

TESIS

**ANALISIS PENERAPAN METODE *INVERSE KINEMATICS* UNTUK
PEMODELAN GERAKAN KARAKTER MANUSIA
PADA ANIMASI 3 DIMENSI**



Disusun oleh:

Nama : Ahmad Zald Rahman
NIM : 18.52.1070
Konsentrasi : Informatics Technopreneurship

**PROGRAM STUDI S2 TEKNIK INFORMATIKA
PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS AMIKOM YOGYAKARTA
YOGYAKARTA
2020**

TESIS

**ANALISIS PENERAPAN METODE *INVERSE KINEMATICS* UNTUK
PEMODELAN GERAKAN KARAKTER MANUSIA
PADA ANIMASI 3 DIMENSI**

*ANALYSIS OF INVERSE METHOD IMPLEMENTATION
FOR MODELLING THE MOTION OF HUMAN CHARACTER
IN 3D ANIMATION*

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh derajat Magister



Disusun oleh:

Nama : Ahmad Zaid Rahman
NIM : 18.52.1070
Konsentrasi : Informatics Technopreneurship

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

2020

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS PENERAPAN METODE *INVERSE KINEMATICS* UNTUK
PEMODELAN GERAKAN KARAKTER MANUSIA
PADA ANIMASI 3 DIMENSI**

***ANALYSIS OF INVERSE METHOD IMPLEMENTATION
FOR MODELLING THE MOTION OF HUMAN CHARACTER
IN 3D ANIMATION***

Dipersiapkan dan Disusun oleh

Ahmad Zaid Rahman

18.52.1070

Telah Dibacakan 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. Suyanto, M.M.
NIK. 190302001

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS PENERAPAN METODE *INVERSE KINEMATICS* UNTUK
PEMODELAN GERAKAN KARAKTER MANUSIA
PADA ANIMASI 3 DIMENSI**

***ANALYSIS OF INVERSE METHOD IMPLEMENTATION
FOR MODELLING THE MOTION OF HUMAN CHARACTER
IN 3D ANIMATION***

Dipersiapkan dan Disusun oleh

Ahmad Zaid Rahman

18.52.1070

Telah Dibacakan 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

Anggota Tim Penguji

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

Pembimbing Pendamping

Hanif AlFatta, M.Kom
NIK. 190302096

Dr. Kusrini, 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. Kusrini, M.Kom.
NIK. 190302106

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama mahasiswa : Ahmad Zaid Rahman
NIM : 18.52.1070
Konsentrasi : Informatics Technopreneurship

Menyatakan bahwa Tesis dengan judul berikut:
Analisis Penerapan Metode *Inverse Kinematics* Untuk Pemodelan Gerakan Karakter Manusia Pada Animasi 3 Dimensi

Dosen Pembimbing Utama : Prof. Dr. Ema Utami, S.Si., M.Kom.
Dosen Pembimbing Pendamping : Hanif Al Fatta., 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,



6000
AMIKOM YOGYAKARTA

Ahmad Zaid Rahman

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. Abah, Ibu, saudara serta keluarga besar yang telah memberikan dukungan moril maupun materi serta doa yang tiada henti, motivasi, semangat dan kesabaran kepada saya.
2. Ibu Prof. Ema Utami, S.Si, M.Kom dan Bapak Hanif Al Fatta, 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 SI yang juga memberikan masukan serta arahan kepada kami semua.
4. MSV Studio yang telah memperbolehkan kami melakukan penelitian bersama.
5. Teman-teman tim produksi multimedia di Kejala yang selalu memberikan support untuk menyelesaikan tesis ini.
6. Afifah Nur Aini, terima kasih sudah bersedia membantu selama proses pengerjaan Tesis.
7. Sahabat seperjuangan, Enie Yuliani, Rifai Ahmad Musthofa dan Afifah Nur Aini yang selalu menemani dari awal semester satu hingga pengerjaan Tesis ini selesai dan selalu memberikan semangat untuk tidak menyerah, kalian keren pokoknya.

8. Segenap keluarga Admisi MTI Universitas Amikom, Mbak Tutut, Mbak Laily dan Mas Azis, yang selalu sabar dengan kami semua hingga Tesis kami akhirnya selesai.
9. 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.
10. Serta semua pihak yang telah membantu serta mendukung saya yang tidak bisa 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. *Aamiin Ya Robbal Alamin.*

HALAMAN MOTTO

“Jika kamu tidak sanggup menahan lelahnya belajar maka kamu harus sanggup menahan perihnya kebodohan”
-Imam Syaffi-

“Rencana Tuhan itu jauh lebih besar dibandingkan rencana manusia. Jika kita tidak mengerti, marah, tidak terima dengan situasi yang kita hadapi, boleh jadi karena kita tidak tahu, bahwa Tuhan menyimpan rencana yang lebih indah bagi kita”

-Tere Liye-

“Jangan malu untuk belajar, yang penting usahanya karena Tuhan menilai usaha, bukan hasil”

-Abah Guru Haji Zuhdianoor-

“Jangan lupa ibadah”

-Abah Ibu-

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kepada Allah SWT atas Karunia- Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul “Analisis Penerapan Metode *Inverse Kinematics* untuk Pemodelan Gerakan Karakter Manusia pada Animasi 3 Dimensi” 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:

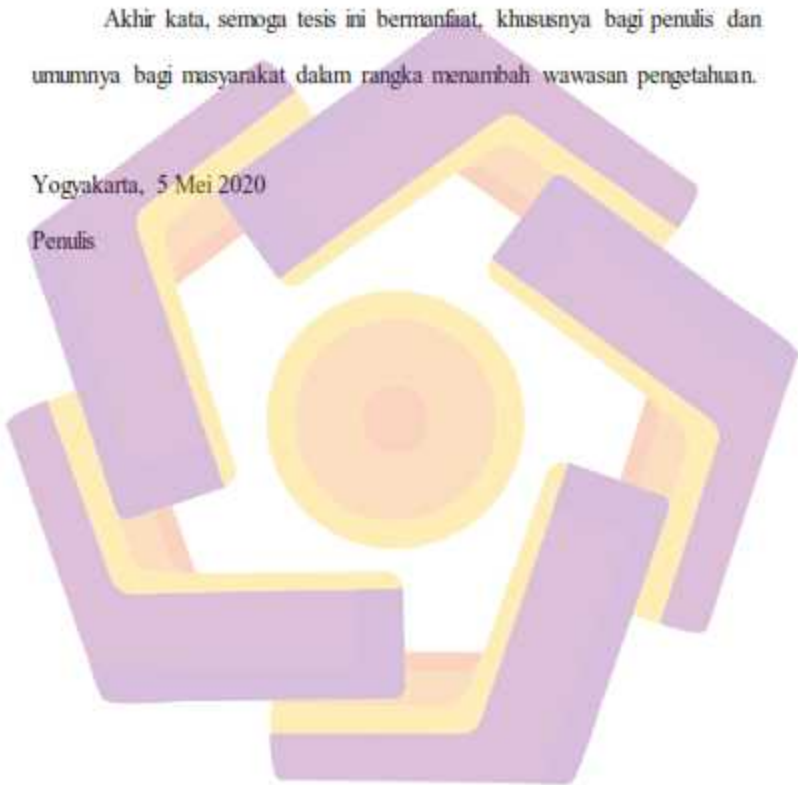
1. Prof. Dr. M. Suyanto, M.M. selaku rektor Universitas AMIKOM Yogyakarta.
2. Dr. Kusri, M.Kom. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas AMIKOM Yogyakarta yang telah menunjuk dosen pembimbing sehingga memperlancar penulis dalam menyelesaikan tesis.
3. Prof. Dr. Era Utami, S.Si, M.Kom dan Hanif Al Fatta, 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. Kusri, M.Kom dan Bapak Arief Setyanto, S.Si, MT. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan yang membangun.
5. Orang tua dan saudara yang telah memberikan 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



