digerakkan ke arah depan/luar (*extension*) dan menekuk ke dalam/belakang (*flexion*) dengan sudut minimal sebesar 0° saat *flexion* dan maksimal 135° saat *extension*.
- 4) Sendi engsel pada siku tangan kiri sama seperti dengan siku tangan kanan yang hanya dapat digerakkan ke arah depan/luar (*extension*) dan menekuk ke dalam/belakang (*flexion*) dengan sudut minimal yang sama, yaitu sebesar 0° saat *flexion* dan maksimal 135° saat *extension*.
- 5) Sendi peluru pada pangkal paha kanan sama seperti sendi peluru pada tulang bahu yang dapat berputar dapat ke segala arah, dengan batas sudut kebebasan yang memiliki nilai derajat sebesar 0° hingga 145° untuk ke arah depan dan belakang dan untuk ke arah kanan kiri sebesar -35° hingga 90° .
- 6) Sendi peluru pada pangkal paha kiri sama seperti sendi peluru pada pangkal paha kanan yang dapat berputar ke segala arah, dengan batas sudut kebebasan yang memiliki nilai derajat sama dengan sendi peluru pada pangkal paha

kanan, yaitu sebesar 0° hingga 145° untuk ke arah depan dan belakang dan untuk ke arah kanan kiri sebesar -35° hingga 90° .

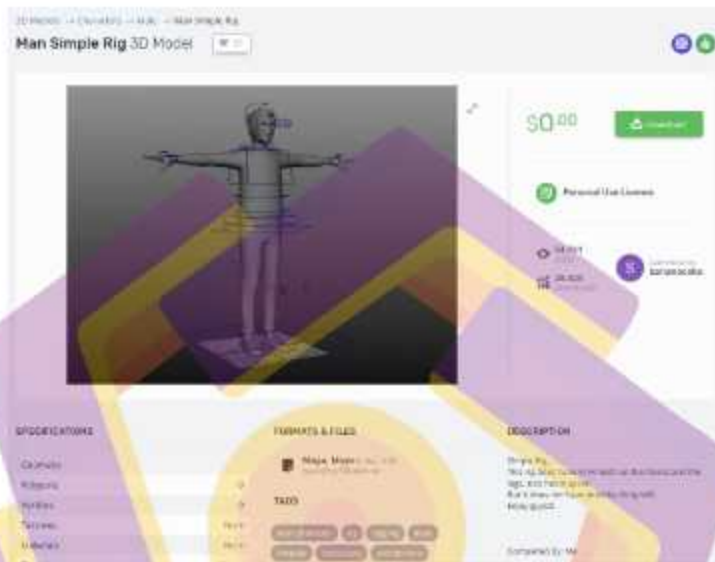
- 7) Sendi engsel pada lutut kanan dapat bergerak ke arah depan/luar (*extension*) dengan sudut maksimal sebesar 145° dan ke arah dalam/belakang (*flexion*) dengan sudut minimal sebesar 0° yang berarti bahwa derajat kebebasan lutut yaitu sebesar 145° .
- 8) Sendi engsel pada lutut kiri sama seperti sendi engsel pada lutut kanan dapat bergerak ke arah depan/luar (*extension*) dengan sudut maksimal yang sama dengan sendi engsel pada lutut kanan, yaitu sebesar 145° dan ke arah dalam/belakang (*flexion*) dengan sudut minimal sebesar 0° yang berarti bahwa derajat kebebasan lutut yaitu sebesar 145° .

Pada tahap analisis derajat sendi ini, penulis dibantu oleh seorang ahli *orthopedi* dan dosen Universitas Respati Yogyakarta yang bernama Muhammad Untung, S.Fis, M.Fis untuk memberikan justifikasi kebenaran dalam pengumpulan dataset derajat sendi yang akan digunakan dalam pengujian gerak animasi 3D pada penelitian ini.

4.2.3. Analisis Karakter Animasi 3D

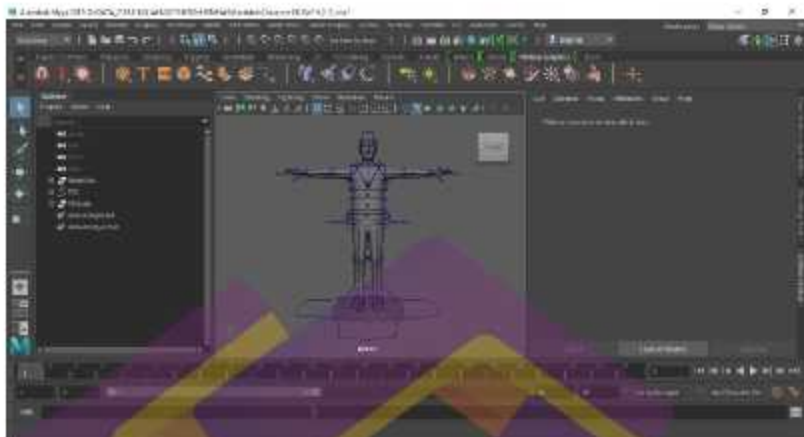
Pada tahap ini adalah tahap analisis kebutuhan karakter animasi 3D, langkah pertama yang dilakukan penulis ialah mencari karakter animasi 3D yang tersedia gratis untuk diunduh dan digunakan di situs www.free3d.com yang sesuai dengan kebutuhan penulis dan sudah memiliki rigging/tulang yang sama dengan kebutuhan objek penelitian.

Karakter animasi 3D yang digunakan ialah objek 3d gratis dengan nama *Man Simple Rig* yang di publikasikan oleh akun bernama *bananacake*



Gambar 4. 10. Karakter animasi 3D yang di *download* dari situs www.free3d.com

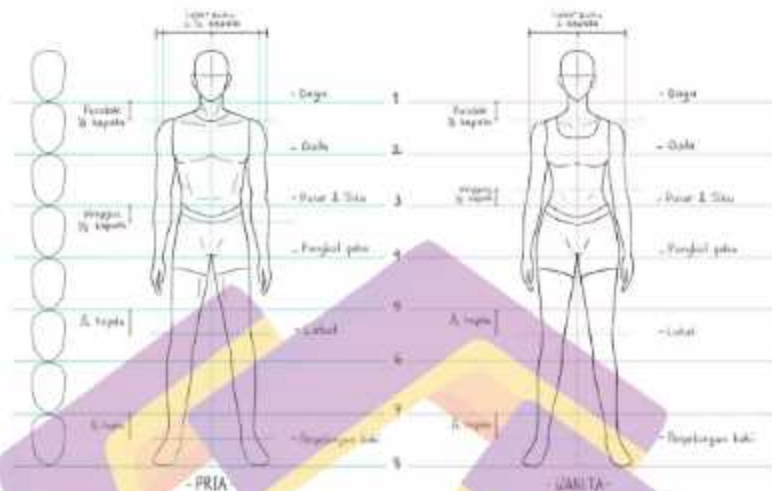
Pada penelitian ini, untuk menghindari kesalahan pada tahap pengujian, maka penulis perlu menguji ulang karakter animasi 3D yang digunakan untuk diterapkan pada software pengujian animasi yaitu *Autodesk Maya*



Gambar 4. 11. Penerapan karakter pada software *Autodesk Maya*

Kebutuhan karakter animasi 3D manusia yang digunakan mengacu pada Hukum Proporsi Tubuh (*Laws of Proportion*) yang menjadi dasar dalam pembuatan figure dalam bentuk manusia yang ideal, dengan kata lain, hukum yang memiliki hubungan sempurna antar ukuran tubuh.

Penggambaran sosok proporsional, terlepas dari variasi karena jenis kelamin dan sebagainya, ditentukan oleh penyesuaian sendi yang tidak berubah-ubah dan didasarkan pada unit pengukuran yang sesuai dan persis dengan pengukuran kepala. Pada abad Renaisans, awal dimana hukum proporsi ditetapkan, tinggi total tubuh manusia harus sama dengan delapan setengah kepala. Kemudian muncul hukum proporsi Praxiteles yang membentuk suatu idealisasi baru dengan menetapkan bahwa tinggi total tubuh manusia sama persis dengan delapan kepala. (Inc, 2004)



Gambar 4. 12. Sketsa proporsi tubuh manusia

dewasa, yang total tinggi tubuhnya sama dengan delapan kepala, dengan letak tulang pinggul di antara 3 dan 4 sebagai pusat gravitasi dan stabilitas.

Penggunaan metode *forward kinematics* pada karakter animasi 3D manusia dibutuhkan objek 3D karakter yang tepat untuk mencerpakan sudut derajat minimal dan maksimal dari setiap sendi gerak. Oleh karena itu, proses penentuan karakter 3D yang digunakan juga harus mengacu pada anatomi tulang manusia, sehingga letak sendi-sendi pada karakter yang dihasilkan dapat sesuai dengan aslinya. Berikut ini merupakan gambar karakter yang telah dicocokkan dengan gambar tulang rangka manusia.



Gambar 4. 13. Pencocokan karakter dan tulang rangka manusia

4.2.4. Analisis Struktur Rig / Tulang

Setelah tahapan analisis karakter 3D yang akan digunakan, tahap selanjutnya yaitu tahap analisis struktur rig/tulang berdasarkan anatomi tubuh manusia. Analisis rig/tulang ini bertujuan untuk memudahkan proses tahap pengujian animasi nantinya. Gambar struktur rig/tulang tubuh manusia dapat dilihat pada gambar 22 di bawah ini.

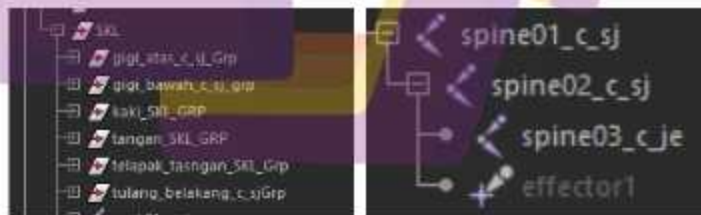


Gambar 4. 14. Struktur rig/tulang

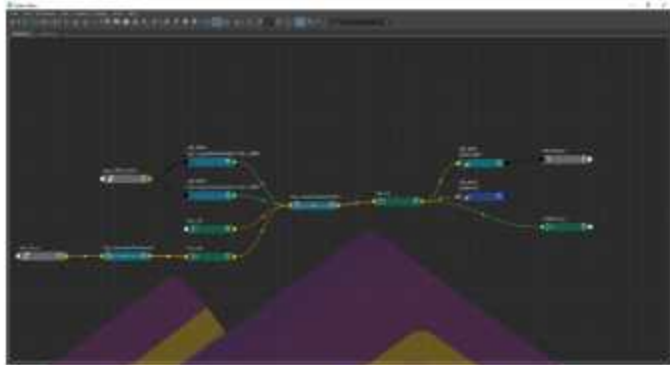
Berdasarkan analisis rig/tulang tersebut, bagian-bagian pada rig/tulang dikelompokkan dalam beberapa kelompok, yaitu :

- Gigi bawah
- Gigi atas
- Kaki
- Tangan
- Telapak tangan
- Dada
- Leher
- Kepala
- Tulang belakang

Akan tetapi untuk bagian *lower teeth* (gigi bawah), *upper teeth* (gigi atas), *palm* (telapak tangan), *neck* (leher), *head* (kepala) dan *spine* (tulang belakang) tidak kita gunakan dalam tahap pengujian animasi nantinya. Berikut beberapa layer rig/tulang karakter animasi 3D :

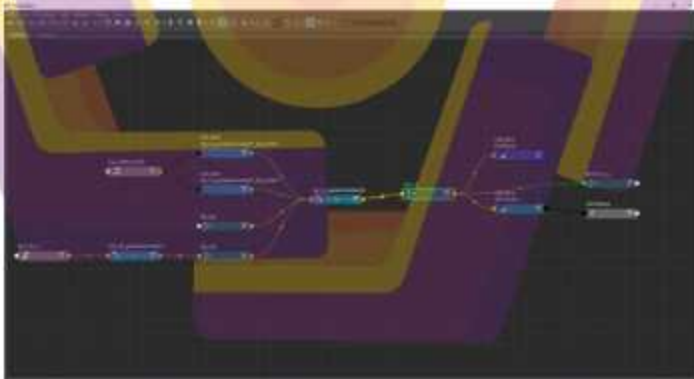


Gambar 4. 15. Layer rig/tulang karakter animasi 3D



Gambar 3.3. *Node view* hubungan rig/tulang *leg r* (kaki kanan)

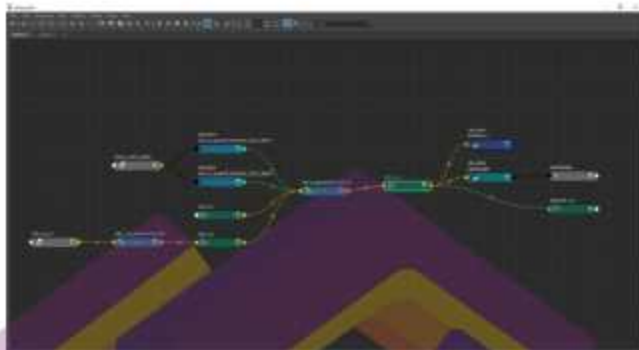
Pada Gambar 4.15 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig/tulang *leg r* (kaki kanan), yaitu rig/tulang *knee01_r* (lutut kanan) yang berelasi dengan *hip_r* (paha/pinggul kanan) yang memiliki fungsi *inverse kinematics* untuk membentuk rig/tulang *leg r* (kaki kanan) *inverse kinematics*.



Gambar 4. 16. *Node view* hubungan rig/tulang *leg l* (kaki kiri)

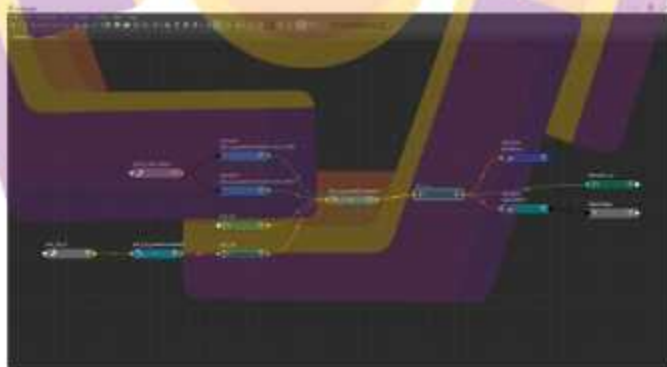
Pada Gambar 4.16 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig/tulang *leg l* (kaki kiri) yang sama seperti alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig/tulang *leg r* (kaki kanan), yaitu rig/tulang *knee01_l* (lutut kiri) yang

berelasi dengan *hip_l* (paha/pinggul kiri) yang memiliki fungsi *inverse kinematics* untuk membentuk rig/tulang *leg l* (kaki kiri) *inverse kinematics*.



Gambar 4. 17. *Node view* hubungan rig/tulang *hand r* (tangan kanan)

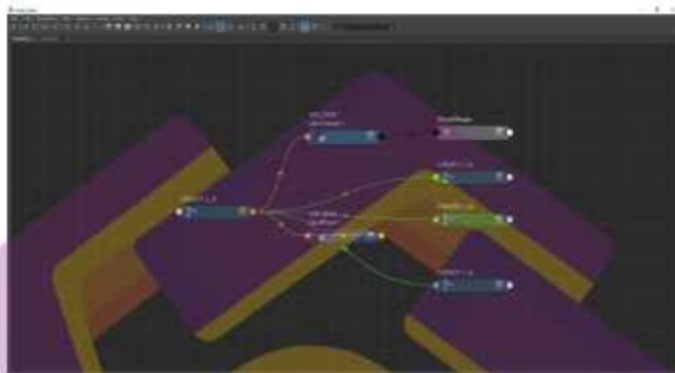
Pada Gambar 4.17 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig/tulang *hand r* (tangan kanan), yaitu rig/tulang *elbow01_r* (siku kanan) yang berelasi dengan *slldr_r* (bahu kanan) yang memiliki fungsi *inverse kinematics* untuk membentuk *hand r* (tangan kanan) *inverse kinematics*.