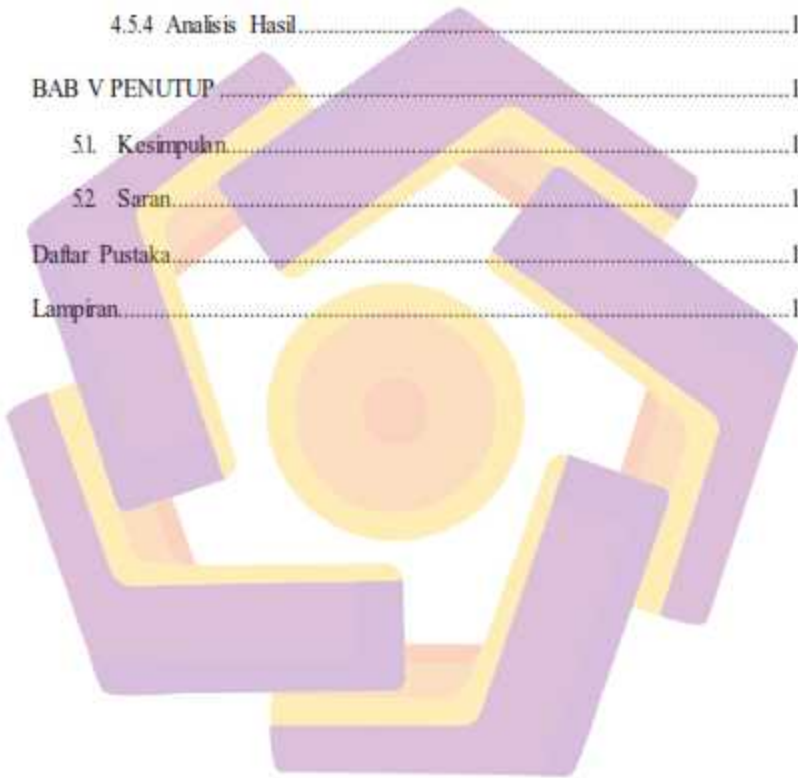
DAFTAR ISI

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.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
INTISARI.....	xxii
<i>ABSTRACT</i>	xxiii
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.....	13
Computer Graphics Forum (Comput Graph Forum), 2018.....	20
23. Landasan Teori.....	22
2.3.1. Animasi 3 Dimensi.....	22
2.3.2. Prinsip-prinsip animasi.....	23
24. <i>Inverse kinematics (IK)</i>	31
2.4.1. <i>Joint</i>	32
2.4.2. <i>End effector</i>	32
2.4.3. Artikulasi dan Poses	33
25. Struktur/sistem rangka manusia.....	33
2.5.1. Rangka <i>aksial</i>	34
2.5.2. Rangka <i>apendikular</i>	34
26. Hubungan antar tulang /persendian.....	35
2.5.3. Sendi Mati (<i>Sinartrosis</i>).....	35
2.5.4. Sendi Kaku (<i>Amfiartrosis</i>).....	36
2.5.5. Sendi Gerak (<i>Diaartrosis</i>).....	37
BAB III.....	39
Metode Penelitian.....	39
31. Jenis, Sifat dan Pendekatan Penelitian.....	39
32. Metode Pengumpulan Data.....	39
3.2.1. Metode Studi Literatur	39
3.2.2. Metode Kepustakaan.....	39

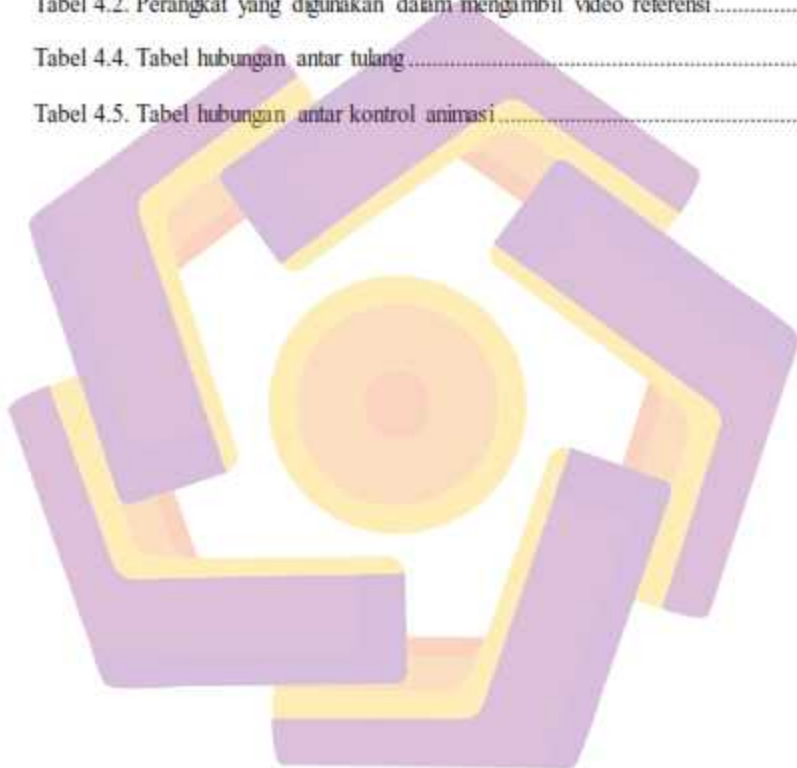
3.2.3. Metode Observasi	40
33 Metode Analisis Data	40
34 Alur Penelitian	40
3.4.1. Tahap pengumpulan data.....	42
3.4.2. Tahap Analisa dan Perancangan.....	42
3.4.3. Tahap Implementasi	43
3.4.4. Tahap Pengujian.....	44
3.4.5. Tahap Analisis dan Hasil	45
BAB IV	46
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	46
4.1. Gambaran Umum Obyek Penelitian.....	46
4.2 Analisis	47
4.2.1. Analisis Gerakan.....	47
4.2.2. Analisis Derajat Sendi	50
4.2.3. Analisis Karakter Animasi 3D.....	59
4.2.4. Analisis Struktur Rig / Tulang.....	63
4.2.5. Analisis Kontrol Karakter Animasi 3D.....	69
4.3 Implementasi Gerak.....	82
4.3.1 Penerapan derajat kebebasan tulang.....	82
4.3.2 Pembuatan Gerakan Animasi	88
4.4 Testing Gerakan Animasi.....	91
4.5 Hasil Pengujian	93

4.5.1 Pengujian Pada Video Referensi.....	93
4.5.2 Pengujian Pada Gerakan Animasi 3D Yang Menerapkan Sudut Derajat Kebebasan Pada Sendi.....	100
4.5.3 Pengujian Pada Gerakan Animasi 3D Tanpa Menerapkan Sudut Derajat Kebebasan Pada Sendi.....	110
4.5.4 Analisis Hasil.....	119
BAB V PENUTUP	121
5.1. Kesimpulan.....	121
5.2. Saran.....	123
Daftar Pustaka.....	124
Lampiran.....	127



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Matriks literatur review.....	13
Tabel 4.1. Perangkat yang digunakan dalam mengambil video referensi.....	47
Tabel 4.2. Perangkat yang digunakan dalam mengambil video referensi.....	52
Tabel 4.4. Tabel hubungan antar tulang.....	69
Tabel 4.5. Tabel hubungan antar kontrol animasi.....	72



DAFTAR GAMBAR

gambar 2.1 Animasi 3d	22
Gambar 2.2. <i>Squash</i>	23
Gambar 2.3. <i>Anticipation</i>	24
Gambar 2.4. <i>Stagging</i>	25
Gambar 2.5. <i>Straight-Ahead Action And Pose To Pose</i>	26
Gambar 2.6. <i>Follow Through And Overlapping Action</i>	26
Gambar 2.7. <i>Slow In And Slow Out</i>	27
Gambar 2.8. <i>Arcs</i>	28
Gambar 2.9. <i>Secondary Action</i>	28
Gambar 2.10. <i>Timing</i>	29
Gambar 2.11. <i>Exaggeration</i>	29
Gambar 2.12. <i>Solid Drawing</i>	30
Gambar 2.13. <i>Appeal</i>	31
Gambar 2.14. Articulated Body	31
Gambar 2.15. <i>Revolute Joint</i>	32
Gambar 2.16. <i>Prismatic Joint</i>	32
Gambar 2.17. End Effector	33
Gambar 2.18. Artikulasi	33
Gambar 2.19. Rangka Aksial	34
Gambar 2.20. Rangka Apendikular	35
Gambar 2.21. Sendi Mati (Sinartrosis)	36