Gambar 4. 18. *Node view* hubungan rig/tulang *hand l* (tangan kiri)

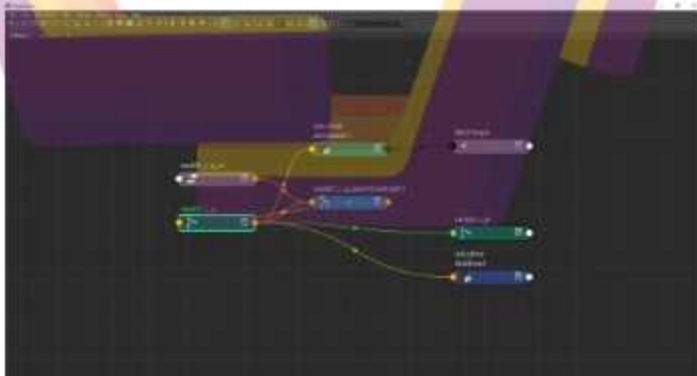
Pada Gambar 4.18 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig/tulang *hand l* (tangan kiri) sama seperti rig/tulang *hand r* (tangan kanan), yaitu

rig/tulang *elbow01_l* (siku kiri) yang berelasi dengan *sldr_l* (bahu kiri) yang memiliki fungsi *inverse kinematics* untuk membentuk *hand l* (tangan kiri) *inverse kinematics*.



Gambar 4. 19. *Node view* hubungan rig/tulang *chest* (dada)

Pada Gambar 4.19 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig/tulang *chest* (dada), yaitu rig/tulang *collar01_l* (kerah kiri), *collar01_r* (kerah kanan), dan *chest02* (dada bagian atas) yang berelasi dengan *chest01* (dada utama).



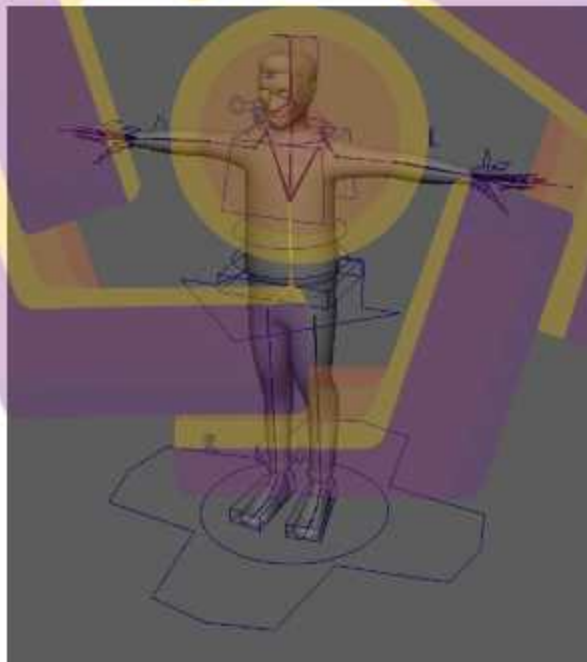
Gambar 4. 20. *Node view* hubungan rig/tulang *neck* (leher)

Tabel 4.4 (Lanjutan)

Neck 01 (Leher Bawah)	-	Neck 02 (Leher Atas)
Head Pivot 01 (Kepala Bawah)	Head Pivot 02 (Kepala Tengah)	Head Pivot 03 (Kepala Atas)

4.2.5. Analisis Kontrol Karakter Animasi 3D

Setelah tahapan analisis struktur rig/tulang pada karakter 3D yang akan digunakan, tahap selanjutnya yaitu tahap analisis kontrol karakter animasi 3D. Kontrol animasi memiliki fungsi untuk menggerakkan rig/tulang pada karakter animasi 3D. Gambar kontrol animasi pada karakter animasi 3D yang akan digunakan dapat dilihat pada gambar 4.22 di bawah ini.

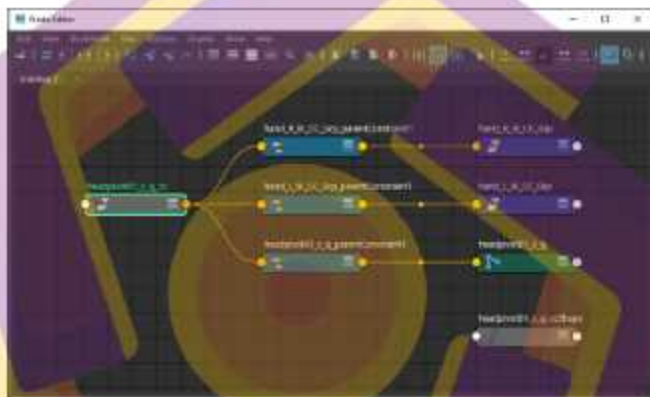


Gambar 4. 22. kontrol karakter animasi 3D

Berdasarkan analisis kontrol karakter animasi 3D tersebut, bagian-bagian pada rig/tulang dikelompokkan dalam beberapa kontrol animasi, yaitu :

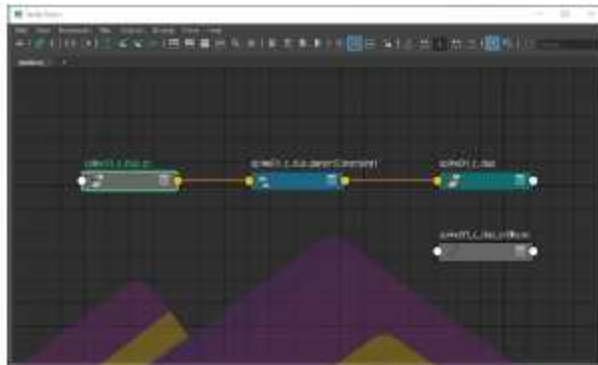
- *headpivot01* (Kontrol Kepala Utama)
 - *headpivot02* (Kontrol Kepala Kedua)
 - *headpivot03* (Kontrol Kepala Ketiga)
 - *upperJaw01* (Kontrol Rahang Atas)
 - *lowerJaw01* (Kontrol Rahang Bawah)
- *MainEyeball* (Kontrol Mata)
 - *Eyeball_R* (Kontrol Mata Kanan)
 - *Eyeball_L* (Kontrol Mata Kiri)
- *Up Main* (Kontrol Badan)
 - *Root* (Kontrol Pinggul)
 - *Spine01* (Kontrol Tulang Belakang 1)
 - *Spine02* (Kontrol Tulang Belakang 2)
 - *Chest01* (Kontrol Dada)
 - *Neck01* (Kontrol Leher)
 - *Collar01_R* (Kontrol Bahu Kanan)
 - *Collar01_L* (Kontrol Bahu Kiri)
- *Hand_R_FK* (Kontrol Tangan Kanan Forward Kinematics)
- *Hand_R_Pv* (Kontrol Siku Kanan)
- *Hand_L_FK* (Kontrol Tangan Kiri Forward Kinematics)
- *Hand_L_Pv* (Kontrol Siku Kiri)

- *Foot_R_FK* (Kontrol Kaki Kanan Forward Kinematics)
- *Foot_L_FK* (Kontrol Kaki Kiri Forward Kinematics)
- *Leg_R_PV* (Kontrol Lutut Kanan)
- *Leg_L_PV* (Kontrol Lutut Kiri)
- *TRS* (Kontrol Skala Karakter 3D)
- *TR* (Kontrol Posisi Karakter 3D)



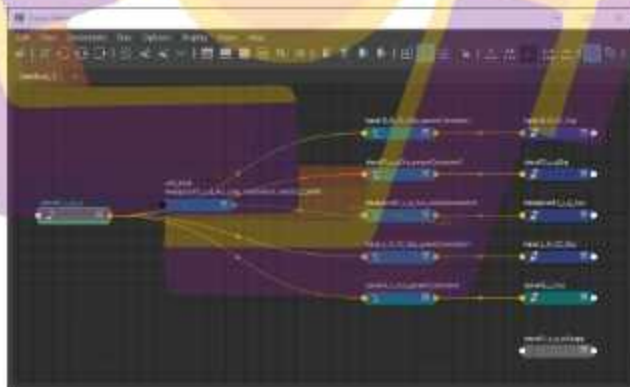
Gambar 4. 23. *Node view* hubungan kontrol animasi *headpivot01* (Kontrol Kepala Utama)

Pada Gambar 4.23 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan kontrol animasi *headpivot01* (Kontrol Kepala Utama), yaitu rig *headpivot01* (rig kepala utama) yang berelasi dengan kontrol animasi *headpivot01* (kontrol kepala utama), rig *hand_l_ik* (tangan kiri *forward kinematics*) dan *hand_r_ik* (tangan kanan *forward kinematics*) yang berelasi dengan kontrol animasi *headpivot01* (kontrol kepala utama).



Gambar 4. 24. *Node view* hubungan kontrol animasi *Root* (Kontrol Pinggul)

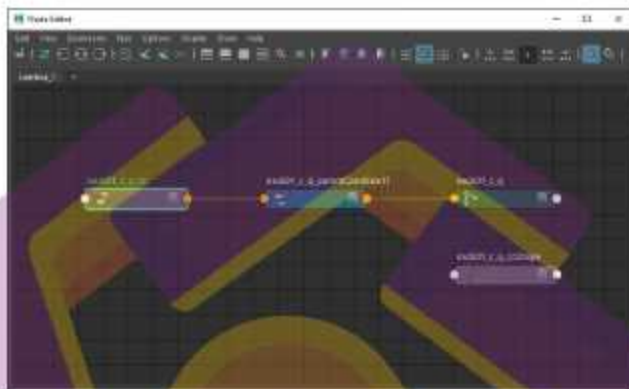
Pada Gambar 4.24 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan kontrol animasi *Root* (Kontrol Pinggul), yaitu rig *hand_l_fk* (tangan kiri *forward kinematics*) rig *hand_r_fk* (tangan kanan *forward kinematics*) dan *root_c* (pinggul tengah) yang berelasi dengan kontrol animasi masing – masing bagian dan setiap kontrol animasi berelasi pada kontrol animasi *Root* (kontrol pinggul utama),



Gambar 4. 25. *Node view* hubungan kontrol animasi *Chest01* (Kontrol Dada)

Pada Gambar 4.25 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan kontrol animasi *Chest* (Kontrol Dada), yaitu rig *headpivot* (kepala), rig

hand_r_fk (tangan kanan *forward kinematics*), rig hand_l_fk (tangan kiri *forward kinematics*), rig chest01 (Dada atas) dan spine (tulang belakang) yang berelasi dengan kontrol animasi masing – masing bagian dan setiap kontrol animasi berelasi pada kontrol animasi Chest (Kontrol Dada Utama).



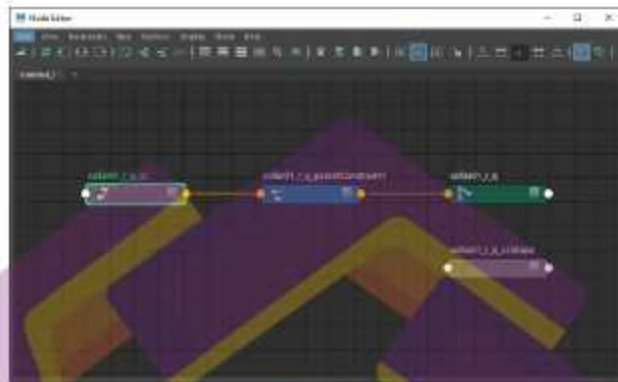
Gambar 4. 26. Node view hubungan control animasi Neck01 (Kontrol Leher)

Pada Gambar 4.26 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan kontrol animasi Neck (Kontrol Leher), yaitu rig neck (kepala) yang berelasi dengan kontrol Neck (Kontrol Leher).



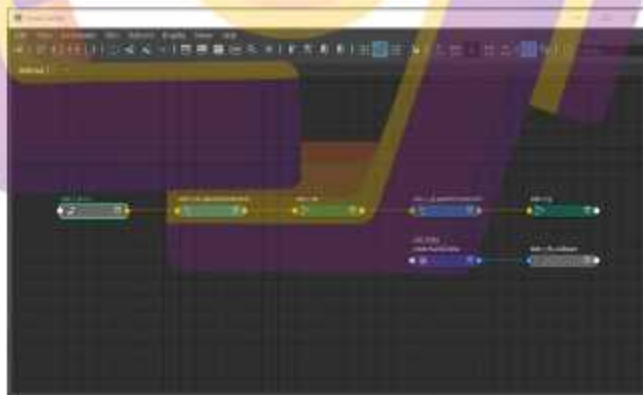
Gambar 4. 27. Node view hubungan control animasi Collar01_L (Kontrol Bahu Kiri)

Pada Gambar 4.27 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan kontrol animasi *Collar01_L* (bahu kiri), yaitu rig *Collar01_L* (bahu kiri) yang berelasi dengan kontrol *Collar01_L* (bahu kiri).



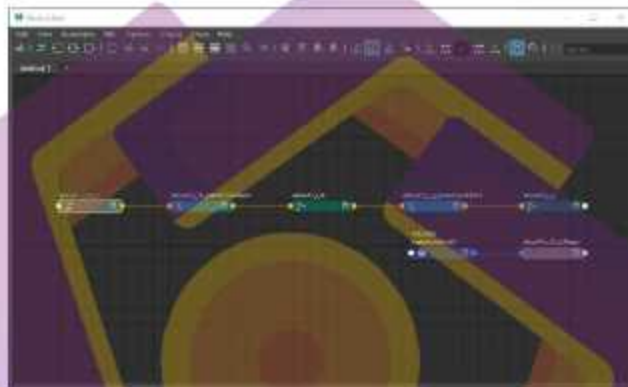
Gambar 4. 28. *Node view* hubungan control animasi *Collar01_R* (Kontrol Bahu Kanan)

Pada Gambar 4.28 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan kontrol animasi *Collar01_R* (bahu kanan), yaitu rig *Collar01_R* (bahu kanan) yang berelasi dengan kontrol *Collar01_R* (bahu kanan).



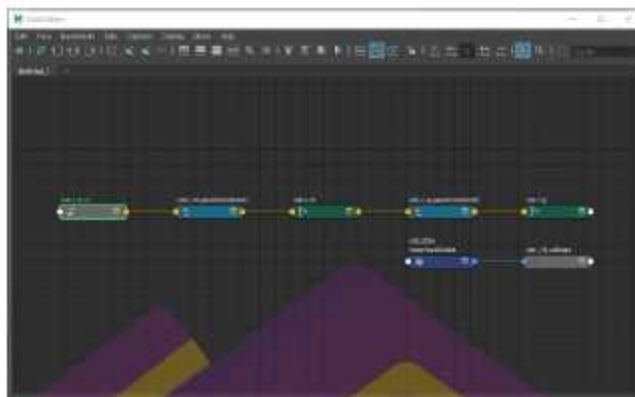
Gambar 4. 29. *Node view* hubungan control animasi *Hand_R_FK* (Kontrol Tangan Kanan Forward Kinematics)

Pada Gambar 4.29 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan kontrol animasi *Hand_R_FK* (Kontrol Tangan Kanan Forward Kinematics), yaitu rig *palm_r* (telapak tangan kanan) dan rig *hand_r_fk* (tangan kanan *forward kinematics*) yang berelasi dengan kontrol animasi masing – masing bagian dan setiap kontrol animasi berelasi pada kontrol animasi *Hand_R_FK* (Kontrol Tangan Kanan Forward Kinematics Utama).



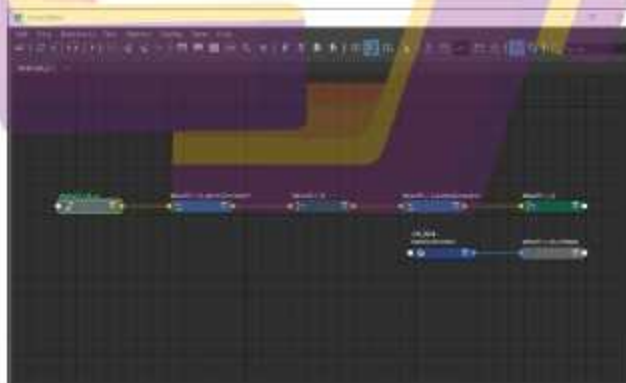
Gambar 4. 30. *Node view* hubungan control animasi *Hand_R_PV* (Kontrol Siku Kanan)

Pada Gambar 4.30 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan kontrol animasi *Hand_R_PV* (Kontrol Siku Kanan), yaitu rig *Hand_R_PV* (Siku Kanan), yang berelasi dengan kontrol animasi *Hand_R_PV* (Kontrol Siku Kanan).



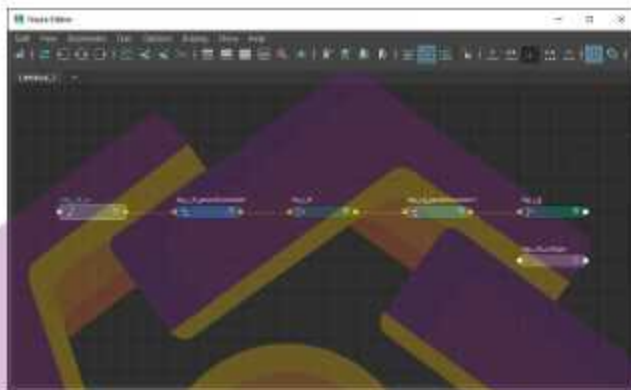
Gambar 4. 31. *Node view* hubungan kontrol animasi *Hand_L_FK* (Kontrol Tangan Kiri Forward Kinematics)

Pada Gambar 4.31 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan kontrol animasi *Hand_L_FK* (Kontrol Tangan Kiri Forward Kinematics), yaitu rig *palm_l* (telapak tangan kiri) dan rig *hand_l_fk* (tangan kiri *Forward kinematics*) yang berelasi dengan kontrol animasi masing – masing bagian dan setiap kontrol animasi berelasi pada kontrol animasi *Hand_l_FK* (Kontrol Tangan Kiri Forward Kinematics Utama).



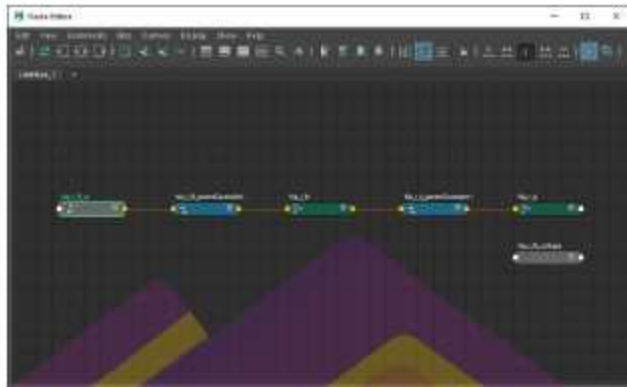
Gambar 4. 32. *Node view* hubungan control animasi *Hand_L_PV* (Kontrol Siku Kiri)

Pada Gambar 4.32 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan kontrol animasi *Hand_L_PV* (Kontrol Siku Kiri), yaitu rig *Hand_L_PV* (Siku Kiri), yang berelasi dengan kontrol animasi *Hand_L_PV* (Kontrol Siku Kiri).



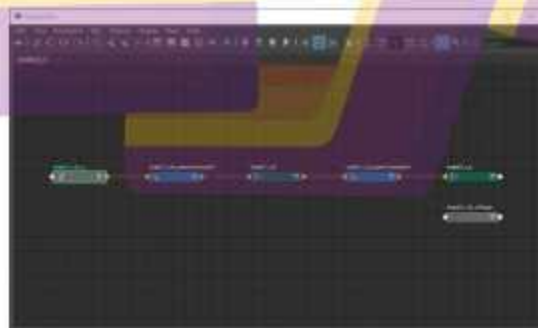
Gambar 4. 33. *Node view* hubungan control animasi *Foot_L_FK* (Kontrol Kaki Kiri ForwardKinematics)

Pada Gambar 4.33 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan kontrol animasi *Foot_L_FK* (Kontrol Kaki Kiri Forward Kinematics), yaitu rig *outbank_l*, *ankle_l*, *inbank_l*, *ball_l_fk*, *heel_l*, *swivel_l*, *toe_l_fk* yang berelasi dengan kontrol animasi masing – masing bagian dan setiap kontrol animasi berelasi pada kontrol animasi *Foot_L_FK* (Kontrol Kaki Kiri Forward Kinematics Utama).



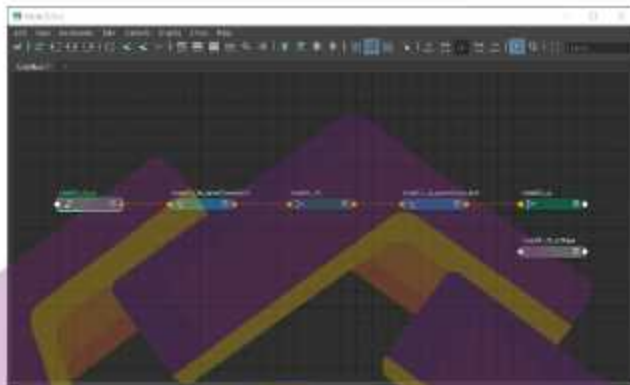
Gambar 4. 34. *Node view* hubungan control animasi *Foot_R_FK* (Kontrol Kaki Kanan Forward Kinematics)

Pada Gambar 4.34 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan control animasi *Foot_R_FK* (Kontrol Kaki Kanan Forward Kinematics), yaitu rig *outbank_r*, *ankle_r*, *inbank_r*, *ball_r_fk*, *heel_r*, *swivel_r*, *toe_r_fk* yang berelasi dengan control animasi masing – masing bagian dan setiap control animasi berelasi pada control animasi *Foot_R_FK* (Kontrol Kaki Kanan Forward Kinematics Utama).



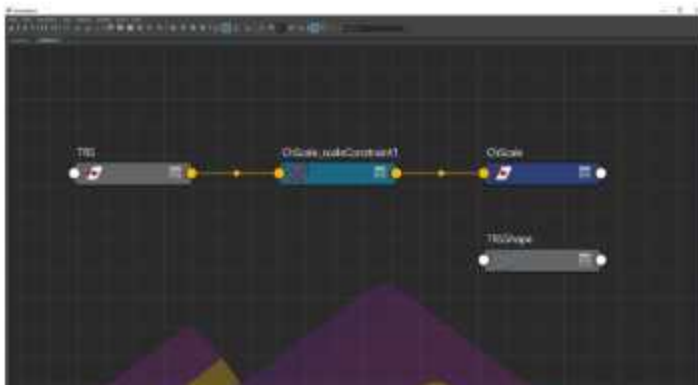
Gambar 4. 35. *Node view* hubungan control animasi *Leg_L_PV* (Kontrol Lutut Kiri)

Pada Gambar 4.35 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan kontrol animasi *Leg_L_PV* (Kontrol Lutut Kiri), yaitu rig *Leg_L_PV* (Lutut Kiri), yang berelasi dengan kontrol animasi *Leg_L_PV* (Kontrol Lutut Kiri).



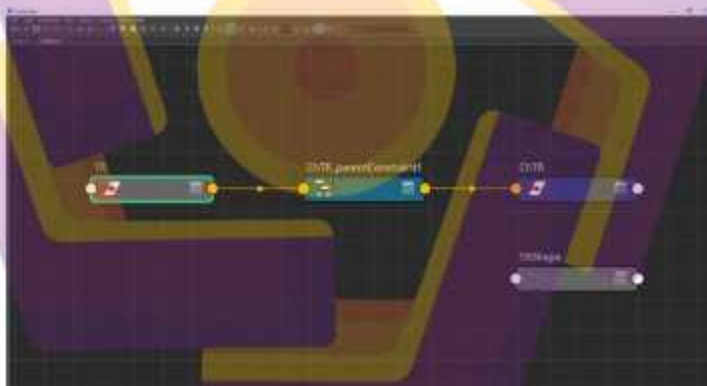
Gambar 4. 36. *Node view* hubungan control animasi *Leg_R_PV* (Kontrol Lutut Kanan)

Pada Gambar 4.36 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan kontrol animasi *Leg_R_PV* (Kontrol Lutut Kanan), yaitu rig *Leg_R_PV* (Lutut Kanan), yang berelasi dengan kontrol animasi *Leg_R_PV* (Kontrol Lutut Kanan).



Gambar 4. 37. *Node view* hubungan control animasi *TRS* (Kontrol Skala Karakter 3D)

Pada Gambar 4.37 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan control animasi *TRS* (Kontrol Skala Karakter 3D), control animasi ini ialah untuk mengatur perbesar dan perkecil objek 3D karakter.



Gambar 4. 38. *Node view* hubungan control animasi *TR* (Kontrol Posisi Karakter 3D)

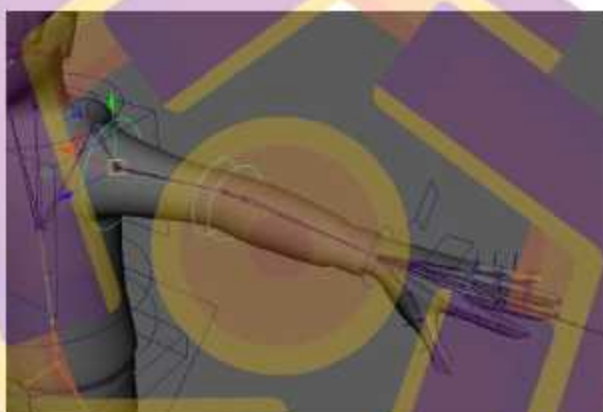
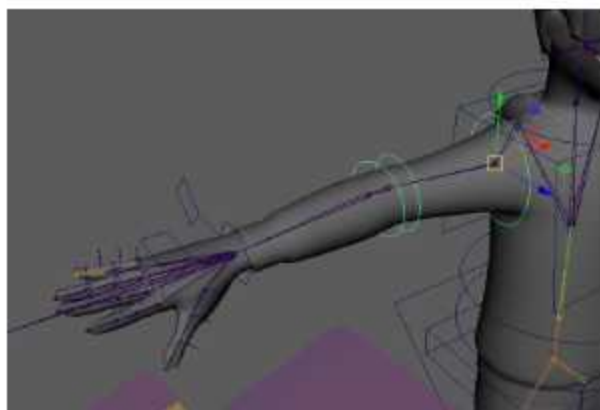
Pada Gambar 4.38 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan control animasi *TR* (Kontrol Posisi Karakter 3D), control animasi ini ialah untuk mengatur perpindahan posisi pada objek 3D karakter.

4.3 Implementasi Gerak

4.3.1 Penerapan derajat kebebasan tulang (*Degree of Freedom*)

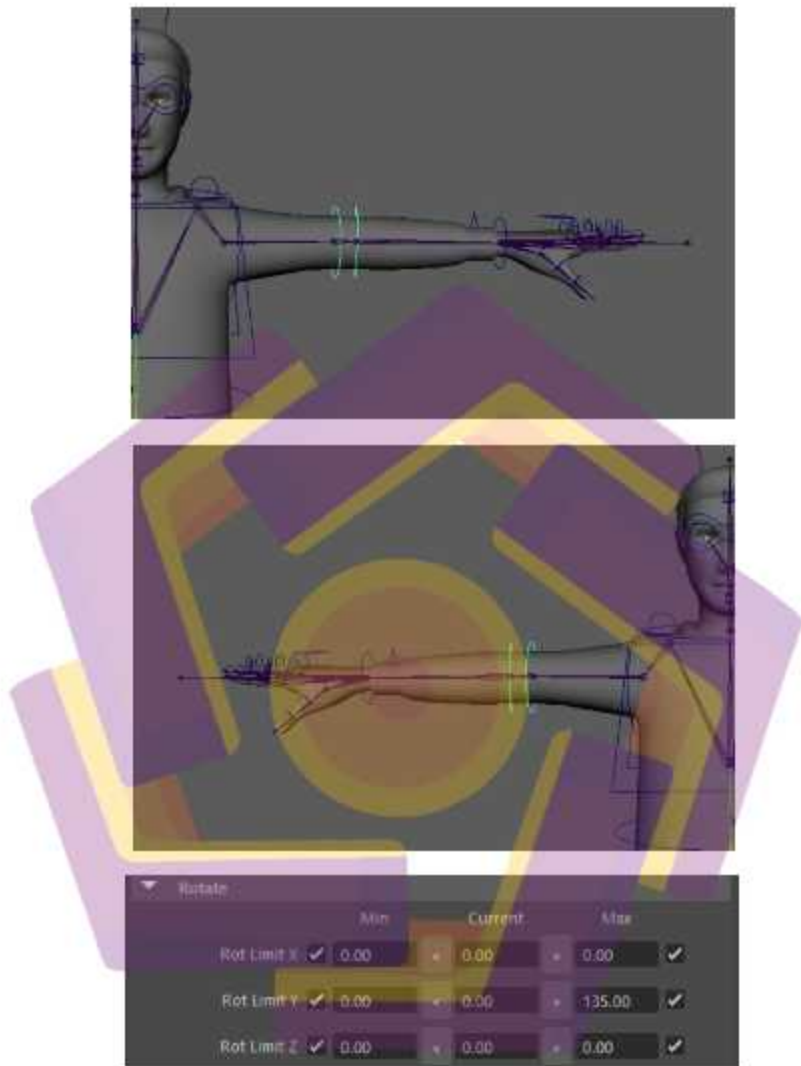
Tahap selanjutnya adalah penerapan derajat kebebasan tulang (*Degree of Freedom*) pada rigging/tulang animasi 3D menggunakan metode *forward kinematics*. Pada software Autodesk Maya, tahap pertama untuk menerapkan derajat kebebasan tulang (*Degree of Freedom*) yaitu dengan menentukan sumbu rotasi x,y dan z dari setiap bagian tubuh karakter yang akan diterapkan derajat kebebasan tulang (*Degree of Freedom*) berdasarkan analisis derajat sendi sebelumnya. Hal ini bertujuan agar gerakan animasi yang dihasilkan dari karakter dapat terlihat seperti gerakan manusia yang sebenarnya dengan batas-batas minimal dan maksimal gerak setiap tubuh yang dimiliki.