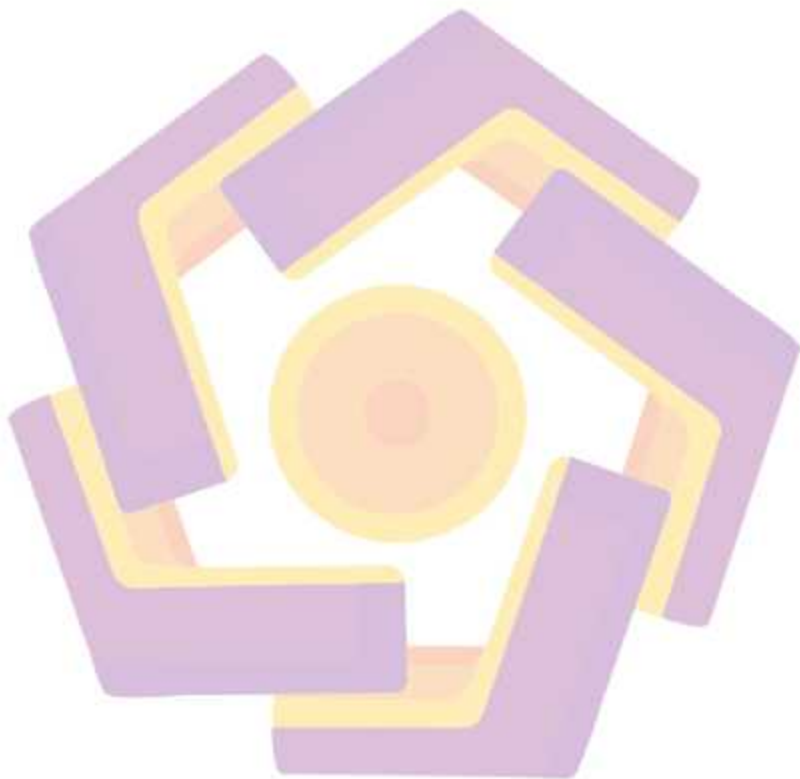
Gambar 2.22. Sendi Kaku (Amfiartrosis)	36
Gambar 2.23. Sendi Gerak (Diartrosis).....	37
Gambar 3.1. Alur Penelitian.....	41
Gambar 4.1. Video Dari Arah Atas.....	48
Gambar 4.2. Video Dari Arah Depan.....	49
Gambar 4.3. Video Dari Arah Samping.....	49
Gambar 4.4. Sendi Manusia Yang Diukur.....	51
Gambar 4.5. Visual Derajat Sendi Peluru Tulang Bahu.....	53
Gambar 4.6. Visual Derajat Sendi Engsel Siku Tangan.....	54
Gambar 4.7. Visual Derajat Sendi Peluru Pangkal Paha.....	55
Gambar 4.8. Visual Derajat Sendi Engsel Lutut.....	56
Gambar 4.9 Karakter Animasi 3d	60
Gambar 4.10 Penerapan Karakter Pada Software <i>Autodesk Maya</i>	61
Gambar 4.11 Sketsa Proporsi Tubuh Manusia.....	62
Gambar 4.12 Pencocokan Karakter Dan Tulang Rangka Manusia.....	63
Gambar 4.13 Struktur Rig/Tulang.....	63
Gambar 4.14 Layer Rig/Tulang Karakter Animasi 3d.....	64
Gambar 4.15 <i>Node View</i> Hubungan Rig/Tulang <i>Leg R</i> (Kaki Kanan)	65
Gambar 4.16 <i>Node View</i> Hubungan Rig/Tulang <i>Leg L</i> (Kaki Kiri).....	65
Gambar 4.17 <i>Node View</i> Hubungan Rig/Tulang <i>Hand R</i> (Tangan Kanan)	66
Gambar 4.18 <i>Node View</i> Hubungan Rig/Tulang <i>Hand L</i> (Tangan Kiri)	66
Gambar 4.19 <i>Node View</i> Hubungan Rig/Tulang <i>Chest</i> (Dada)	67
Gambar 4.20 <i>Node View</i> Hubungan Rig/Tulang <i>Neck</i> (Leher).....	68

Gambar 4.21 <i>Node View</i> Hubungan Rig/Tulang <i>Head</i> (Kepala).....	68
Gambar 4.22 Kontrol Karakter Animasi 3d.....	70
Gambar 4.23 <i>Node View</i> Kontrol Kepala Utama.....	72
Gambar 4.24 <i>Node View</i> Kontrol Pinggul.....	73
Gambar 4.25 <i>Node View</i> Kontrol Dada.....	74
Gambar 4.27 <i>Node View</i> Kontrol Bahu Kiri.....	75
Gambar 4.28 <i>Node View</i> Kontrol Bahu Kanan.....	75
Gambar 4.29 <i>Node View</i> Kontrol Tangan Kanan Invert Kinematics.....	76
Gambar 4.30 <i>Node View</i> Kontrol Siku Kanan.....	77
Gambar 4.31 <i>Node View</i> Kontrol Tangan Kiri Invert Kinematics.....	77
Gambar 4.32 <i>Node View</i> Kontrol Siku Kiri.....	78
Gambar 4.33 <i>Node View</i> Kontrol Kaki Kiri Invert Kinematics.....	79
Gambar 4.34 <i>Node View</i> Kontrol Kaki Kanan Invert Kinematics.....	79
Gambar 4.35 <i>Node View</i> Kontrol Lutut Kiri.....	80
Gambar 4.36 <i>Node View</i> Kontrol Lutut Kanan.....	81
Gambar 4.37 <i>Node View</i> Kontrol Skala Karakter 3D.....	81
Gambar 4.38 <i>Node View</i> Kontrol Posisi Karakter 3D.....	82
Gambar 4.39 Setting Sudut Tulang Bahu Kanan Dan Kiri.....	83
Gambar 4.40 Setting Sudut Tulang Siku Kanan Dan Kiri.....	84
Gambar 4.41 Setting Sudut Tulang Pangkal Paha Kanan Dan Kiri.....	85
Gambar 4.42 Setting Sudut Tulang Lutut Kanan Dan Kiri.....	86
Gambar 4.43. Sebelum Dan Sesudah Setting Sudut Derajat Min/Max.....	87
Gambar 4.44 Proses Pengujian Gerakan Animasi 3D.....	89

Gambar 4.45 Alur Pengujian Gerakan Animasi 3D.....	89
Gambar 4.46 Pose Keyframe Karakter 3d Tanpa Dof.....	90
Gambar 4.47 Pose Keyframe Karakter 3d Menggunakan Dof.....	90
Gambar 4.48 Hasil Animasi 3d Pada Media Player Classic.....	91
Gambar 4.49 Proses Pengujian Gerakan Video Referensi.....	92
Gambar 4.50 Proses Pengujian Gerakan Animasi 3d Menggunakan Dof.....	92
Gambar 4.51 Proses Pengujian Gerakan Animasi 3d Tanpa Dof.....	93
Gambar 4.52 Tampilan Hasil Pengukuran Sudut Tangan Kanan Referensi.....	94
Gambar 4.53 Tampilan Grafik Pengukuran Sudut Tangan Kanan Referensi.....	95
Gambar 4.54 Tampilan Hasil Pengukuran Sudut Tangan Kiri Referensi.....	96
Gambar 4.55 Tampilan Grafik Pengukuran Sudut Tangan Kiri Referensi.....	96
Gambar 4.56 Tampilan Hasil Pengukuran Sudut Kaki Kanan Referensi.....	97
Gambar 4.57 Tampilan Grafik Pengukuran Sudut Kaki Kanan Referensi.....	98
Gambar 4.58 Tampilan Hasil Pengukuran Sudut Kaki Kiri Referensi.....	99
Gambar 4.59 Tampilan Grafik Pengukuran Sudut Kaki Kiri Referensi.....	99
Gambar 4.60 Tampilan Tabel Hasil Pengukuran Sudut Tangan Kanan Video Animasi Menggunakan Dof.....	101
Gambar 4.61 Grafik Perbandingan Sudut Tangan Kanan Pada Gerakan Animasi Menerapkan Sudut Kebebasan Pada Sendi.....	101
Gambar 4.62 Tampilan Tabel Hasil Pengukuran Sudut Tangan Kiri Video Animasi Menggunakan Dof.....	102
Gambar 4.63 Grafik Perbandingan Sudut Tangan Kiri Pada Gerakan Animasi Menerapkan Sudut Kebebasan Pada Sendi.....	103

Gambar 4.64 Tampilan Tabel Hasil Pengukuran Sudut Kaki Kanan Video Animasi Menggunakan Dof.....	104
Gambar 4.65 Grafik Perbandingan Sudut Kaki Kanan Pada Gerakan Animasi Menerapkan Sudut Kebebasan Pada Sendi.....	104
Gambar 4.66 Tampilan Tabel Hasil Pengukuran Sudut Kaki Kiri Video Animasi Menggunakan Dof.....	105
Gambar 4.67 Grafik Perbandingan Sudut Kaki Kiri Pada Gerakan Animasi Menerapkan Sudut Kebebasan Pada Sendi.....	106
Gambar 4.68 Tampilan Tabel Hasil Pengukuran Sudut Tangan Kanan Video Animasi Tanpa Dof.....	110
Gambar 4.69 Grafik Perbandingan Sudut Tangan Kanan Pada Gerakan Animasi Tanpa Menerapkan Sudut Kebebasan Pada Sendi.....	111
Gambar 4.70 Tampilan Tabel Hasil Pengukuran Sudut Tangan Kiri Video Animasi Tanpa Dof.....	112
Gambar 4.71 Grafik Perbandingan Sudut Tangan Kiri Pada Gerakan Animasi Tanpa Menerapkan Sudut Kebebasan Pada Sendi.....	112
Gambar 4.72 Tampilan Tabel Hasil Pengukuran Sudut Kaki Kanan Video Animasi Tanpa Dof.....	113
Gambar 4.73 Grafik Perbandingan Sudut Kaki Kanan Pada Gerakan Animasi Tanpa Menerapkan Sudut Kebebasan Pada Sendi.....	114
Gambar 4.74 Tampilan Tabel Hasil Pengukuran Sudut Kaki Kiri Video Animasi Tanpa Dof.....	115

Gambar 4.75 Grafik Perbandingan Sudut Kaki Kiri Pada Gerakan Animasi Tanpa Menerapkan Sudut Kebebasan Pada Sendi 115



INTISARI

Penelitian dengan judul "Analisis Penerapan Metode *Inverse Kinematics* untuk Pemodelan Gerakan Karakter Manusia pada Animasi 3 Dimensi " bertujuan untuk mengetahui bagaimana menghasilkan gerakan animasi 3D yang sesuai dengan gerakan natural pada manusia dengan menerapkan metode *inverse kinematics*.

Referensi gerakan animasi yang digunakan adalah berupa gerakan beladiri Taekwondo yaitu *Twieo Ap Chagi* dengan menguji karakter animasi 3D menggunakan metode *inverse kinematics*, serta dilakukan 2 pengujian yaitu menerapkan sudut kebebasan sendi pada sendi gerak dan tanpa menerapkan sudut kebebasan sendi.