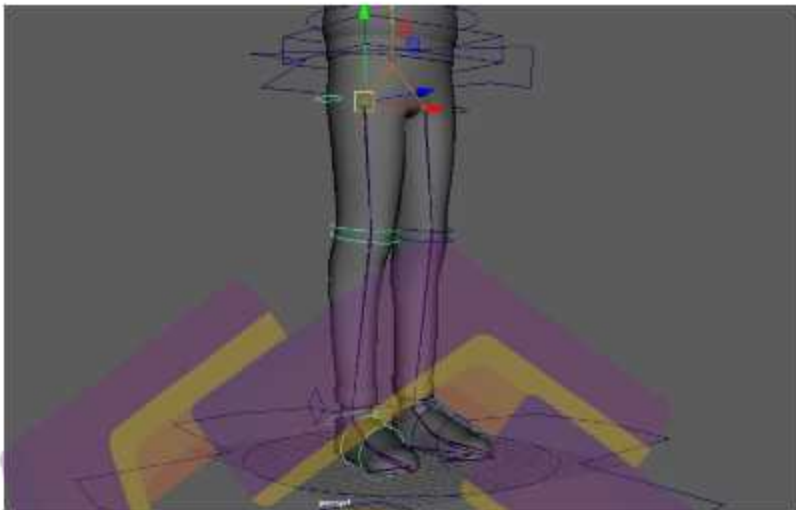


	Min	Current	Max
Rot Limit X	-35.00	0.00	200.00
Rot Limit Y	-15.00	0.00	135.00
Rot Limit Z	0.00	0.00	0.00

Gambar 4. 39. Setting sudut derajat min/max tulang bahu kanan dan kiri

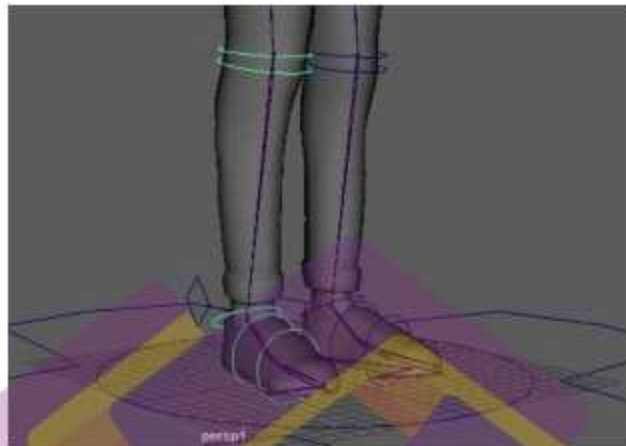


Gambar 4. 40. Setting sudut derajat min/max tulang siku kanan dan kiri



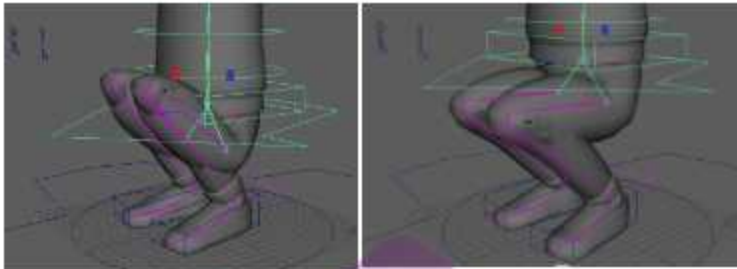
Limit Information			
Translate			
Rotate			
	Min	Current	Max
Rot Limit 0	0.000	0.000	0.000
Rot Limit 1	-145.000	0.000	0.000
Rot Limit 2	95.000	0.000	90.000

Gambar 4. 41. Setting sudut derajat min/max tulang pangkal paha kanan dan kiri



Gambar 4. 42. Setting sudut derajat min/max tulang lutut kanan dan kiri

Perubahan yang terjadi pada karakter setelah sudut minimal dan maksimal diterapkan yaitu ketika *end effector* dari suatu bagian tubuh digerakkan, maka *joint-joint* yang terdapat pada bagian tersebut menghasilkan artikulasi sudut yang mempunyai batasan, sehingga setiap bagian tubuh hanya dapat digerakkan sesuai dengan range sudut yang telah ditentukan.



Gambar 4. 43. Sebelum dan sesudah setting sudut derajat min/max

Gambar di atas menunjukkan sebelum dan sesudah penerapan sudut derajat minimal dan maksimal terhadap kaki karakter. Sebelum sudut derajat min/maks diterapkan, kaki karakter dapat digerakkan dengan bebas tanpa batasan arah, sehingga gerakan yang dihasilkan seperti pada paha dan lutut tidak sesuai dengan gerakan manusia. Sedangkan setelah menerapkan sudut derajat min/maks, gerakan kaki karakter akan tetap menghasilkan sudut artikulasi yang sesuai dengan gerakan manusia aslinya walaupun *end effector* pada kaki karakter digerakkan ke segala arah.

4.3.3 Pembuatan Gerakan Animasi

Selanjutnya, setelah karakter 3D selesai dianalisis, maka proses pengujian animasi dapat dilakukan. Tahap pembuatan gerakan animasi diawali dengan membuat keyframe yaitu gerakan kunci yang menentukan titik awal dan akhir dari setiap transisi, yang kemudian di antaranya disisipkan frame *inbetween* (gambar sisip). Setiap frame terdiri dari satu gambar statis yang kemudian ditampilkan dalam ukuran kecepatan yang disebut dengan *Frame Rates* dengan satuannya yaitu *Frame Per Second* (FPS) atau Frame per Detik.

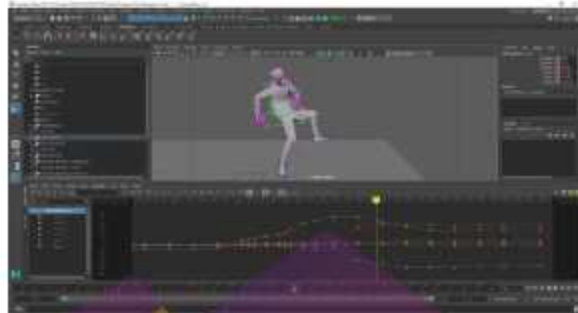
Frame rate minimal yang biasa digunakan dalam animasi yaitu 12 FPS yang artinya dalam satu detik terdapat 12 frame gerakan. Pada kecepatan dibawah 10-12 fps, mata manusia masih mampu membedakan antara gambar satu dengan lainnya ketika gambar tersebut ditampilkan secara berurutan, namun jika *frame rates* yang digunakan lebih tinggi yaitu 18-26 fps, otak manusia akan menerima gambar tersebut sebagai gambar bergerak dan mulai sulit untuk membedakan masing-masing gambar sehingga hasil animasi akan terlihat nyata.

Pada penelitian ini, jumlah frame gerakan yang dibuat yaitu sebanyak 24 frame per detiknya (24 FPS). Untuk pengujian gerak animasi dilakukan oleh salah satu animator senior MSV Studio bernama Intan Laila Sari yang telah menjadi seorang animator sejak tahun 2011 hingga sekarang.



Gambar 4. 44. Proses pengujian gerakan animasi 3D yang dilakukan oleh animator senior MSV

Tahap pertama ialah membuat gerakan keyframe dan selanjutnya adalah menambahkan gerakan sisip (*inbetween*) di antara keyframe-keyframe tersebut agar gerakan terlihat halus. Dalam proses pembuatan gerakan animasi ini menggunakan software Autodesk Maya 2017



Gambar 4. 45. Pose Keyframe Karakter 3D tanpa DoF



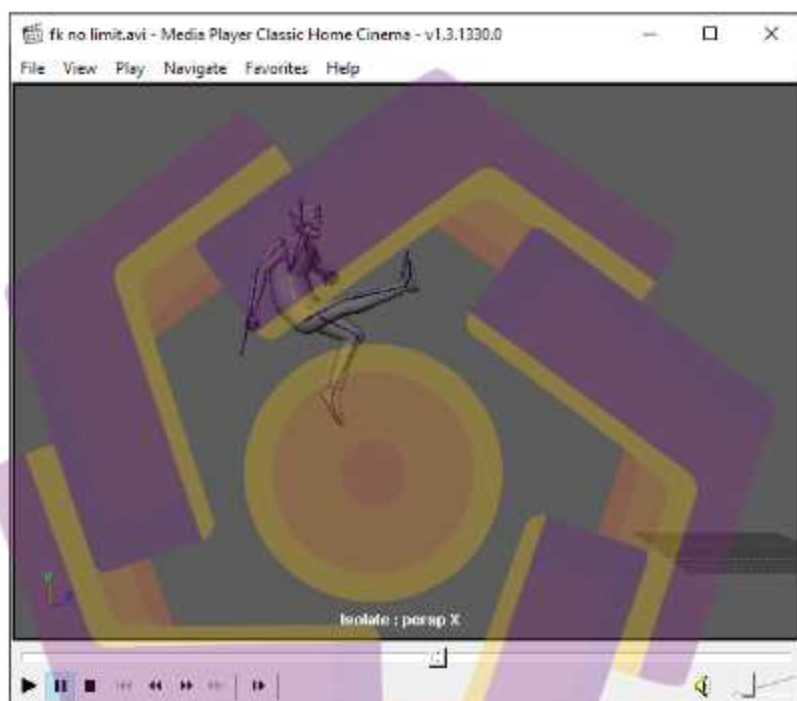
Gambar 4. 46. Pose Keyframe Karakter 3D menggunakan DoF

Animasi 3D gerakan beladiri *jumpkick* yang telah selesai dibuat kemudian akan dirender dan diekspor ke dalam bentuk video yang pada penelitian ini menggunakan format video .mp4 untuk nantinya akan diputar sebagai hasil akhir animasi dan akan diuji hasil gerakannya.

4.4 Testing Gerakan Animasi

Pengujian/testing model gerakan dilakukan dengan dua tahap pengujian yaitu pengujian prinsip animasi dan pengujian dengan membandingkan *path* dari hasil animasi 3D dan video *live shoot*. Untuk pengujian pertama, yaitu dengan menguji apakah hasil animasi 3D telah memenuhi prinsip-prinsip animasi atau

tidak, hasil animasi yang telah dibuat akan diputar melalui *software* pemutar video yang dalam penelitian ini yaitu Media Player Classic. Kemudian pengujian dimulai dengan mengamati pergerakan animasi tersebut dan mencatat setiap gerakan yang berkaitan dengan prinsip animasi.



Gambar 4. 47. Hasil animasi 3D pada Media Player Classic

Kemudian video animasi juga akan diuji dengan membuat path masing-masing bagian tubuh yang bergerak menggunakan *software* Tracker, dan hasil path video animasi 3D akan dibandingkan dengan hasil path dari video referensi yang merupakan *live shoot*. Penggunaan *software* ini akan membantu dalam merekam gerakan dan akan menentukan titik koordinat setiap gerakan sehingga tingkat

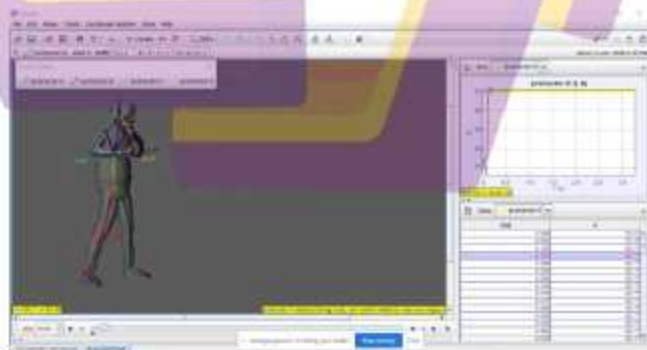
kemiripan kedua gerakan dapat diketahui berdasarkan titik koordinat yang dihasilkan.



Gambar 4. 48. Proses pengujian gerakan video referensi



Gambar 4. 49. Proses pengujian gerakan animasi 3D menggunakan DoF



Gambar 4. 50. Proses pengujian gerakan animasi 3D tanpa DoF

Dari hasil yang didapatkan dari kedua pengujian tersebut selanjutnya akan dijadikan pembahasan pada tahap berikutnya yaitu analisis hasil sehingga dari pembahasan tersebut nantinya akan diperoleh kesimpulan dan saran dari penelitian.

4.5 Hasil Pengujian

4.5.1 Pengujian Video Referensi

Setelah pengukuran sudut dilakukan, didapatkan hasil yang disajikan dalam bentuk pada gambar berikut ini menunjukkan tampilan tabel hasil pengujian gerakan video referensi.

The image shows two side-by-side Excel spreadsheets. The left spreadsheet is titled 'gerakan C' and the right is titled 'gesture C'. Both contain two columns of data: the first column lists numerical values (likely angles) and the second column lists corresponding values in degrees. The data points are as follows:

gerakan C	gesture C
2.400	108.82
2.440	111.47
2.520	114.47
2.560	115.37
2.700	115.37
2.840	111.47
2.940	115.37
2.980	115.37
3.120	115.37
3.160	115.37
3.200	115.37
3.240	115.37
3.280	115.37
3.320	115.37
3.360	115.37
3.400	115.37
3.440	115.37
3.480	115.37
3.520	115.37
3.560	115.37
3.600	115.37
3.640	115.37
3.680	115.37
3.720	115.37
3.760	115.37
3.800	115.37
3.840	115.37
3.880	115.37
3.920	115.37
3.960	115.37
4.000	115.37
4.040	115.37
4.080	115.37
4.120	115.37
4.160	115.37
4.200	115.37
4.240	115.37
4.280	115.37
4.320	115.37
4.360	115.37
4.400	115.37
4.440	115.37
4.480	115.37
4.520	115.37
4.560	115.37
4.600	115.37
4.640	115.37
4.680	115.37
4.720	115.37
4.760	115.37
4.800	115.37
4.840	115.37
4.880	115.37
4.920	115.37
4.960	115.37
5.000	115.37

Gambar 4. 51. Tampilan tabel hasil pengukuran sudut tangan kanan video referensi

The image shows two side-by-side Excel spreadsheets, both titled 'protractor D'. Each spreadsheet has a column for '100' and a column for '0'. The data consists of numerical values in the '100' column and corresponding angle measurements in degrees in the '0' column. The values in the '100' column range from 0.000 to 1.200 in increments of 0.100. The angle measurements in the '0' column range from approximately 56.3 to 113.7 degrees.

Gambar 4. 52. Tampilan tabel hasil pengukuran sudut tangan kiri videoreferensi

The image shows two side-by-side Excel spreadsheets, both titled 'protractor A'. Each spreadsheet has a column for '100' and a column for '0'. The data consists of numerical values in the '100' column and corresponding angle measurements in degrees in the '0' column. The values in the '100' column range from 1.200 to 0.700 in increments of 0.100. The angle measurements in the '0' column range from approximately 113.7 to 56.3 degrees.

Gambar 4. 53. Tampilan tabel hasil pengukuran sudut kaki kanan videoreferensi

FOI	0	FOI	0
0.000	981.97	1.500	545.17
0.080	983.17	1.600	576.27
0.160	948.27	1.680	563.17
0.240	947.17	1.760	572.27
0.320	942.27	1.840	545.17
0.400	939.17	1.920	592.17
0.480	938.87	2.000	547.17
0.560	944.17	2.080	541.17
0.640	938.87	2.160	527.17
0.720	939.17	2.240	527.17
0.800	939.17	2.320	527.17
0.880	933.07	2.400	527.17
0.960	925.07	2.480	518.17
1.040	942.17	2.560	538.27
1.120	965.17	2.640	532.17
1.200	967.87	2.720	535.17
1.280	945.17	2.800	549.17
1.360	909.27	2.880	579.47
1.440	982.27	2.960	561.17
1.500	974.27	3.040	558.17
		3.120	568.17
		3.200	563.17
		3.280	561.17
		3.360	560.17
		3.440	560.17
		3.520	560.17
		3.600	560.17
		3.680	560.17
		3.760	560.17
		3.840	560.17
		3.920	560.17
		4.000	560.17
		4.080	560.17
		4.160	560.17
		4.240	560.17
		4.320	560.17
		4.400	560.17
		4.480	560.17
		4.560	560.17
		4.640	560.17
		4.720	560.17
		4.800	560.17
		4.880	560.17
		4.960	560.17
		5.040	560.17
		5.120	560.17
		5.200	560.17
		5.280	560.17
		5.360	560.17
		5.440	560.17
		5.520	560.17
		5.600	560.17
		5.680	560.17
		5.760	560.17
		5.840	560.17
		5.920	560.17
		6.000	560.17

Gambar 4. 54. Tampilan tabel hasil pengukuran sudut kaki kiri video referensi

4.5.2 Pengujian Gerakan Animasi 3D dengan Menerapkan Sudut Derajat Kebebasan Pada Sendi (Degrees Of Freedom)

Setelah pengukuran sudut dilakukan, didapatkan hasil yang disajikan dalam bentuk pada gambar berikut ini menunjukkan tampilan tabel hasil pengujian gerakan animasi 3D menggunakan sudut derajat maksimal.

The image shows two side-by-side Excel spreadsheets, both titled 'protractor C'. Each spreadsheet has two columns: 'F00' and '0'. The data in both spreadsheets is identical, consisting of 30 rows of numerical values. The values in the 'F00' column range from 0.000 to 1.360, and the values in the '0' column range from 88.9 to 93.4. The data points are as follows:

F00	0
0.000	88.9
0.040	79.2
0.080	63.2
0.120	63.2
0.160	63.0
0.200	61.0
0.240	64.0
0.280	63.0
0.320	65.0
0.360	65.0
0.400	67.0
0.440	70.0
0.480	70.0
0.520	68.0
0.560	70.0
0.600	68.0
0.640	68.0
0.680	68.0
0.720	68.0
0.760	68.0
0.800	68.0
0.840	68.0
0.880	68.0
0.920	68.0
0.960	68.0
1.000	68.0
1.040	68.0
1.080	68.0
1.120	68.0
1.160	68.0
1.200	68.0
1.240	68.0
1.280	68.0
1.320	68.0
1.360	68.0

Gambar 4. 55. Tampilan tabel hasil pengukuran sudut tangan kanan video animasi menggunakan DoF

The image shows two side-by-side Excel spreadsheets, both titled 'protractor B'. Each spreadsheet has two columns: 'F00' and '0'. The data in both spreadsheets is identical, consisting of 30 rows of numerical values. The values in the 'F00' column range from 0.000 to 1.360, and the values in the '0' column range from 88.2 to 93.4. The data points are as follows:

F00	0
0.000	88.2
0.040	78.4
0.080	62.0
0.120	62.0
0.160	62.0
0.200	60.0
0.240	63.0
0.280	62.0
0.320	64.0
0.360	64.0
0.400	66.0
0.440	69.0
0.480	69.0
0.520	67.0
0.560	69.0
0.600	67.0
0.640	67.0
0.680	67.0
0.720	67.0
0.760	67.0
0.800	67.0
0.840	67.0
0.880	67.0
0.920	67.0
0.960	67.0
1.000	67.0
1.040	67.0
1.080	67.0
1.120	67.0
1.160	67.0
1.200	67.0
1.240	67.0
1.280	67.0
1.320	67.0
1.360	67.0

Gambar 4. 56. Tampilan tabel hasil pengukuran sudut tangan kiri video animasi menggunakan DoF.

time	θ	time	θ
0.000	117.00	1.940	101.1
0.140	116.9	1.980	101.2
0.280	116.9	2.020	101.3
0.420	116.9	2.060	101.3
0.560	116.9	2.100	101.3
0.700	116.9	2.140	101.3
0.840	116.9	2.180	101.3
0.980	116.9	2.220	101.3
1.120	116.9	2.260	101.3
1.260	116.9	2.300	101.3
1.400	116.9	2.340	101.3
1.540	116.9	2.380	101.3
1.680	116.9	2.420	101.3
1.820	116.9	2.460	101.3
1.960	116.9	2.500	101.3
2.100	116.9	2.540	101.3
2.240	116.9	2.580	101.3
2.380	116.9	2.620	101.3
2.520	116.9	2.660	101.3
2.660	116.9	2.700	101.3
2.800	116.9	2.740	101.3
2.940	116.9	2.780	101.3
3.080	116.9	2.820	101.3
3.220	116.9	2.860	101.3
3.360	116.9	2.900	101.3
3.500	116.9	2.940	101.3
3.640	116.9	2.980	101.3
3.780	116.9	3.020	101.3
3.920	116.9	3.060	101.3
4.060	116.9	3.100	101.3
4.200	116.9	3.140	101.3
4.340	116.9	3.180	101.3
4.480	116.9	3.220	101.3
4.620	116.9	3.260	101.3
4.760	116.9	3.300	101.3
4.900	116.9	3.340	101.3
5.040	116.9	3.380	101.3
5.180	116.9	3.420	101.3
5.320	116.9	3.460	101.3
5.460	116.9	3.500	101.3
5.600	116.9	3.540	101.3
5.740	116.9	3.580	101.3
5.880	116.9	3.620	101.3
6.020	116.9	3.660	101.3
6.160	116.9	3.700	101.3
6.300	116.9	3.740	101.3
6.440	116.9	3.780	101.3
6.580	116.9	3.820	101.3
6.720	116.9	3.860	101.3
6.860	116.9	3.900	101.3
7.000	116.9	3.940	101.3
7.140	116.9	3.980	101.3
7.280	116.9	4.020	101.3
7.420	116.9	4.060	101.3
7.560	116.9	4.100	101.3
7.700	116.9	4.140	101.3
7.840	116.9	4.180	101.3
7.980	116.9	4.220	101.3
8.120	116.9	4.260	101.3
8.260	116.9	4.300	101.3
8.400	116.9	4.340	101.3
8.540	116.9	4.380	101.3
8.680	116.9	4.420	101.3
8.820	116.9	4.460	101.3
8.960	116.9	4.500	101.3
9.100	116.9	4.540	101.3
9.240	116.9	4.580	101.3
9.380	116.9	4.620	101.3
9.520	116.9	4.660	101.3
9.660	116.9	4.700	101.3
9.800	116.9	4.740	101.3
9.940	116.9	4.780	101.3
10.080	116.9	4.820	101.3
10.220	116.9	4.860	101.3
10.360	116.9	4.900	101.3
10.500	116.9	4.940	101.3
10.640	116.9	4.980	101.3
10.780	116.9	5.020	101.3
10.920	116.9	5.060	101.3
11.060	116.9	5.100	101.3
11.200	116.9	5.140	101.3
11.340	116.9	5.180	101.3
11.480	116.9	5.220	101.3
11.620	116.9	5.260	101.3
11.760	116.9	5.300	101.3
11.900	116.9	5.340	101.3
12.040	116.9	5.380	101.3
12.180	116.9	5.420	101.3
12.320	116.9	5.460	101.3
12.460	116.9	5.500	101.3
12.600	116.9	5.540	101.3
12.740	116.9	5.580	101.3
12.880	116.9	5.620	101.3
13.020	116.9	5.660	101.3
13.160	116.9	5.700	101.3
13.300	116.9	5.740	101.3
13.440	116.9	5.780	101.3
13.580	116.9	5.820	101.3
13.720	116.9	5.860	101.3
13.860	116.9	5.900	101.3
14.000	116.9	5.940	101.3
14.140	116.9	5.980	101.3
14.280	116.9	6.020	101.3
14.420	116.9	6.060	101.3
14.560	116.9	6.100	101.3
14.700	116.9	6.140	101.3
14.840	116.9	6.180	101.3
14.980	116.9	6.220	101.3
15.120	116.9	6.260	101.3
15.260	116.9	6.300	101.3
15.400	116.9	6.340	101.3
15.540	116.9	6.380	101.3
15.680	116.9	6.420	101.3
15.820	116.9	6.460	101.3
15.960	116.9	6.500	101.3
16.100	116.9	6.540	101.3
16.240	116.9	6.580	101.3
16.380	116.9	6.620	101.3
16.520	116.9	6.660	101.3
16.660	116.9	6.700	101.3
16.800	116.9	6.740	101.3
16.940	116.9	6.780	101.3
17.080	116.9	6.820	101.3
17.220	116.9	6.860	101.3
17.360	116.9	6.900	101.3
17.500	116.9	6.940	101.3
17.640	116.9	6.980	101.3
17.780	116.9	7.020	101.3
17.920	116.9	7.060	101.3
18.060	116.9	7.100	101.3
18.200	116.9	7.140	101.3
18.340	116.9	7.180	101.3
18.480	116.9	7.220	101.3
18.620	116.9	7.260	101.3
18.760	116.9	7.300	101.3
18.900	116.9	7.340	101.3
19.040	116.9	7.380	101.3
19.180	116.9	7.420	101.3
19.320	116.9	7.460	101.3
19.460	116.9	7.500	101.3
19.600	116.9	7.540	101.3
19.740	116.9	7.580	101.3
19.880	116.9	7.620	101.3
20.020	116.9	7.660	101.3
20.160	116.9	7.700	101.3
20.300	116.9	7.740	101.3
20.440	116.9	7.780	101.3
20.580	116.9	7.820	101.3
20.720	116.9	7.860	101.3
20.860	116.9	7.900	101.3
21.000	116.9	7.940	101.3
21.140	116.9	7.980	101.3
21.280	116.9	8.020	101.3
21.420	116.9	8.060	101.3
21.560	116.9	8.100	101.3
21.700	116.9	8.140	101.3
21.840	116.9	8.180	101.3
21.980	116.9	8.220	101.3
22.120	116.9	8.260	101.3
22.260	116.9	8.300	101.3
22.400	116.9	8.340	101.3
22.540	116.9	8.380	101.3
22.680	116.9	8.420	101.3
22.820	116.9	8.460	101.3
22.960	116.9	8.500	101.3
23.100	116.9	8.540	101.3
23.240	116.9	8.580	101.3
23.380	116.9	8.620	101.3
23.520	116.9	8.660	101.3
23.660	116.9	8.700	101.3
23.800	116.9	8.740	101.3
23.940	116.9	8.780	101.3
24.080	116.9	8.820	101.3
24.220	116.9	8.860	101.3
24.360	116.9	8.900	101.3
24.500	116.9	8.940	101.3
24.640	116.9	8.980	101.3
24.780	116.9	9.020	101.3
24.920	116.9	9.060	101.3
25.060	116.9	9.100	101.3
25.200	116.9	9.140	101.3
25.340	116.9	9.180	101.3
25.480	116.9	9.220	101.3
25.620	116.9	9.260	101.3
25.760	116.9	9.300	101.3
25.900	116.9	9.340	101.3
26.040	116.9	9.380	101.3
26.180	116.9	9.420	101.3
26.320	116.9	9.460	101.3
26.460	116.9	9.500	101.3
26.600	116.9	9.540	101.3
26.740	116.9	9.580	101.3
26.880	116.9	9.620	101.3
27.020	116.9	9.660	101.3
27.160	116.9	9.700	101.3
27.300	116.9	9.740	101.3
27.440	116.9	9.780	101.3
27.580	116.9	9.820	101.3
27.720	116.9	9.860	101.3
27.860	116.9	9.900	101.3
28.000	116.9	9.940	101.3
28.140	116.9	9.980	101.3
28.280	116.9	10.020	101.3
28.420	116.9	10.060	101.3
28.560	116.9	10.100	101.3
28.700	116.9	10.140	101.3
28.840	116.9	10.180	101.3
28.980	116.9	10.220	101.3
29.120	116.9	10.260	101.3
29.260	116.9	10.300	101.3
29.400	116.9	10.340	101.3
29.540	116.9	10.380	101.3
29.680	116.9	10.420	101.3
29.820	116.9	10.460	101.3
29.960	116.9	10.500	101.3
30.100	116.9	10.540	101.3
30.240	116.9	10.580	101.3
30.380	116.9	10.620	101.3
30.520	116.9	10.660	101.3
30.660	116.9	10.700	101.3
30.800	116.9	10.740	101.3
30.940	116.9	10.780	101.3
31.080	116.9	10.820	101.3
31.220	116.9	10.860	101.3
31.360	116.9	10.900	101.3
31.500	116.9	10.940	101.3
31.640	116.9	10.980	101.3
31.780	116.9	11.020	101.3
31.920	116.9	11.060	101.3
32.060	116.9	11.100	101.3
32.200	116.9	11.140	101.3
32.340	116.9	11.180	101.3
32.480	116.9	11.220	101.3
32.620	116.9	11.260	101.3
32.760	116.9	11.300	101.3
32.900	116.9	11.340	101.3
33.040	116.9	11.380	101.3
33.180	116.9	11.420	101.3
33.320	116.9	11.460	101.3
33.460	116.9	11.500	101.3
33.600	116.9	11.540	101.3
33.740	116.9	11.580	101.3
33.880	116.9	11.620	101.3
34.020	116.9	11.660	101.3
34.160	116.9	11.700	101.3
34.300	116.9	11.740	101.3
34.440	116.9	11.780	101.3
34.580	116.9	11.820	101.3
34.720	116.9	11.860	101.3
34.860	116.9	11.900	101.3
35.000	116.9	11.940	101.3
35.140	116.9	11.980	101.3
35.280	116.9	12.020	101.3
35.420	116.9	12.060	101.3
35.560	116.9	12.100	101.3
35.700	116.9	12.140	101.3
35.840	116.9	12.180	101.3
35.980	116.9	12.220	101.3
36.120	116.9	12.260	101.3
36.260	116.9	12.300	101.3
36.400	116.9	12.340	101.3
36.540	116.9	12.380	101.3
36.680	116.9	12.420	101.3
36.820	116.9	12.460	101.3
36.960	116.9	12.500	101.3
37.100	116.9	12.54	

angka pembilang. Sedangkan jumlah baris yang dihasilkan pada tabel menyesuaikan dengan jumlah frame pada setiap video, dimana pada pengujian video gerakan berjalan yaitu berjumlah 68 baris tabel. Kemudian untuk menunjukkan perbandingan sudut dari ketiga video, maka grafik perbandingan dibuat dengan berdasarkan data yang didapatkan dari tabel pengukuran tersebut.

Berikut ini adalah perbandingan sudut yang terbentuk masing-masing bagian tubuh yang diuji dalam bentuk grafik. Sumbu vertical (y) pada grafik menunjukkan besar *protractor angle* atau sudut yang dihasilkan, sedangkan sumbu horizontal (x) menunjukkan urutan frame.

a. Tangan kanan

Grafik perbandingan sudut siku tangan kanan pada gerakan dapat dilihat pada gambar 4.59 berikut ini.