Berdasarkan hasil implementasi pada pembuatan gerak animasi 3D manusia menggunakan metode *inverse kinematics*, pengaturan sudut derajat kebebasan hanya diterapkan pada sendi gerak, sedangkan untuk sendi mati dan sendi kaku tidak membutuhkan pengaturan sudut derajat kebebasan untuk terlihat natural. Ada beberapa parameter yang mempengaruhi untuk membuat animasi 3D karakter manusia memiliki gerak yang natural menggunakan metode *inverse 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 2%. Untuk bagian tangan tidak direkomendasikan menggunakan metode *inverse kinematics* dikarenakan memiliki persentase akurasi tingkat natural rata-rata dibawah 50%, 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 video untuk mendapatkan hasil yang natural yang ditunjang dengan rigging karakter, baik menggunakan *inverse kinematics* maupun *forward kinematics*.

Kata kunci Inverse Kinematics, Sudut Kebebasan Sendi, Natural, 3D, Animasi.

ABSTRACT

The research with the title "Analysis of the Application of the Inverse Kinematics Method for Modeling Human Character Movement in 3D Animation" aims to find out how to produce 3D animated movements that are appropriate for natural movements in humans by applying inverse kinematics methods.

The motion animation reference used is in the form of Taekwondo self-defense movement called Twieo Ap Chagi by testing the 3D animation character using inverse kinematics method, and 2 tests are carried out by applying the angle of joint freedom to the joint motion and without applying the angle of joint freedom.

Based on the results of the implementation in the making of 3D human motion animation using inverse kinematics methods, setting the degree of freedom degrees only applies to the joints of motion, whereas for dead joints and stiff joints does not require setting the angle of degrees of freedom to look natural. There are several parameters that affect to make 3D animation of human characters having natural motion using the inverse kinematics method is the application of the angle of freedom in the joints which is only done on the legs, because it has a higher percentage of accuracy than those who do not apply the angle of freedom in the joints of 2 %. For the hands it is not recommended to use the inverse kinematics method because it has an average percentage of natural accuracy below 50%, and pay attention to the principles of animation which include timing and spacing, pose to pose, anticipation, follow through and overlapping actions, slow in and slow out, arcs, and secondary action. And motion references in the form of video to get natural results that are supported by rigging characters, both using inverse kinematics and forward kinematics.

Keywords: Inverse Kinematics, Corner of Freedom of Joints, Natural, 3D, Animatio

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 (Napituh, 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 natural 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 Amisa 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 feldae 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 gerakan yang lebih natural 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 natural manusia pada umumnya, pengujian untuk gerak animasi sendiri berupa gerakan salah satu gerak beladiri yaitu *jumpkicks*.

1.2. Rumusan Masalah

Sebagaimana paparan latar belakang diatas, maka penulis merumuskan masalah, yaitu sebagai berikut:

- a. Apa saja parameter untuk membuat animasi 3D karakter manusia memiliki gerak yang natural menggunakan metode *inverse kinematics* dengan jenis gerakan *jump kicks*?
- b. Apa pengaruh gerak animasi 3D karakter manusia, jika menerapkan sudut derajat kebebasan pada beberapa sendi dengan menggunakan metode *inverse kinematics*?
- c. Bagaimana tingkat natural animasi 3D karakter manusia yang dihasilkan menggunakan metode *inverse kinematics*?

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah yang akan penulis batasi untuk masalah diatas sebagai berikut:

1. Jenis animasi yang digunakan adalah animasi 3 Dimensi.
2. Penganimasian menggunakan metode *inverse kinematics*
3. Karakter 3D manusia yang digunakan adalah karakter gratis yang telah dibuat oleh user *bananacake* pada situs *free3d.com*.
4. Sendi manusia yang terlibat dalam pergerakan animasi yaitu sendi yang termasuk dalam sendi mati (*sinarthrosis*), sendi kaku (*amfiartrosis*) dan sendi gerak (*diartrosis/synovial*).
5. Pengujian gerak karakter animasi 3D menggunakan software Autodesk Maya 2017.

6. Menguji seberapa natural pergerakan pada animasi 3D karakter manusia.
7. Variabel parameter menurut seorang animator profesional berupa penerapan 12 prinsip animasi, dengan 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 *inverse kinematics* maupun *forward kinematics*.
8. Gerakan animasi berupa gerakan beladiri Taekwondo yaitu *Twieo Ap Chagi*.
9. Penerapan metode *inverse kinematics* hanya pada bagian tangan, kaki dan pinggul karakter animasi 3D.
10. Referensi gerakan berupa video *liveshoot* gerak beladiri "*jump kicks*" yang dilakukan oleh profesional beladiri.
11. Uji coba gerakan animasi dilakukan oleh animator profesional.
12. Uji coba gerak animasi menggunakan teknik *pose to pose* dalam proses pergerakan karakter animasi 3D.
13. Kriteria pengujian yaitu memperhitungkan tingkat natural hasil gerak animasi 3D karakter manusia dengan referensi gerakan video *liveshoot*.
14. Menentukan dasar tolak ukur kebebasan sendi, dengan menggunakan studi observasi, literatur dan kepustakaan.
15. Sudut derajat kebebasan sendi diukur menggunakan software *ImageJ*.
16. Penelitian ini tidak memperhatikan prinsip animasi *Exaggeration* dan *Appeal*.

17. Pengukuran tingkat natural gerak animasi menggunakan fitur *measure tool* pada software *Tracker*, yaitu fitur *Protractor*.
18. 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

Adapun tujuan dari penelitian sebagai berikut:

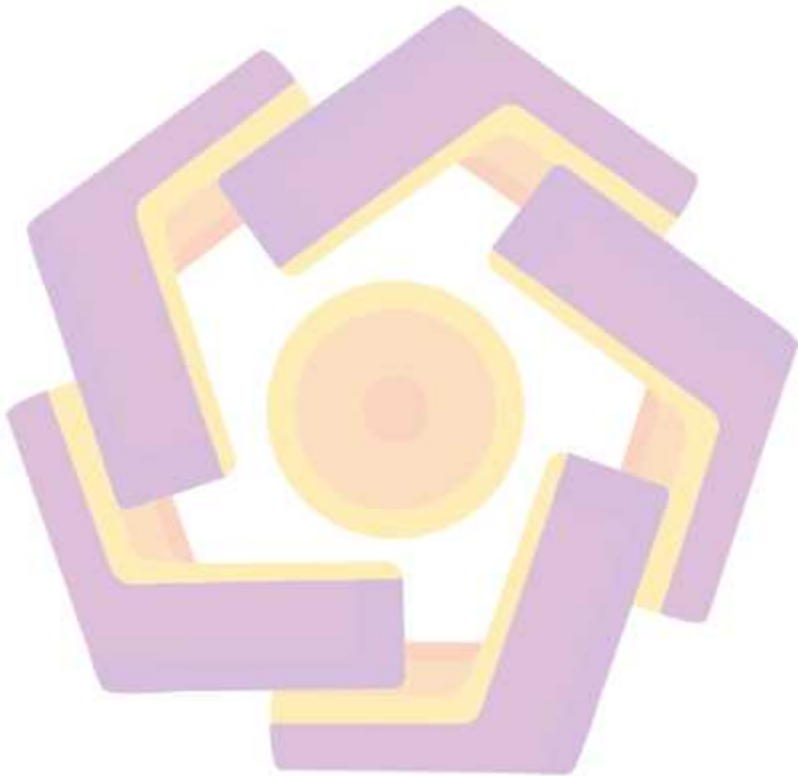
- a. Mengetahui bagaimana menghasilkan gerakan animasi 3D yang sesuai dengan gerakan natural pada manusia dengan menerapkan metode *inverse kinematics*.
- b. Mengetahui berapa natural animasi 3D karakter manusia yang dihasilkan menggunakan metode *inverse kinematics*.
- c. Memenuhi salah satu syarat 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 gerakan animasi 3D karakter manusia dengan menggunakan metode *inverse kinematics* serta untuk mengetahui seberapa sudut derajat kebebasan pada gerak animasi 3D karakter manusia.
- b. Secara praktis, penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi dalam melakukan penelitian lanjutan atau pembuatan animasi dengan metode *inverse kinematics*.

- 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 Pangesti (2019) mendapatkan kesimpulan bahwa model gerakan animasi menggunakan *inverse kinematics* dapat diterapkan pada pembuatan animasi 2D gerakan manusia dengan tingkat akurasi kemiripan yang baik sehingga terlihat natural sesuai dengan anatomi tubuh manusia dengan tingkat akurasi kemiripan gerakan animasi 2D karakter manusia menggunakan metode *inverse kinematics* yang dibandingkan dengan video *live shoot* yaitu sebesar 93,90 % untuk gerakan berjalan dan 95 % untuk gerakan berlari. (Pangesti, 2015). Penelitian tersebut mendorong penulis untuk membuat animasi 3D dengan menggunakan metode *inverse kinematics* yang ditambahkan *tools control* animasi gerakan yang telah dibuat sebelumnya agar dapat digunakan kembali sehingga dapat memudahkan pembuatan animasi.

Penelitian Syalabi (2018) yang membahas bagaimana pemanfaatan pengembangan fitur QRT terhadap karakter 3D untuk meningkatkan performa dalam pembuatan film animasi (Syalabi, 2018). Penelitian tersebut mendorong penulis untuk bisa menentukan sudut pergerakan yang tepat pada objek karakter animasi 3D tersebut sehingga dapat menghasilkan animasi yang akurat sesuai kebutuhannya.

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 Hardinata (2017) membahas tentang pembuatan library animasi 2D yang terdiri dari pergerakan hewan berjenis felidae yaitu cheetah, kucing, dan singa menggunakan metode *inverse kinematics* yang kemudian disimpan dalam sebuah library agar dapat digunakan kembali secara otomatis (Hardinata, 2017).

Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa metode *inverse kinematics* dapat diterapkan pada tubuh yang mempunyai kerangka dengan sendi-sendi yang saling terhubung sehingga menghasilkan artikuasi dan sudut tertentu di setiap pergerakan.

Penelitian Famukhit (2016) membahas tentang pembuatan simulasi gerak kepiting menggunakan metode *inverse kinematik*. Pada penelitian tersebut, peneliti membuat animasi 3D dari hewan kepiting 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 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 penelitian tersebut metode *inverse kinematics* diterapkan pada jari manusia yang juga mempunyai sendi-sendi yang terhubung dan membentuk sudut tertentu ketika digerakkan.

Penelitian A. Aristidou, J. Lasenby, Y. Chrysanthou and A. Shamir, *Computer Graphics Forum (Comput Graph Forum)*, 2018 menjelaskan hasil yang didapat dari penelitian tersebut yaitu 6 scene film Shadow puppet yang dibuat menggunakan metode inverse kinematic, obyek pengamatan dalam penelitian tersebut merupakan shadow puppet atau wayang berbentuk manusia dan hewan, sehingga pergerakan manusia dalam animasi ini tidak terlihat natural, dan DoF yang dihasilkan tidak sesuai dengan sudut asli manusia.

Penelitian Huang, Jing & Fratarcangeli, Marco & Ding, Y. & Pelachaud, Catherine, *The Visual Computer (Visual Comput)*, 2016 pada penelitian tersebut menjelaskan untuk menyelaraskan end effector ke posisi target seperti video waktu yang diambil dengan kondisi nyata, game, dan lainnya dengan kualitas visual yang tinggi dan perbaikan teknik animasi. Teknik Inverse Kinematics pada penelitian ini diterapkan untuk menghasilkan rotasi sendi yang halus dan menghilangkan potensi diskontinuitas.

2.2. Keaslian Penelitian

Tabel 2.1. Matriks literatur review dan posisi penelitian
Analisis Penerapan Metode Inverse Kinematics Untuk Pemodelan Gerakan Karakter Manusia Pada Animasi 3 Dimensi

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
1	Analisis Penerapan Metode <i>Inverse Kinematics</i> Untuk Pemodelan Gerakan Karakter Manusia Pada Animasi 2 Dimensi	Annisa Rahayu Pangesti, Tesis, Program Pasca Sarjana UNIVERSITAS AMIKOM Yogyakarta, 2019	<p>Penelitian tersebut bertujuan untuk:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Mengetahui bagaimana menghasilkan gerakan animasi 2D yang sesuai dengan gerakan natural pada manusia dengan menerapkan metode <i>inverse kinematics</i>. 2 Mengetahui berapa akurasi animasi 2D karakter manusia yang dihasilkan menggunakan 	<p>Dari hasil penelitian yang dilakukan, penulis mengambil kesimpulan sebagai berikut :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pada pembuatan animasi 2D manusia menggunakan metode <i>inverse kinematics</i>, pengaturan sudut derajat kebebasan hanya diterapkan pada sendi gerak, sedangkan untuk sendi mati dan sendi kaku tidak membutuhkan pengaturan sudut derajat kebebasan untuk terlihat natural. 2. Tingkat akurasi kemiripan gerakan animasi 2D karakter manusia 	<p>Model gerakan manusia dalam penelitian tersebut masih mempunyai kekurangan yaitu model gerakan yang hanya terbatas pada beberapa gerakan saja, dikarenakan animasi yang digunakan bersifat 2 Dimensi serta pengujiannya sebatas model gerakan berjalan dan berlari.</p>	<p>Media yang diteliti berupa object 2 dimensi dan hanya terbatas pada beberapa gerakan saja. Serta hanya mempunyai sudut X axis dan Y axis, sehingga hanya bisa dilihat dari satu arah. Selain itu, gerakan pada penelitian yang akan penulis buat akan melibatkan beberapa gerakan dari sudut Z axis.</p>

Tabel 2.1. (Lanjutan)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
			metode <i>inverse kinematics</i> .	menggunakan metode <i>inverse kinematics</i> yang dibandingkan dengan <i>video live shoot</i> yaitu sebesar 93,80 %		
2	Analisis Fitur Pengembangan "Quick Rig" Pada Autodesk Maya	Lalu Agam Pramadya Syalabi, Tesis, Program Pasca Sarjana UNIVERSITAS AMIKOM Yogyakarta, 2018	<p>Penelitian tersebut bertujuan untuk:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mengembangkan fitur-fitur QRT yang telah disediakan oleh Autodesk maya 2017 sehingga dapat lebih di optimalkan dalam proses produksi film animasi. 2. Meningkatkan performa automasi rigging terhadap karakter manusia dalam pembuatan film animasi. 	<p>Dari hasil penelitian yang dilakukan, penulis mengambil kesimpulan sebagai berikut :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Penempatan hirarki <i>joint</i> secara terpisah lebih memudahkan dan cepat dalam <i>selection joint</i> daripada penempatan hirarki <i>joint</i> yang membentuk rantai <i>joint</i> dengan panjang. Dikarenakan <i>selection</i> dalam melakukan pengeditan, penambahan IK dan 	<p>Joint Rigging pada karakter 3D dalam penelitian tersebut masih mempunyai kekurangan yaitu belum adanya pemberian sudut derajat kebebasan tulang, sehingga tidak menutup kemungkinan akan berpengaruh dalam proses hasil animasi.</p>	<p>Perbedaan terletak pada pemberian kebebasan tulang, disini penulis mencoba memberikan parameter kebebasan tulang pada karakter animasi 3D</p>

Tabel 2.1. (Lanjutan)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
				<p><i>skinning</i> sangat berpengaruh dalam menyelesaikan pembuatan <i>rig</i>.</p> <p>2. Jumlah objek yang diberi <i>keyframe</i> pada gerakan yang menggunakan <i>rigging</i> lebih sedikit dibandingkan dengan objek yang diberi <i>keyframe</i> pada gerakan yang tidak menggunakan <i>rigging</i>. Hal ini dikarenakan karakter yang menggunakan <i>rigging</i> memiliki <i>controller</i> yang mewakili beberapa objek, sedangkan karakter yang tidak menggunakan <i>rigging</i> tidak memiliki <i>controller</i>.</p>		

Tabel 2.1. (Lanjutan)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
3	Simulasi Gerak Ular Menggunakan Metode Inverse Kinematics	Agung Dwi Saputro, M. Suyanto, Sukoco, Jurnal Informasi Interaktif Vol.3 No.2, 2018	<p>Penelitian tersebut bertujuan untuk:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. mencari pola pada pergerakan objek animasi 3D hewan ular 2. Menentukan sudut kebebasan pada gerak objek animasi 3D hewan ular. 3. Menerapkan metode inverse kinematic pada simulasi gerak berjalan hewan ular 3D 	<p>Dari hasil penelitian yang dilakukan, penulis mengambil kesimpulan sebagai berikut :</p> <ol style="list-style-type: none"> 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 $8,6^\circ$ untuk 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. 	<p>Pada penelitian tersebut Simulasi gerak ular dibuat tidak hanya dengan menggunakan satu metode saja, akan tetapi bisa dengan menambahkan metode lain seperti forward kinematik</p>	<p>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 besarsudut kebebasan tulang pada ruas tulang karakter manusia.</p>
4	Gerakan Dasar Felidae Dalam Animasi 2 Dimensi	Niky Hardinata, Journal Sentra Penelitian Engineering	<p>Tujuan dari penelitian tersebut adalah:</p>	<p>1. Sudut kebebasan sendi karakter hewan felidae yang didapat untuk library model</p>	<p>Pada penelitian tersebut hanya membuat model gerakan berjalan dan berlari dari hewan</p>	<p>Penelitian tersebut menggunakan hewan felidae sebagai objeknya, sedangkan penelitian yang akan penulis</p>