Gambar 4. 59. Grafik perbandingan sudut tangan kanan pada gerakan animasi menerapkan sudut kebebasan pada sendi (*Degrees of Freedom*)

Berdasarkan grafik 4.59 di atas, gerakan pada tangan kanan banyak mengalami perubahan meskipun telah menerapkan sudut kebebasan pada sendi (*Degrees of Freedom*). Hal tersebut ditunjukkan pada grafik yang berbeda-beda di tiap

framena, ini terjadi dikarenakan dalam proses penganimasian sangat terbatas dan menerapkan sudut kebebasan pada sendi (*Degrees of Freedom*) pada tangan kanan serta dalam proses penganimasian yang menggunakan metode *pose to pose* dan metode *Forward Kinematics*, yang mengakibatkan kurang akuratnya gerak pada tangan kanan.

b. Tangan kiri

Grafik perbandingan sudut siku tangan kiri pada gerakan dapat dilihat pada gambar 4.60 berikut ini.



Gambar 4. 60. Grafik perbandingan sudut tangan kiri pada gerakan animasi menerapkan sudut kebebasan pada sendi (*Degrees of Freedom*)

Berdasarkan grafik 4.60 di atas, gerakan pada tangan kiri juga banyak mengalami perubahan seperti grafik pada tangan kanan sebelumnya, meskipun telah menerapkan sudut kebebasan pada sendi (*Degrees of Freedom*) yang sama

seperti tangan kanan. Hal tersebut ditunjukkan juga pada grafik yang berbeda-beda di tiap framanya, ini terjadi dikarenakan dalam proses penganimasian sangat terbatas dan menerapkan sudut kebebasan pada sendi (*Degrees of Freedom*) pada tangan kiri serta dalam proses penganimasian yang menggunakan metode *pose to pose* dan metode *inverse kinematics*, yang mengakibatkan kurang akuratnya gerak pada tangan kiri.

c. Kaki kanan

Grafik perbandingan sudut kaki kanan pada gerakan dapat dilihat pada gambar 4.61 berikut.



Gambar 4. 61. Grafik perbandingan sudut kaki kanan pada gerakan animasi menerapkan sudut kebebasan pada sendi (*Degrees of Freedom*)

Pada grafik yang dihasilkan dari pergerakan kaki kanan ketika melakukan gerakan menunjukkan pola yang nilainya bervariasi dan dilihat dari grafik masih ada beberapa perubahan yang signifikan meskipun telah menerapkan sudut

kebebasan pada sendi (*Degrees of Freedom*) yang sama seperti tangan kanan dan kiri. Hal tersebut ditunjukkan juga pada grafik yang berbeda-beda ditiapframenya, ini terjadi dikarenakan dalam proses penganimasian yang menerapkan sudut kebebasan pada sendi (*Degrees of Freedom*) pada kaki kanan serta dalam proses penganimasian yang menggunakan metode *pose to pose* dan metode *forward kinematics*.

d. Kaki kiri

Grafik perbandingan sudut kaki kiri pada gerakan dapat dilihat pada gambar 4.62 berikut.



Gambar 4. 62. Grafik perbandingan sudut kaki kiri pada gerakan animasi menerapkan sudut kebebasan pada sendi (*Degrees of Freedom*)

Pada grafik yang dihasilkan dari pergerakan kaki kiri ketika melakukan gerakan juga masih menunjukkan pola yang nilainya bervariasi dan dilihat dari grafik masih ada beberapa perubahan yang berbeda-beda ditiap framenya meskipun

telah menerapkan sudut kebebasan pada sendi (*Degrees of Freedom*) yang sama seperti kaki kanan. Ini terjadi dikarenakan dalam proses penganimasian yang menerapkan sudut kebebasan pada sendi (*Degrees of Freedom*) pada kaki kiri serta dalam proses penganimasian yang menggunakan metode *pose to pose* dan metode *inverse kinematics*.

Berdasarkan hasil dari pengujian pada gerakan animasi 3D yang menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi (*degrees of freedom*), didapatkan data berupa:

Σ *protractor angle* atau sudut yang dihasilkan tangan kanan pada video referensi = 6.486,3

Σ *protractor angle* atau sudut yang dihasilkan tangan kiri pada video referensi = 5.739,9

Σ *protractor angle* atau sudut yang dihasilkan kaki kanan pada video referensi = 10.827,9

Σ *protractor angle* atau sudut yang dihasilkan kaki kiri pada video referensi = 9.730,1

Σ Selisih gerak tangan kanan video referensi dengan

animasi yang menerapkan sudut derajat

kebebasan tangan kanan = 2.549,3

Σ Selisih gerak tangan kiri video referensi dengan

animasi yang menerapkan sudut derajat

kebebasan tangan kiri = 1.850,09

Σ Selisih gerak kaki kanan video referensi dengan

animasi yang menerapkan sudut derajat

kebebasan kaki kanan = 1.591,59

Σ Selisih gerak kaki kiri video referensi dengan

animasi yang menerapkan sudut derajat

kebebasan kaki kiri = 1.883,11

Nilai selisih gerak video referensi dengan gerak animasi pada konteks ini merupakan besarnya selisih perbedaan antara kondisi actual dibandingkan kondisi ideal, sejauh bahwa perbedaan tersebut tidak kegagalan fungsi maupun penurunan fungsi yang signifikan. Dalam hal ini, penurunan fungsi yang dimaksud adalah gerakan yang terlihat kasar dan tidak natural. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan persentase dari tingkat akurasi animasi 3D, yaitu sebagai berikut:

a. Akurasi Gerak tangan kanan:

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase} &= \frac{(\Sigma \text{protractor angle videoreferensi} - \Sigma \text{Selisih gerak}) \Sigma}{\text{protractor angle videoreferensi}} \\
 &\times 100 \\
 &= \frac{(9973,03 - 10352,6)}{9973,03} \times 100 = \mathbf{61,26\%}
 \end{aligned}$$

b. Akurasi Gerak tangan Kiri:

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase} &= \frac{(\Sigma \text{protractor angle video referensi} - \Sigma \text{Selisih gerak})}{\Sigma \text{protractor angle video referensi}} \\
 &\times 100 \\
 &= \frac{(5451,22 - 4680,83)}{5451,22} \times 100 = \mathbf{66,06\%}
 \end{aligned}$$

c. Akurasi Gerak kaki kanan:

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase} &= \frac{(\Sigma \text{protractor angle video referensi} - \Sigma \text{Selisih gerak})}{\Sigma \text{protractor angle video referensi}} \\
 &\times 100 \\
 &= \frac{(10.150,10 - 1.591,59)}{10.150,10} \times 100 = \mathbf{84,31\%}
 \end{aligned}$$

d. Akurasi Gerak kaki Kiri:

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase} &= \frac{(\Sigma \text{protractor angle video referensi} - \Sigma \text{Selisih gerak})}{\Sigma \text{protractor angle video referensi}} \\
 &\times 100 \\
 &= \frac{(9.973,03 - 1.883,11)}{9973,03} \times 100 = \mathbf{81,11\%}
 \end{aligned}$$

e. Akurasi Rata-rata pada gerakan:

Persentase

$$\begin{aligned}
 & \frac{(\text{Akurasi gerak tangan kanan} + \text{Akurasi gerak tangan kiri} + \text{Akurasi gerak kaki kanan} + \text{Akurasi gerak kaki kiri})}{4} \\
 & = \frac{(61,26 + 66,06 + 84,31 + 81,11)}{4} = 73,18\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, didapatkan hasil pengujian pada gerakan animasi 3D yang menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi (degrees of freedom) menggunakan metode *forward kinematics* yaitu sebesar **73,18%**.

4.5.3 Pengujian Pada Gerakan Animasi 3D Tanpa Menerapkan Sudut Derajat Kebebasan Pada Sendi (Degrees Of Freedom)

Setelah pengukuran sudut dilakukan, didapatkan hasil yang disajikan dalam bentuk pada gambar berikut ini menunjukkan tampilan tabel hasil pengujian gerakan animasi 3D tanpa menggunakan sudut derajat maksimal.

protractor C		protractor C	
t	s	t	s
1.942	168.0	1.942	172.0
1.962	169.0	1.962	173.0
1.982	170.0	1.982	174.0
2.002	171.0	2.002	175.0
2.022	172.0	2.022	176.0
2.042	173.0	2.042	177.0
2.062	174.0	2.062	178.0
2.082	175.0	2.082	179.0
2.102	176.0	2.102	180.0
2.122	177.0	2.122	181.0
2.142	178.0	2.142	182.0
2.162	179.0	2.162	183.0
2.182	180.0	2.182	184.0
2.202	181.0	2.202	185.0
2.222	182.0	2.222	186.0
2.242	183.0	2.242	187.0
2.262	184.0	2.262	188.0
2.282	185.0	2.282	189.0
2.302	186.0	2.302	190.0
2.322	187.0	2.322	191.0
2.342	188.0	2.342	192.0
2.362	189.0	2.362	193.0
2.382	190.0	2.382	194.0
2.402	191.0	2.402	195.0
2.422	192.0	2.422	196.0
2.442	193.0	2.442	197.0
2.462	194.0	2.462	198.0
2.482	195.0	2.482	199.0
2.502	196.0	2.502	200.0
2.522	197.0	2.522	201.0
2.542	198.0	2.542	202.0
2.562	199.0	2.562	203.0
2.582	200.0	2.582	204.0
2.602	201.0	2.602	205.0
2.622	202.0	2.622	206.0
2.642	203.0	2.642	207.0
2.662	204.0	2.662	208.0
2.682	205.0	2.682	209.0
2.702	206.0	2.702	210.0
2.722	207.0	2.722	211.0
2.742	208.0	2.742	212.0
2.762	209.0	2.762	213.0
2.782	210.0	2.782	214.0
2.802	211.0	2.802	215.0
2.822	212.0	2.822	216.0
2.842	213.0	2.842	217.0
2.862	214.0	2.862	218.0
2.882	215.0	2.882	219.0
2.902	216.0	2.902	220.0
2.922	217.0	2.922	221.0
2.942	218.0	2.942	222.0
2.962	219.0	2.962	223.0
2.982	220.0	2.982	224.0
3.002	221.0	3.002	225.0
3.022	222.0	3.022	226.0
3.042	223.0	3.042	227.0
3.062	224.0	3.062	228.0
3.082	225.0	3.082	229.0
3.102	226.0	3.102	230.0
3.122	227.0	3.122	231.0
3.142	228.0	3.142	232.0
3.162	229.0	3.162	233.0
3.182	230.0	3.182	234.0
3.202	231.0	3.202	235.0
3.222	232.0	3.222	236.0
3.242	233.0	3.242	237.0
3.262	234.0	3.262	238.0
3.282	235.0	3.282	239.0
3.302	236.0	3.302	240.0
3.322	237.0	3.322	241.0
3.342	238.0	3.342	242.0
3.362	239.0	3.362	243.0
3.382	240.0	3.382	244.0
3.402	241.0	3.402	245.0
3.422	242.0	3.422	246.0
3.442	243.0	3.442	247.0
3.462	244.0	3.462	248.0
3.482	245.0	3.482	249.0
3.502	246.0	3.502	250.0
3.522	247.0	3.522	251.0
3.542	248.0	3.542	252.0
3.562	249.0	3.562	253.0
3.582	250.0	3.582	254.0
3.602	251.0	3.602	255.0
3.622	252.0	3.622	256.0
3.642	253.0	3.642	257.0
3.662	254.0	3.662	258.0
3.682	255.0	3.682	259.0
3.702	256.0	3.702	260.0
3.722	257.0	3.722	261.0
3.742	258.0	3.742	262.0
3.762	259.0	3.762	263.0
3.782	260.0	3.782	264.0
3.802	261.0	3.802	265.0
3.822	262.0	3.822	266.0
3.842	263.0	3.842	267.0
3.862	264.0	3.862	268.0
3.882	265.0	3.882	269.0
3.902	266.0	3.902	270.0
3.922	267.0	3.922	271.0
3.942	268.0	3.942	272.0
3.962	269.0	3.962	273.0
3.982	270.0	3.982	274.0
4.002	271.0	4.002	275.0
4.022	272.0	4.022	276.0
4.042	273.0	4.042	277.0
4.062	274.0	4.062	278.0
4.082	275.0	4.082	279.0
4.102	276.0	4.102	280.0
4.122	277.0	4.122	281.0
4.142	278.0	4.142	282.0
4.162	279.0	4.162	283.0
4.182	280.0	4.182	284.0
4.202	281.0	4.202	285.0
4.222	282.0	4.222	286.0
4.242	283.0	4.242	287.0
4.262	284.0	4.262	288.0
4.282	285.0	4.282	289.0
4.302	286.0	4.302	290.0
4.322	287.0	4.322	291.0
4.342	288.0	4.342	292.0
4.362	289.0	4.362	293.0
4.382	290.0	4.382	294.0
4.402	291.0	4.402	295.0
4.422	292.0	4.422	296.0
4.442	293.0	4.442	297.0
4.462	294.0	4.462	298.0
4.482	295.0	4.482	299.0
4.502	296.0	4.502	300.0
4.522	297.0	4.522	301.0
4.542	298.0	4.542	302.0
4.562	299.0	4.562	303.0
4.582	300.0	4.582	304.0
4.602	301.0	4.602	305.0
4.622	302.0	4.622	306.0
4.642	303.0	4.642	307.0
4.662	304.0	4.662	308.0
4.682	305.0	4.682	309.0
4.702	306.0	4.702	310.0
4.722	307.0	4.722	311.0
4.742	308.0	4.742	312.0
4.762	309.0	4.762	313.0
4.782	310.0	4.782	314.0
4.802	311.0	4.802	315.0
4.822	312.0	4.822	316.0
4.842	313.0	4.842	317.0
4.862	314.0	4.862	318.0
4.882	315.0	4.882	319.0
4.902	316.0	4.902	320.0
4.922	317.0	4.922	321.0
4.942	318.0	4.942	322.0
4.962	319.0	4.962	323.0
4.982	320.0	4.982	324.0
5.002	321.0	5.002	325.0
5.022	322.0	5.022	326.0
5.042	323.0	5.042	327.0
5.062	324.0	5.062	328.0
5.082	325.0	5.082	329.0
5.102	326.0	5.102	330.0
5.122	327.0	5.122	331.0
5.142	328.0	5.142	332.0
5.162	329.0	5.162	333.0
5.182	330.0	5.182	334.0
5.202	331.0	5.202	335.0
5.222	332.0	5.222	336.0
5.242	333.0	5.242	337.0
5.262	334.0	5.262	338.0
5.282	335.0	5.282	339.0
5.302	336.0	5.302	340.0
5.322	337.0	5.322	341.0
5.342	338.0	5.342	342.0
5.362	339.0	5.362	343.0
5.382	340.0	5.382	344.0
5.402	341.0	5.402	345.0
5.422	342.0	5.422	346.0
5.442	343.0	5.442	347.0
5.462	344.0	5.462	348.0
5.482	345.0	5.482	349.0
5.502	346.0	5.502	350.0
5.522	347.0	5.522	351.0
5.542	348.0	5.542	352.0
5.562	349.0	5.562	353.0
5.582	350.0	5.582	354.0
5.602	351.0	5.602	355.0
5.622	352.0	5.622	356.0
5.642	353.0	5.642	357.0
5.662	354.0	5.662	358.0
5.682	355.0	5.682	359.0
5.702	356.0	5.702	360.0
5.722	357.0	5.722	361.0
5.742	358.0	5.742	362.0
5.762	359.0	5.762	363.0
5.782	360.0	5.782	364.0
5.802	361.0	5.802	365.0
5.822	362.0	5.822	366.0
5.842	363.0	5.842	367.0
5.862	364.0	5.862	368.0
5.882	365.0	5.882	369.0
5.902	366.0	5.902	370.0
5.922	367.0	5.922	371.0
5.942	368.0	5.942	372.0
5.962	369.0	5.962	373.0
5.982	370.0	5.982	374.0
6.002	371.0	6.002	375.0
6.022	372.0	6.022	376.0
6.042	373.0	6.042	377.0
6.062	374.0	6.062	378.0
6.082	375.0	6.082	379.0
6.102	376.0	6.102	380.0
6.122	377.0	6.122	381.0
6.142	378.0	6.142	382.0
6.162	379.0	6.162	383.0
6.182	380.0	6.182	384.0
6.202	381.0	6.202	385.0
6.222	382.0	6.222	386.0
6.242	383.0	6.242	387.0
6.262	384.0	6.262	388.0
6.282	385.0	6.282	389.0
6.302	386.0	6.302	390.0
6.322	387.0	6.322	391.0
6.342	388.0	6.342	392.0
6.362	389.0	6.362	393.0
6.382	390.0	6.382	394.0
6.402	391.0	6.402	395.0
6.422	392.0	6.422	396.0
6.442	393.0	6.442	397.0
6.462	394.0	6.462	398.0
6.482	395.0	6.482	399.0
6.502	396.0	6.502	400.0
6.522	397.0	6.522	401.0
6.542	398.0	6.542	402.0
6.562	399.0	6.562	403.0
6.582	400.0	6.582	404.0
6.602	401.0	6.602	405.0
6.622	402.0	6.622	406.0
6.642	403.0	6.642	407.0
6.662	404.0	6.662	408.0
6.682	405.0	6.682	409.0
6.702	406.0	6.702	410.0
6.722	407.0	6.722	411.0
6.742	408.0	6.742	412.0
6.762	409.0	6.762	413.0
6.782	410.0	6.782	414.0
6.802	411.0	6.802	415.0
6.822	412.0	6.822	416.0
6.842	413.0	6.842	417.0
6.862	414.0	6.862	418.0
6.882	415.0	6.882	419.0
6.902	416.0	6.902	420.0
6.922	417.0	6.922	421.0
6.942	418.0	6.942	422.0
6.962	419.0	6.962	423.0
6.982	420.0	6.982	424.0
7.002	421.0	7.002	425.0
7.022	422.0	7.022	426.0
7.042	423.0	7.042	427.0
7.062	424.0	7.062	428.0
7.082	425.0	7.082	429.0
7.102	426.0	7.102	430.0
7.122	427.0	7.122	431.0
7.142	428.0	7.142	432.0
7.162	429.0	7.162	433.0
7.182	430.0	7.182	434.0
7.202	431.0	7.202	435.0
7.222	432.0	7.222	436.0
7.242	433.0	7.242	437.0
7.262	434.0	7.262	438.0
7.282	435.0	7.282	439.0
7.302	436.0	7.302	440.0
7.322	437.0	7.322	441.0
7.342	438.0	7.342	442.0</