Tabel 2.1. (Lanjutan)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
		dan Edukasi (Speed) Vol.9 No.2, 2017	<ol style="list-style-type: none"> Mengetahui derajat kebebasan sendi hewan kucing sebagai referensi pada karakter hewan <i>felidae</i> lainnya dalam animasi 3D Menghasilkan model gerakan dasar hewan <i>felidae</i> dalam animasi 2D dengan metode <i>inverse kinematik</i> Menghasilkan <i>library</i> model gerakan hewan <i>felidae</i> yang dapat diterapkan secara otomatis 	<p>yaitu: kaki bagian belakang antara 69° - 180°, sendi nomor 2 berkisar 50° - 180° dan sendi nomor 3 berkisar dari 80° - 225°. Pada kaki bagian depan, sendi 1 yaitu antara 56° - 180°, sendi nomor 2 berkisar 92° - 182° dan sendi nomor 3 berkisar dari 95° - 220°.</p> <ol style="list-style-type: none"> Dalam pembuatan model gerakan hewan <i>felidae</i> dapat menerapkan metode <i>inverse kinematics</i> dengan mengatur posisi bone untuk setiap keyframe. Library model yang sudah dibuat dapat diterapkan pada karakter hewan <i>felidae</i> lainnya secara otomatis. 	<p><i>felidae</i> dari arah samping dan tidak disebutkan apakah perbedaan arah yang dibuat dapat mempengaruhi hasil derajat kebebasan (DoF) atau tidak.</p> <p>Saran peneliti untuk penelitian ini yaitu agar dijelaskan juga mengenai perbedaan arah yang digunakan, karena dalam metode <i>inverse kinematics</i>, perubahan sekecil apapun pada <i>end-effector</i> akan dapat mempengaruhi keseluruhan gerakan dan juga DoF yang dihasilkan.</p>	<p>lakukan menggunakan karakter manusia, sehingga sendi-sendi yang menjadi parameter DoF juga akan mengalami perbedaan. Selain itu, gerakan pada penelitian yang akan penulis buat akan melibatkan contoh pergerakan dari arah yang berbeda-beda.</p>

Tabel 2.1. (Lanjutan)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
5	Simulasi Gerak Kepiting Menggunakan Metode Inverse Kinematics	Muga Linggar Famukhit, Journal Sentra Penelitian Engineering dan Edukasi (Speed) Vol.8 No.2, 2016	<p>Tujuan dari penelitian tersebut yaitu sebagai berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> 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 3. Menggunakan metode <i>inverse kinematic</i> untuk membuat simulasi 3D berupa gerak kepiting 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sudut derajat kebebasan tulang 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. 3. Penggunaan metode <i>inverse kinematics</i> dapat diterapkan dalam pembuatan simulasi 	<p>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 gerakan dari berbagai macam kepiting, juga dapat mengetahui perbedaan gerak jalan dari masing-masing jenis kepiting.</p>	<p>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.</p>

Tabel 2.1. (Lanjutan)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
				animasi 3D berupa gerak berjalan hewan kepiting		
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 inverse <i>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 inverse <i>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 inverse <i>kinematics</i> akan digunakan dalam pergerakan animasi karakter manusia dengan menggerakkan bagian-bagian dari tubuh untuk menghasilkan gerakan yang diinginkan.
7	Creative Animation Design For Inverse Kinematics Motion	GuanZe Liao, The 2 nd International	Tujuan dari penelitian tersebut yaitu untuk	Hasil yang didapat dari penelitian tersebut yaitu 6 scene film Shadow	Obyek pengamatan dalam penelitian tersebut merupakan shadow	Perbedaan antara penelitian ini dengan penelitian yang akan dilakukan adalah

Tabel 2.1. (Lanjutan)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
	Of Shadowgraphs Shadow Puppets In Taiwan	Conference on Design Creativity (ICDC2012), 2012	membuat suatu film animasi pendek dengan jenis animasi shadow puppet atau wayang ataupun cut out menggunakan metode inverse kinematics. Hal ini dilakukan agar dapat mempermudah proses pembuatan animasi puppet dalam bentuk digital.	puppet yang dibuat menggunakan metode inverse kinematik.	puppet atau wayang berbentuk manusia dan hewan, sehingga pergerakan manusia dalam animasi ini tidak terlihat natural, dan DoF yang dihasilkan tidak sesuai dengan sudut asli manusia.	gerakan yang digunakan dalam menghasilkan DoF, pada penelitian tersebut tidak memperhatikan sudut maksimal dari sebuah objek, sedangkan dalam penelitian yang akan penulis lakukan, pergerakan dari setiap objek joint akan memperhatikan DoF maksimal yang sesuai dengan objek aslinya.
8	Inverse Kinematics Techniques in Computer Graphics: A Survey	A. Aristidou, J. Lasenby, Y. Chrysanthou and A. Shamir, Computer Graphics Forum (Comput Graph Forum), 2018	Paper dan survei ini bertujuan untuk memberikan wawasan tentang Inverse Kinematics untuk manusia karena model ini terdiri dari banyak sendi dan mereka diharuskan untuk memenuhi berbagai kendala termasuk	Dalam paper ini, peneliti memberikan indikasi tentang yang mana metode ini paling cocok untuk memecahkan masalah yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk memperkenalkan Inverse Kinematics untuk peneliti baru yang bertujuan untuk	Pada paper ini hanya mengembangkan metode Inverse Kinematics dan DoF terkait dengan berbagai metode robotik.	Diterapkan pada animasi 3D dengan jenis gerakan jump kicks dan mengoptimalkan Inverse Kinematics terkait dengan metode perhitungan sendi pada DoF.

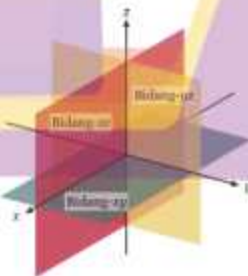
Tabel 2.1. (Lanjutan)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
			sambungan atau kontak perbatasan untuk menangani kompleksitas tersebut. Oleh karena itu adalah suatu jeharusan untuk menemukan cara yang efisien agar tidak memakan waktu yang banyak.	mengoptimalkan proyek berbasis Inverse Kinematics.		
9	Inverse Kinematics Using Dynamic Joint Parameters: Inverse Kinematics Animation Synthesis Learnt From Sub-Divided Motion Micro-Segments	Huang, Jing & Fratarcangeli, Marco & Ding, Y. & Pelachaud, Catherine, The Visual Computer: (Visual Comput), 2016	Tujuan dari paper ini adalah untuk menyelaraskan end effector ke posisi target seperti video waktu yang diambil dengan kondisi nyata, game, dan lainnya dengan kualitas visual yang tinggi dan perbaikan teknik animasi.	Teknik Inverse Kinematics pada paper ini diterapkan untuk menghasilkan rotasi sendi yang halus dan menghilangkan potensi diskontinuitas.	Teknik Inverse Kinematics yang dilakukan juga masih terbatas yang dapat digunakan dalam pendekatan joint atau sendi tersebut.	Perbedaan terletak pada jenis gerakan yang diujikan pada penelitian ini adalah jumpkics dengan menerapkan hasil rotasi sendi yang halus dan dibandingkan dengan video yang sudah diambil dengan memperhitungkan tingkat akurasi joint atau sendi yang diujikan.

2.3. Landasan Teori

2.3.1. Animasi 3 Dimensi

Animasi 3 dimensi (3D) adalah teknik pembuatan animasi pada sebuah bidang yang menggunakan 3 sumbu X,Y, dan Z sebagai sumbu kedalaman. Objek yang dihasilkan bisa diputar berdasarkan ke-3 sumbernya. Umumnya animasi 3D dikerjakan di dalam computer yakni sudah berupa data digital, walaupun untuk memodelling (membuat model karakter dalam animasi 3D) masih diperlukan gambar sketsa manual sebagai acuan. Dalam animasi 3D, khusus untuk modelling karakter dibuat dalam satuan vertex, kemudian ditempel atau dibalut dengan tekstur sehingga penonton dapat melihat dengan jelas modelling karakter terbuat dari bahan apa, misal texture kulit, wajah, kain, bulu, rambut, manik-manik dsb. Agar modelling ini dapat bergerak, kita harus memberikan rigging, sehingga modelling tersebut bisa bergerak seperti layaknya manusia. Agar terlihat lebih ekspresif pada bagian wajah, kita membuat facial expression dan lip sync. (Santoso, Bambi Gunawan. 2013)



Gambar 2.1 Animasi 3D (<https://www.utakatikotak.com/kongkow/detail/8386/Sistem-Koordinat-Dalam-Ruang-3-Dimensi>)

2.3.2. Prinsip-prinsip animasi

12 Prinsip animasi ini merupakan metode yang digunakan animator untuk menghubungkan gambar-gambar sedemikian rupa agar menghasilkan animasi yang halus dan terlihat nyata. Prinsip-prinsip animasi tersebut antara lain (Thomas & Johnston, 19):

2.3.2.1 *Squash and Stretch*

Squash and Stretch berguna untuk menunjukkan volume, berat obyek, efek gravitasi serta gerakan pada sebuah obyek, sehingga gerakan obyek tersebut akan terlihat lebih nyata. Ketika obyek sedang dalam gerakan mengkerut dan melonggar volumenya akan tetap, namun ukurannya akan berubah seperti ditunjukkan pada gambar 7.1

Prinsip ini merupakan unsur paling penting yang menjadi acuan utama dalam animasi. 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. Seperti yang tergambar pada Gambar 2.2, berikut ini :



Gambar 2.2. *squash* (<http://www.compulsivecreative.com/12-basic-principles-of-animation/>)

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. *Anticipation* juga memiliki tujuan untuk membuat gerakan pada karakter animasi baik 2D dimensi maupun 3 dimensi supaya terlihat natural pada gerakan umumnya dilakukan oleh manusia, karena ketika objek karakter akan melakukan suatu gerakan, akan *selah* melakukan prinsip ini yaitu *anticipation* atau gerakan persiapan/pendahulu. Seperti yang tergambar pada Gambar 2.3, berikut ini :



2.3.2.3 *Staging*

Staging adalah gerak keseluruhan dalam sebuah adegan yang harus tampak jelas dan detail untuk mendukung suasana atau "mood" yang ingin dicapai dalam sebagian atau keseluruhan scene. *Staging* dapat mengarahkan perhatian audience pada cerita atau ide yang dibuat, misalnya bagaimana mempresentasikan sebuah karakter agar dapat dikenal dengan baik oleh penonton.