LOW	H	HIGHER
3.033	161.1	163.2
3.043	161.4	163.2
3.125	161.7	163.2
3.131	161.4	163.2
3.294	161.1	163.2
3.255	161.4	163.2
3.281	159.7	163.2
3.231	161.7	163.2
3.251	159.2	163.2
3.411	161.7	163.2
3.401	161.4	163.2
3.505	161.1	163.2
3.542	161.1	163.2
3.611	161.4	163.2
3.631	161.7	163.2
3.681	161.4	163.2
3.741	161.7	163.2
3.754	159.7	163.2
3.761	161.7	163.2
3.811	161.4	163.2
3.831	161.7	163.2
3.891	161.4	163.2
3.934	159.7	163.2
3.941	161.7	163.2
3.961	161.4	163.2
3.971	161.7	163.2
3.991	161.4	163.2
4.001	161.7	163.2
4.011	161.4	163.2
4.021	161.7	163.2
4.031	161.4	163.2
4.041	161.7	163.2
4.051	161.4	163.2
4.061	161.7	163.2
4.071	161.4	163.2
4.081	161.7	163.2
4.091	161.4	163.2
4.101	161.7	163.2
4.111	161.4	163.2
4.121	161.7	163.2
4.131	161.4	163.2
4.141	161.7	163.2
4.151	161.4	163.2
4.161	161.7	163.2
4.171	161.4	163.2
4.181	161.7	163.2
4.191	161.4	163.2
4.201	161.7	163.2
4.211	161.4	163.2
4.221	161.7	163.2
4.231	161.4	163.2
4.241	161.7	163.2
4.251	161.4	163.2
4.261	161.7	163.2
4.271	161.4	163.2
4.281	161.7	163.2
4.291	161.4	163.2
4.301	161.7	163.2
4.311	161.4	163.2
4.321	161.7	163.2
4.331	161.4	163.2
4.341	161.7	163.2
4.351	161.4	163.2
4.361	161.7	163.2
4.371	161.4	163.2
4.381	161.7	163.2
4.391	161.4	163.2
4.401	161.7	163.2
4.411	161.4	163.2
4.421	161.7	163.2
4.431	161.4	163.2
4.441	161.7	163.2
4.451	161.4	163.2
4.461	161.7	163.2
4.471	161.4	163.2
4.481	161.7	163.2
4.491	161.4	163.2
4.501	161.7	163.2
4.511	161.4	163.2
4.521	161.7	163.2
4.531	161.4	163.2
4.541	161.7	163.2
4.551	161.4	163.2
4.561	161.7	163.2
4.571	161.4	163.2
4.581	161.7	163.2
4.591	161.4	163.2
4.601	161.7	163.2
4.611	161.4	163.2
4.621	161.7	163.2
4.631	161.4	163.2
4.641	161.7	163.2
4.651	161.4	163.2
4.661	161.7	163.2
4.671	161.4	163.2
4.681	161.7	163.2
4.691	161.4	163.2
4.701	161.7	163.2
4.711	161.4	163.2
4.721	161.7	163.2
4.731	161.4	163.2
4.741	161.7	163.2
4.751	161.4	163.2
4.761	161.7	163.2
4.771	161.4	163.2
4.781	161.7	163.2
4.791	161.4	163.2
4.801	161.7	163.2
4.811	161.4	163.2
4.821	161.7	163.2
4.831	161.4	163.2
4.841	161.7	163.2
4.851	161.4	163.2
4.861	161.7	163.2
4.871	161.4	163.2
4.881	161.7	163.2
4.891	161.4	163.2
4.901	161.7	163.2
4.911	161.4	163.2
4.921	161.7	163.2
4.931	161.4	163.2
4.941	161.7	163.2
4.951	161.4	163.2
4.961	161.7	163.2
4.971	161.4	163.2
4.981	161.7	163.2
4.991	161.4	163.2
5.001	161.7	163.2

Gambar 4. 65. Tampilan tabel hasil pengukuran sudut kaki kanan videoanimasi tanpa DoF

LOW	H	HIGHER
3.033	161.1	163.2
3.043	161.4	163.2
3.125	161.4	163.2
3.131	161.4	163.2
3.294	161.4	163.2
3.255	161.4	163.2
3.281	161.4	163.2
3.231	161.4	163.2
3.411	161.4	163.2
3.401	161.4	163.2
3.505	161.4	163.2
3.542	161.4	163.2
3.611	161.4	163.2
3.631	161.4	163.2
3.681	161.4	163.2
3.741	161.4	163.2
3.754	161.4	163.2
3.761	161.4	163.2
3.811	161.4	163.2
3.831	161.4	163.2
3.891	161.4	163.2
3.934	161.4	163.2
3.941	161.4	163.2
3.961	161.4	163.2
3.971	161.4	163.2
3.991	161.4	163.2
4.001	161.4	163.2
4.011	161.4	163.2
4.021	161.4	163.2
4.031	161.4	163.2
4.041	161.4	163.2
4.051	161.4	163.2
4.061	161.4	163.2
4.071	161.4	163.2
4.081	161.4	163.2
4.091	161.4	163.2
4.101	161.4	163.2
4.111	161.4	163.2
4.121	161.4	163.2
4.131	161.4	163.2
4.141	161.4	163.2
4.151	161.4	163.2
4.161	161.4	163.2
4.171	161.4	163.2
4.181	161.4	163.2
4.191	161.4	163.2
4.201	161.4	163.2
4.211	161.4	163.2
4.221	161.4	163.2
4.231	161.4	163.2
4.241	161.4	163.2
4.251	161.4	163.2
4.261	161.4	163.2
4.271	161.4	163.2
4.281	161.4	163.2
4.291	161.4	163.2
4.301	161.4	163.2
4.311	161.4	163.2
4.321	161.4	163.2
4.331	161.4	163.2
4.341	161.4	163.2
4.351	161.4	163.2
4.361	161.4	163.2
4.371	161.4	163.2
4.381	161.4	163.2
4.391	161.4	163.2
4.401	161.4	163.2
4.411	161.4	163.2
4.421	161.4	163.2
4.431	161.4	163.2
4.441	161.4	163.2
4.451	161.4	163.2
4.461	161.4	163.2
4.471	161.4	163.2
4.481	161.4	163.2
4.491	161.4	163.2
4.501	161.4	163.2
4.511	161.4	163.2
4.521	161.4	163.2
4.531	161.4	163.2
4.541	161.4	163.2
4.551	161.4	163.2
4.561	161.4	163.2
4.571	161.4	163.2
4.581	161.4	163.2
4.591	161.4	163.2
4.601	161.4	163.2
4.611	161.4	163.2
4.621	161.4	163.2
4.631	161.4	163.2
4.641	161.4	163.2
4.651	161.4	163.2
4.661	161.4	163.2
4.671	161.4	163.2
4.681	161.4	163.2
4.691	161.4	163.2
4.701	161.4	163.2
4.711	161.4	163.2
4.721	161.4	163.2
4.731	161.4	163.2
4.741	161.4	163.2
4.751	161.4	163.2
4.761	161.4	163.2
4.771	161.4	163.2
4.781	161.4	163.2
4.791	161.4	163.2
4.801	161.4	163.2
4.811	161.4	163.2
4.821	161.4	163.2
4.831	161.4	163.2
4.841	161.4	163.2
4.851	161.4	163.2
4.861	161.4	163.2
4.871	161.4	163.2
4.881	161.4	163.2
4.891	161.4	163.2
4.901	161.4	163.2
4.911	161.4	163.2
4.921	161.4	163.2
4.931	161.4	163.2
4.941	161.4	163.2
4.951	161.4	163.2
4.961	161.4	163.2
4.971	161.4	163.2
4.981	161.4	163.2
4.991	161.4	163.2
5.001	161.4	163.2

Gambar 4. 66. Tampilan tabel hasil pengukuran sudut kaki kiri videoanimasi tanpa DoF

Selanjutnya pengujian yang sama juga dilakukan pada gerakan menggunakan batas gerak sendi yang ditunjukkan dalam bentuk grafik

perbandingan sudut yang terbentuk masing-masing bagian tubuh yang diuji berdasarkan data dalam tabel pengukuran sudut.

a. Tangan kanan

Grafik perbandingan sudut tangan kanan pada gerakan dapat dilihat pada gambar 4.67 berikut ini.



Gambar 4. 67. Grafik perbandingan sudut tangan kanan pada gerakan animasi tanpa menerapkan sudut kebebasan pada sendi (*Degrees of Freedom*)

Berdasarkan grafik 4.67 di atas, gerakan pada tangan kanan banyak mengalami perubahan sama seperti pengujian pada gerak animasi yang menerapkan sudut kebebasan pada sendi (*Degrees of Freedom*) meskipun pada pengujian tahap ini tidak menerapkan sudut kebebasan pada sendi (*Degrees of Freedom*). Hal tersebut masih ditunjukkan pada grafik yang berbeda-beda di tiap framennya, ini terjadi dikarenakan dalam proses penganimasian sangat terbatas dan menerapkan sudut kebebasan pada sendi (*Degrees of Freedom*) pada tangan kanan serta dalam proses penganimasian yang menggunakan metode *pose to pose* dan metode *forward kinematics*, yang mengakibatkan kurang akuratnya gerak pada tangan kanan.

b. Tangan kiri

Grafik perbandingan sudut siku tangan kiri pada gerakan dapat dilihat pada gambar 4.68 berikut ini.



Gambar 4. 68. Grafik perbandingan sudut tangan kiri pada gerakan animasi tanpa menerapkan sudut kebebasan pada sendi (*Degrees of Freedom*)

Berdasarkan grafik 4.68 di atas, gerakan pada tangan kiri juga banyak mengalami perubahan seperti grafik pada tangan kanan sebelumnya, meskipun tidak menerapkan sudut kebebasan pada sendi (*Degrees of Freedom*) yang sama seperti tangan kanan. Hal tersebut ditunjukkan juga pada grafik yang berbeda-beda di tiap framanya, ini terjadi dikarenakan dalam proses penganimasian sangat terbatas dan menerapkan sudut kebebasan pada sendi (*Degrees of Freedom*) pada tangan kiri serta dalam proses penganimasian yang menggunakan metode *pose to pose* dan metode *forward kinematics*, yang mengakibatkan kurang akuratnya gerak pada tangan kiri.

c. Kaki kanan

Grafik perbandingan sudut kaki kanan pada gerakan dapat dilihat pada gambar 4.69 berikut.



Gambar 4. 69. Grafik perbandingan sudut kaki kanan pada gerakan animasi tanpa menerapkan sudut kebebasan pada sendi (*Degrees of Freedom*)

Pada grafik yang dihasilkan dari pergerakan kaki kanan ketika melakukan gerakan menunjukkan pola yang nilainya bervariasi dan dilihat dari grafik masih ada beberapa perubahan yang signifikan meskipun tidak menerapkan sudut kebebasan pada sendi (*Degrees of Freedom*) yang sama seperti tangan kanan dan kiri. Hal tersebut ditunjukkan juga pada grafik yang berbeda-beda diapframennya, ini terjadi dikarenakan dalam proses penganimasian yang menggunakan metode *pose to pose* dan metode *forward kinematics*

d. Kaki kiri

Grafik perbandingan sudut kaki kiri pada gerakan dapat dilihat pada gambar 4.70 berikut.



Gambar 4. 70. Grafik perbandingan sudut kaki kiri pada gerakan animasi tanpa menerapkan sudut kebebasan pada sendi (*Degrees of Freedom*)

Pada grafik yang dihasilkan dari pergerakan kaki kiri ketika melakukan gerakan juga masih menunjukkan pola yang nilainya bervariasi dan dilihat dari grafik masih ada beberapa perubahan yang berbeda-beda di tiap framenya pengujian ini tanpa menerapkan sudut kebebasan pada sendi (*Degrees of Freedom*) yang sama seperti kaki kanan. dalam proses penganimasian yang menggunakan metode *pose to pose* dan metode *forward kinematics*.

Berdasarkan hasil pengujian pada gerakan animasi 3D tanpa menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi (*degrees of freedom*), didapatkan data berupa:

Σ *protractor angle* atau sudut yang dihasilkan tangan kanan pada video referensi = 6,582,31

Σ *protractor angle* atau sudut yang dihasilkan tangan kiri pada video referensi = 5,451,22

Σ *protractor angle* atau sudut yang dihasilkan

kaki kanan pada video referensi = 10.150,10

Σ protractor angle atau sudut yang dihasilkan

kaki kiri pada video referensi = 9.973,03

Σ Selisih gerak tangan kanan video referensi dengan animasi tanpa menerapkan sudut derajat kebebasan tangan kanan = 2.464,25

Σ Selisih gerak tangan kiri video referensi dengan animasi tanpa menerapkan sudut derajat kebebasan tangan kiri = 1.647,8

Σ Selisih gerak kaki kanan video referensi dengan animasi tanpa menerapkan sudut derajat kebebasan kaki kanan = 1.999,81

Σ Selisih gerak kaki kiri video referensi dengan animasi tanpa menerapkan sudut derajat kebebasan kaki kiri = 1.761,58

Nilai selisih gerak video referensi dengan gerak animasi pada konteks ini merupakan besarnya selisih perbedaan antara kondisi actual dibandingkan kondisi

ideal, sejauh bahwa perbedaan tersebut tidak kegagalan fungsi maupun penurunan fungsi yang signifikan. Dalam hal ini, penurunan fungsi yang dimaksud adalah gerakan yang terlihat kasar dan tidak natural. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan persentase dari tingkat akurasi animasi 3D, yaitu sebagai berikut:

a. Akurasi Gerak tangan kanan:

$$\begin{aligned} \text{Persentase} &= \frac{(\Sigma \text{ protractor angle video referensi} - \Sigma \text{ Selisih gerak})}{\Sigma \text{ protractor angle video referensi}} \\ &\times 100 \\ &= \frac{(6.582,31 - 2.464,25)}{6.582,31} \times 100 = 62,56\% \end{aligned}$$

b. Akurasi Gerak tangan Kiri:

$$\begin{aligned} \text{Persentase} &= \frac{(\Sigma \text{ protractor angle video referensi} - \Sigma \text{ Selisih gerak})}{\Sigma \text{ protractor angle video referensi}} \\ &\times 100 \\ &= \frac{(5451,22 - 1647,80)}{5451,22} \times 100 = 69,77\% \end{aligned}$$

c. Akurasi Gerak kaki kanan:

$$\begin{aligned} \text{Persentase} &= \frac{(\Sigma \text{ protractor angle video referensi} - \Sigma \text{ Selisih gerak})}{\Sigma \text{ protractor angle video referensi}} \\ &\times 100 \\ &= \frac{(1.0150,10 - 1.999,81)}{1.0150,10} \times 100 = 80,29\% \end{aligned}$$

d. Akurasi Gerak kaki Kiri

$$\begin{aligned} \text{Persentase} &= \frac{(\Sigma \text{ protractor angle video referensi} - \Sigma \text{ Selisih gerak})}{\Sigma \text{ protractor angle video referensi}} \\ &\times 100 \\ &= \frac{(9.973,0 - 1.761,58)}{9.973,0} \times 100 = 82,33 \end{aligned}$$

e. Akurasi Rata-rata pada gerakan:

Persentase

$$= \frac{(\text{Akurasi gerak tangan kanan} + \text{Akurasi gerak tangan kiri} + \text{Akurasi gerak kaki kanan} + \text{Akurasi gerak kaki kiri})}{4}$$

$$= \frac{(62,56 + 69,77 + 80,29 + 82,33)}{4} = 73,7375\%$$

Berdasarkan perhitungan di atas, didapatkan hasil pengujian pada gerakan animasi 3D tanpa menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi (degrees of freedom) menggunakan metode *Forward Kinematics* yaitu sebesar 73,7375 %.

4.5.4 Analisis Hasil

Setelah melakukan pengujian gerak animasi oleh animator profesional, diketahui bahwa pada saat manusia melakukan gerakan beladiri, tidak semua sendi pada manusia ikut terlibat dalam terjadinya gerakan tersebut. Sendi mati tidak menghasilkan perubahan sudut meskipun tubuh digerakkan, sedangkan sendi gerak mengalami perubahan sudut yang sesuai dengan pergerakan yang dilakukan oleh objek.

Berdasarkan hasil pengukuran/pengujian sudut dari masing-masing bagian tubuh, sudut yang dihasilkan setiap sendi pada animasi 3 dimensi yang dibuat belum

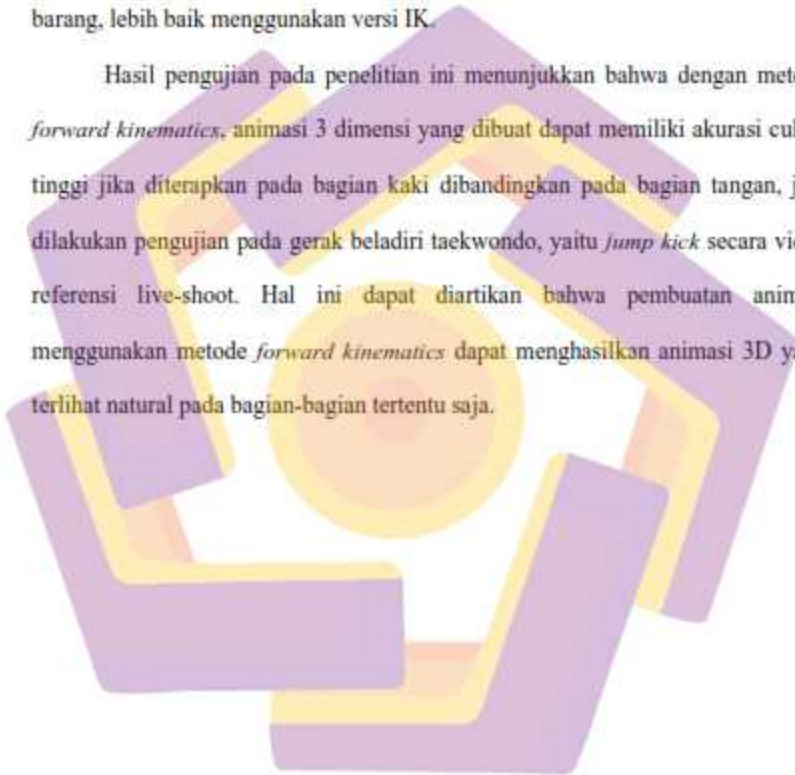
bisa sesuai dengan gerakan manusia secara nyata. Gerakan yang dihasilkan pada animasi 3D menghasilkan sudut gerakan yang berbeda dari sudut kebebasan sendi yang dimiliki oleh manusia, hal ini dikarenakan pada tahap pengujian gerak animasi menggunakan metode *pose to pose*, yang membuat jarak antar keyframe berbeda-beda di tiap *pose* gerakannya, sehingga itu akan berpengaruh pada perbedaan gerakan dengan video referensinya di tiap frame nya.

Metode *forward kinematics* merupakan metode yang bisa untuk diterapkan pada bagian kaki animasi gerakan manusia dengan akurasi sekitar 81,31 %, dan akan lebih akurat jika menggunakan sudut kebebasan sendi (*Degree of Freedom*) dengan nilai akurasi sebesar 82,71% . Dengan metode ini, sudut pada bagian kaki yang akan digerakan dalam animasi dapat dibatasi sehingga segala pergerakan yang dilakukan pada objek animasi tersebut akan mendekati sesuai dengan objek aslinya, akan tetapi sudut pada bagian tangan akan sangat kesulitan digerakan dikarenakan gerak menjadi terbatas jika menggunakan metode *forward kinematics* dengan akurasi sekitar 63,66% dengan menggunakan sudut kebebasan sendi (*Degree of Freedom*). Tetapi jika tanpa menggunakan sudut kebebasan sendi akan lebih akurat dengan akurasi 66,65 %.

Animator pada pengujian gerak animasi 3D ini juga memberikan komentar pada 2 pengujian yang telah dilakukan yaitu, pengujian pada gerakan animasi 3D yang menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi (*degrees of freedom*), begitu banyak masalah yang menyebabkan batas di setiap sumbu seperti memutar dan posisi, karena itulah sebabnya jika akan membuat beberapa gerakan atau membuat beberapa tindakan / tubuh mekanik tidak berfungsi dengan baik karena batasnya

sumbu gerak karakter. Sedangkan pengujian pada gerakan animasi 3D tanpa menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi (*degrees of freedom*) yaitu, pada umumnya rig yang baik kecuali rig tangan harus menggunakan versi FK selama karakter tidak melakukan interaksi / sentuhan dengan hal lain tetapi, jika karakter melakukan beberapa interaksi seperti membawa gelas atau menyentuh beberapa barang, lebih baik menggunakan versi IK.

Hasil pengujian pada penelitian ini menunjukkan bahwa dengan metode *forward kinematics*, animasi 3 dimensi yang dibuat dapat memiliki akurasi cukup tinggi jika diterapkan pada bagian kaki dibandingkan pada bagian tangan, jika dilakukan pengujian pada gerak beladiri taekwondo, yaitu *jump kick* secara video referensi live-shoot. Hal ini dapat diartikan bahwa pembuatan animasi menggunakan metode *forward kinematics* dapat menghasilkan animasi 3D yang terlihat natural pada bagian-bagian tertentu saja.



BAB V

PENUTUP

Bab penutup ini membahas kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian “Analisis Penerapan Pemodelan Gerakan Karakter Manusia Pada Animasi 3D Menggunakan *Forward Kinematics*” beserta saran untuk pengembangan dan penelitian selanjutnya.

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan pada tesis ini, kesimpulan yang dapat diambil yaitu sebagai berikut:

1. Pada pembuatan gerak animasi 3D manusia menggunakan metode forward kinematics, dalam pengaturan sudut derajat kebebasan diterapkan hanya pada sendi gerak, sedangkan untuk sendi mati dan sendi kaku tidak menggunakan pengaturan sudut derajat kebebasan untuk terlihat natural. Ada beberapa parameter yang mempengaruhi untuk membuat animasi 3D karakter manusia memiliki gerak yang natural menggunakan metode forward kinematics ialah penerapan sudut kebebasan pada sendi yang hanya dilakukan pada bagian kaki, dikarenakan memiliki persentase akurasi lebih tinggi dari pada yang tidak menerapkan sudut kebebasan pada sendi yaitu sebesar 1,4%. Sedangkan untuk bagian tangan di rekomendasikan tanpa menerapkan sudut kebebasan karena lebih akurat 2,5% dalam hasilnya di bandingkan menerapkan sudut kebebasan, serta memperhatikan prinsip-prinsip animasi tersebut yang diantaranya ialah *timing and spacing, pose to pose, anticipation, follow through and*

overlapping action, slow in and slow out, arcs, dan secondary action. Serta gerak referensi berupa

2. Penggunaan metode *forward kinematics* dapat diterapkan pada pembuatan animasi 3D gerakan manusia dengan tingkat akurasi kemiripan yang baik pada bagian kaki maupun tangan gerak beladiri taekwondo jump kick “Twieo Ap Chagi” Sehingga dapat terlihat natural sesuai dengan anatomi tubuh manusia. Walaupun akurasi di bagian tangan tidak seakurat bagian kaki. Jika menerapkan sudut derajat kebebasan pada beberapa sendi dengan menggunakan metode *forward kinematics* memiliki pengaruh yang tidak cukup signifikan pada akurasi gerak yang dihasilkan dengan menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi dan tidak menerapkannya, namun dalam prosesnya animator membutuhkan waktu lebih lama dalam melakukan pergerakan pada penganimasian karakter animasi 3D manusia tersebut, dikarenakan gerakan yang menjadi terbatas jika menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi.
3. Tingkat akurasi kemiripan gerakan animasi 3D karakter manusia menggunakan metode *forward kinematics* yang dibandingkan dengan video live shoot yaitu sebesar 61,26% pada akurasi gerak tangan kanan, 66,06% pada akurasi gerak tangan kiri, 84,31% pada akurasi gerak kaki kanan dan 81,11% pada akurasi gerak kaki kiri dengan rata-rata keseluruhan akurasi gerak sebesar 73,18%. Untuk pengujian pada gerakan animasi 3D yang menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi yaitu sebesar 62,56% pada akurasi gerak tangan kanan, 69,77% pada akurasi

gerak tangan kiri, 80,29% pada akurasi gerak kaki kanan dan 82,33% pada akurasi gerak kaki kiri dengan rata-rata keseluruhan akurasi gerak sebesar 73,73 % untuk pengujian pada gerakan animasi 3D tanpa menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi.

5.2. Saran

Dalam penelitian ini terdapat beberapa kemungkinan yang dapat digali lebih lanjut oleh peneliti selanjutnya dan dapat menjadi pertimbangan yaitu sebagai berikut:

1. Model gerakan tidak hanya terbatas pada gerakan beladiri taekwondo *Twieo Ap Chagi* atau *jump kick*, tetapi juga berbagai gerakan karakter manusia lainnya.
2. Pembuatan gerakan animasi dapat dikembangkan dengan menggunakan metode lainnya seperti *invers kinematics* atau kombinasi antara metode *inverse kinematics* dan *forward kinematics*.
3. Penerapan sudut derajat pada sendi bisa diberikan variasi/modifikasi nilai sudut yang berbeda-beda untuk mendapatkan tingkat natural yang maksimal

DAFTAR PUSTAKA

PUSTAKA BUKU

- Ferguson, 2010, *Ferguson's Careers in Focus: Animation*, Infobase Publishing, New York
- Kurniasih, Tjitjih, 2018, *Sistem Organ Manusia*, Deepublish, Yogyakarta
- Robert, Steve, 2013, *Character Animation: 2D Skills for Better 3D*, Taylor & Francis, London
- Santoso, Bambi Gunawan, 2013, *Nganimasi Bersama Mas Bel!*, PT Elex Media Komputindo, Jakarta
- Thomas, Frank dan Ollie Johnston, 1981, *The Illusion of Life: Disney Animation*, Walt Disney Production, New York
- Luis Bermudez, 2017, *Inverse Kinematics*, former Product Manager at The Walt Disney Company, San Francisco
- P., Fictor Ferdinand; Ariebowo, Moekti, 2009, *Praktis Belajar Biologi 2*, Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta
- Sujadi, 2003, *Metodologi Penelitian Pendidikan*. Jakarta. Rineka cipta

PUSTAKA MAJALAH, JURNAL ILMIAH ATAU PROSIDING

- Famukhit, Muga Linggar, 2016, *Simulasi Gerak Kepiting Menggunakan Metode Inverse Kinematics*, *Journal Sentra Penelitian Engineering dan Edukasi (Speed)* Vol.8 No.2
- Agung Dwi Saputro, M. Suyanto, Sukoco, 2018, *Simulasi Gerak Ular Menggunakan Metode Inverse Kinematics* *Jurnal Informasi Interaktif* Vol.3 No.2
- H. van Welbergen, B. J. H. van Basten, A. Egges2 Zs. Ruttkay, M. H. Overmars, 2009 *Real Time Animation of Virtual Humans: A Trade-off Between Naturalness and Control*
- Reza Ferrydiansyah, 2011, *Synthesizing Realistic Animated Human Motion Using Multiple Natural Spaces*

PUSTAKA LAPORAN PENELITIAN

- Ge, Kang Teresa, 2000, Solving Inverse Kinematics Constraint Problems for Highly Articulated Models, Thesis, Master of Mathematics in Computer Science, University of Waterloo, Canada
- Pangesti, Annisa Rahayu, 2019, Analisis Penerapan Metode Inverse Kinematics Untuk Pemodelan Gerakan Karakter Manusia Pada Animasi 2 Dimensi , Tesis, S2 Teknik Informatika, Universitas AMIKOM, Yogyakarta
- Syalabi, Lalu Agam Pramadaya, 2018, Analisis Fitur Pengembangan 'Quick Rig' Pada Autodesk Maya, Tesis, S2 Teknik Informatika, Universitas AMIKOM, Yogyakarta
- Daniel João Bandim Faustino, 2016, Beyond Mocap Animating Soccer Players Based on Positional Tracking Data, Utrecht University Department of Information and Computing Sciences