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. Seperti yang tergambar pada Gambar 2.4, berikut ini :



Gambar 2.4. *Staging* (<https://id.pinterest.com/ewhiteash/animation-staging/>)

2.3.2.4 *Straight-Ahead Action and Pose to Pose*

Straight Ahead Action adalah pembuatan gambar dalam animasi secara spontan yang dimulai dari gambar pertama sampai gambar terakhir yang dilakukan oleh seorang animator. Kemungkinan ada perbedaan ukuran, volume, dan proporsi dengan metode ini, namun akan menciptakan ilusi, gerakan lebih cair dan dinamis, dan lebih baik untuk memproduksi rangkaian tindakan yang realistis.

Sedangkan *Pose to Pose* merupakan metode pembuatan animasi yang lebih terencana dan terpetakan dengan kunci gambar pada interval tertentu, dari suatu pose ke pose selanjutnya, karenanya disebut *Pose to Pose animation*. Seperti yang tergambar pada Gambar 2.5 berikut ini :



Gambar 2.5. *Straight-Ahead Action and Pose to Pose*
(<https://animation2012.weebly.com/straight-ahead-or-pose-to-pose.html>)

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. Seperti yang tergambarakan pada Gambar 2.6, berikut ini :

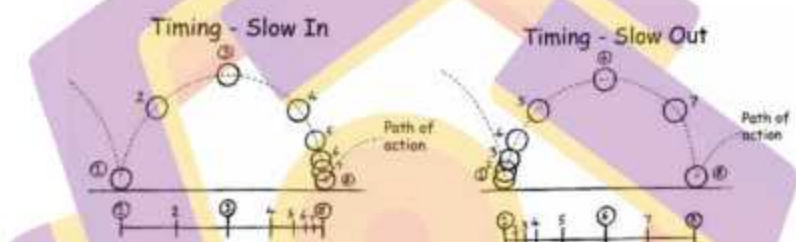


Gambar 2.6. *Follow Through and Overlapping Action*
(<https://animation2012.weebly.com/follow-through--overlapping-action.html>)

2.3.2.6 *Slow in and 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. *Slow in and slow out* menegaskan kembali bahwa pada setiap gerakan memiliki percepatan dan perlambatan yang berbeda-beda pada setiap bagiannya. Slow in terjadi jika sebuah gerakan yang diawali secara lambat kemudian menjadi cepat. Slow out terjadi jika sebuah gerakan yang relatif cepat kemudian menjadi melambat. Seperti yang tergambarakan pada Gambar 2.7, berikut ini :



Gambar 2.7. *Slow in and Slow out* (<https://animation2012.weebly.com/slow-in-slow-out.html>)

2.3.2.7 Arcs

Pada animasi, sistem pergerakan tubuh pada manusia, binatang, atau makhluk hidup lainnya bergerak mengikuti pola/jalur (maya) yang disebut *Arcs*. Hal ini memungkinkan mereka bergerak secara halus dan lebih realistis, karena pergerakan mereka mengikuti suatu pola yang berbentuk lengkung. Dan gerakan inilah yang menjadikan gerakan tersebut terlihat natural. Seperti yang tergambarakan pada Gambar 2.8, berikut ini :



Gambar 2.8. *Arcs* (<http://www.compulsivecreative.com/12-basic-principles-of-animation/>)

2.3.2.8 *Secondary Action*

Secondary action adalah gerakan tambahan yang dimaksudkan untuk memperkuat gerakan utama supaya animasi tampak lebih realistik. *Secondary action* berfungsi memberikan *emphasize* untuk memperkuat gerakan utama. Seperti yang tergambar pada Gambar 2.9, berikut ini :



Gambar 2.9. *Secondary Action* (<http://www.robert-kuczera.de/images/tutorials/overlap/overlap-07.jpg>)

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. Seperti yang tergambarkan pada Gambar 2.10, berikut ini:



Gambar 2.10. *Timing* (<https://animation2012.weebly.com/timing.html>)

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. Seperti yang tergambarkan pada Gambar 2.11, berikut ini:



Gambar 2.11. *Exaggeration*
(<https://animation2012.weebly.com/exaggeration.html>)

2.3.2.11 *Solid Drawing*

Merupakan prinsip-prinsip dasar menggambar anatomi, komposisi berat, keseimbangan, dan pencahayaan yang dapat dilihat 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. Seperti yang tergambarkan pada Gambar 2.12, berikut ini:



Gambar 2.12. *Solid Drawing*
(<https://i.ytimg.com/vi/BH0FLcIG2zY/maxresdefault.jpg>)

2.3.2.12 *Appeal*

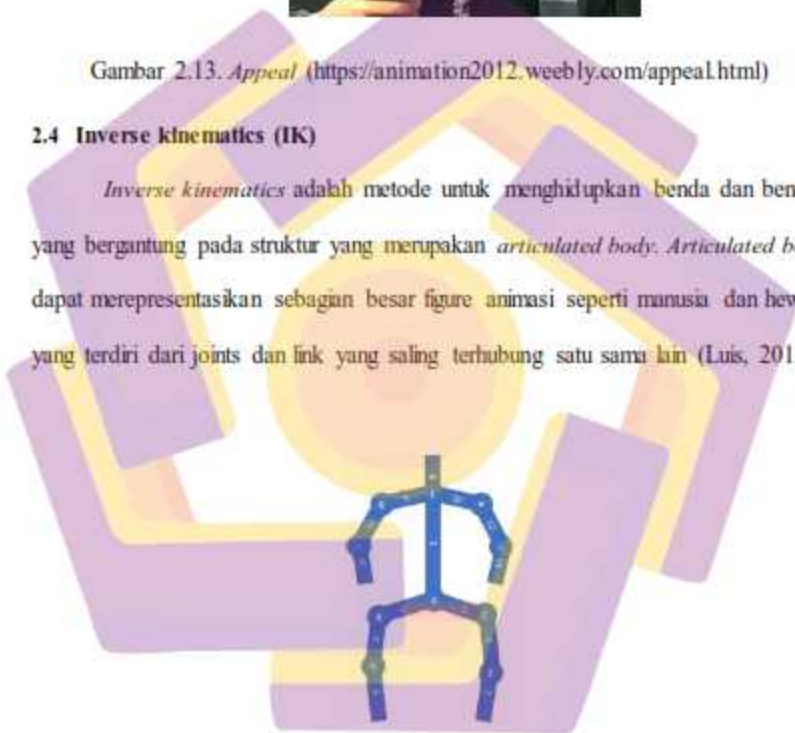
Appeal berkaitan dengan keseluruhan look atau gaya visual dalam animasi. *Appeal* juga tentang penokohan, berkorelasi dengan 'kharisma' seorang tokoh atau karakter dalam animasi. Sehingga visualisasi animasi yang ada bisa mewakili karakter/sifat yang dimiliki. Seperti yang tergambarkan pada Gambar 2.13, berikut ini:



Gambar 2.13. *Appeal* (<https://animation2012.weebly.com/appeal.html>)

2.4 Inverse kinematics (IK)

Inverse kinematics adalah metode untuk menghidupkan benda dan bentuk yang bergantung pada struktur yang merupakan *articulated body*. *Articulated body* dapat merepresentasikan sebagian besar figure animasi seperti manusia dan hewan yang terdiri dari joints dan link yang saling terhubung satu sama lain (Luis, 2017).



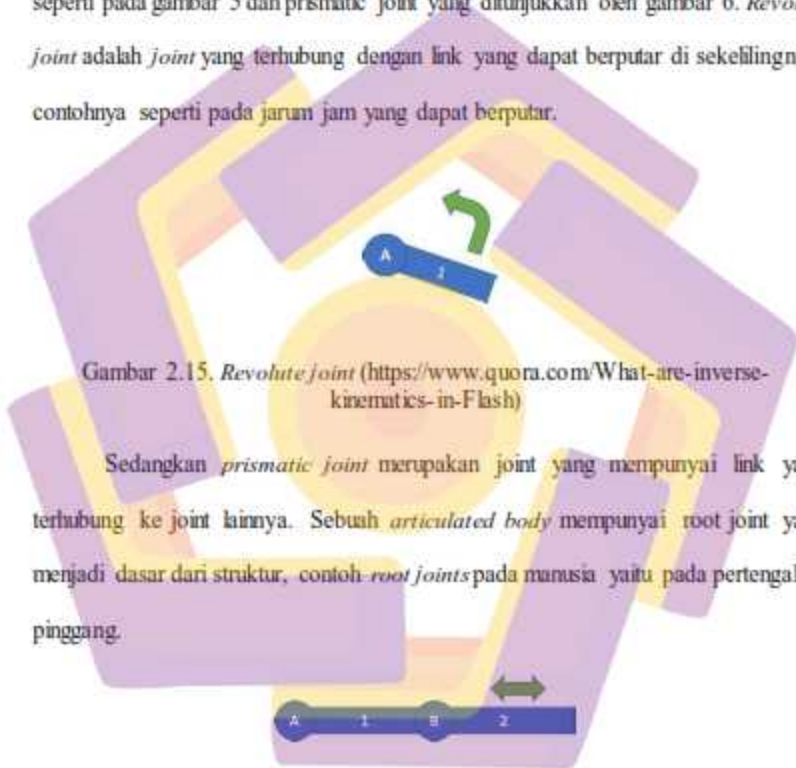
Gambar 2.14. *Articulated Body* (<https://www.quora.com/What-are-inverse-kinematics-in-Flash>)

Perbedaan mendasar dengan *Forward kinematics*, yaitu *kinematika invers* ditentukan dari pergerakan tungg berdasarkan sudut akhir dari beberapa sendi yang mendefinisikan gerakan. Teknik ini sangat efektif untuk menyederhanakan animasi

yang kompleks serta kelihatan hidup/natural. Istilah-istilah yang sering digunakan dalam *Inverse Kinematics* di antaranya adalah sebagai berikut:

2.4.1 Joint

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 2.15. *Revolute joint* (<https://www.quora.com/What-are-inverse-kinematics-in-Flash>)

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 2.16. *Prismatic joint* (<https://www.quora.com/What-are-inverse-kinematics-in-Flash>)

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 2.17. End effector (<https://www.quora.com/What-are-inverse-kinematics-in-Flash>)

2.4.3 Artikulasi dan Poses

Artikulasi adalah rotasi / terjemahan sendi yang menggerakkan hubungan yang terhubung. Artikulasi terdiri dari derajat sudut setiap joint yang berhubung. 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 2.18. Artikulasi (<https://www.quora.com/What-are-inverse-kinematics-in-Flash>)

2.5 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 rusuk tulang belakang (*columna vertebrata*), tulang tengkorak, tulang dada dan tulang iga/rusuk.



Gambar 2.19. Rangka aksial (<https://anatomyinfo.com/appendicular-skeleton/>)

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 panggul.



Gambar 2.20. Rangka apendikular (<https://anatomyinfo.com/appendicular-skeleton/>)

2.6 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. Beberapa diantaranya mempunyai multiple DoF seperti pada pergelangan tangan dengan 2 DoF, dan bahu yang mempunyai 3 DoF. Berdasarkan sifat geraknya, persendian dapat dikategorikan menjadi beberapa sendi.

2.5.3 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.

SINARTROSIS

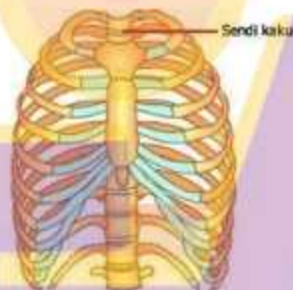


Gambar 2.21. Sendi Mati (Sinartrosis) (<https://www.sradianti.com/pengertian-sinartrosis-sendi-mati.html>)

2.5.4 Sendi Kaku (*Amfiartrosis*)

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

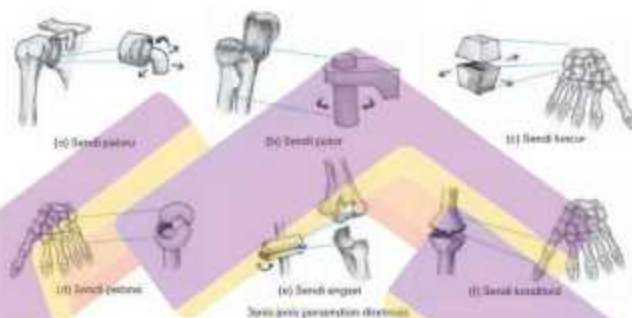
Contoh: hubungan antar tulang belakang.



Gambar 2.22. Sendi Kaku (*Amfiartrosis*)
(<http://www.kitabagi.com/2018/02/persendian.html>)

2.5.5 Sendi Gerak (*Diartrosis*)

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



Gambar 2.23. Sendi Gerak (*Diartrosis*) (<http://www.biomagz.com/2015/10/macam-macam-sendi-sinartrosis.html>)

2.5.5.1 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.

2.5.5.2 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.

2.5.5.3 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.

2.5.5.4 Sendi geser

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

2.5.5.5 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 Simulasi dan Observasi yaitu suatu proses atau langkah-langkah untuk mengembangkan suatu produk baru, atau menyempurnakan produk yang telah ada, yang dapat dipertanggung jawabkan. 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

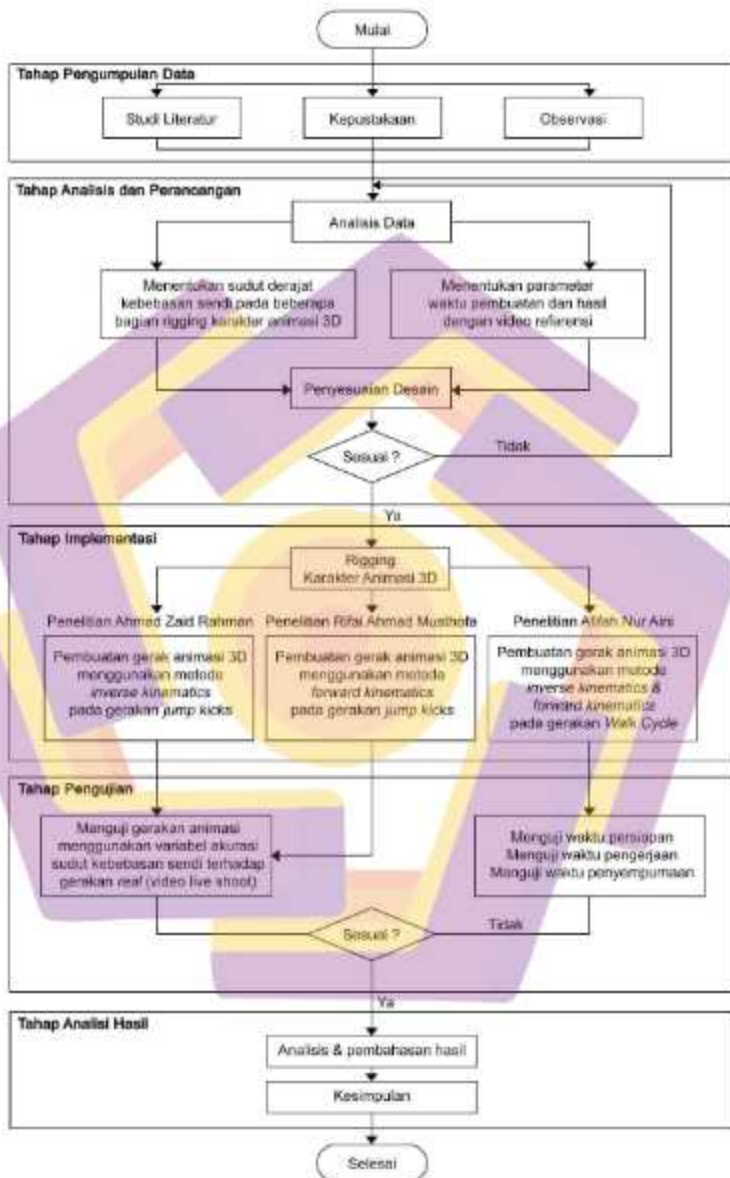
Dalam penelitian ini, metode observasi dilakukan terhadap objek manusia untuk mengumpulkan data yang berkaitan dengan pergerakan dasar manusia. Data yang diperoleh kemudian digunakan untuk mengukur pergerakan dari tulang-tulang dan sudut sendi untuk dijadikan referensi dalam animasi gerak karakter manusia. 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 rangkaian penelitian, diperlukan adanya tahapan-tahapan yang diurutkan secara sistematis agar pelaksanaan penelitian dapat berjalan dengan baik sesuai dengan tiap bagian penelitian-penelitian yang dilakukan oleh 3 penulis berbeda. Adapun alur pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3.1. Alir penelitian

Adapun secara garis besar urutan penelitian serta pembagian penelitian dari 3 penelitian yang saling berkaitan adalah sebagai berikut.

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

3.4.2. Tahap 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 Ahmad Zaid Rahman sebagai penulis dalam penelitian ini dan Rifai Ahmad Musthofa 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 Affiah 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 pada rig 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. Tahap Implementasi

Pada tahap ini adalah melakukan eksperimen pada 3 penelitian yang berbeda, yaitu pembuatan gerak animasi 3D menggunakan metode *inverse kinematics* pada gerakan *jump kicks* yang dimana pada bagian implementasi penelitian ini akan dilakukan oleh saya Ahmad Zaid Rahman, sebagai penulis dalam penelitian ini sendiri dan pada bagian implementasi penelitian, pembuatan gerak animasi 3D menggunakan metode *forward kinematics* pada gerakan *jump kicks* yang akan dilakukan oleh penulis Rifai Ahmad Musthofa, yang dimana kedua dari penelitian tersebut sama-sama menggunakan objek pengujian gerakan yang sama yaitu *jump kicks*, akan tetapi menggunakan metode yang berbeda yaitu *inverse kinematics* dan *forward kinematics*, serta pada penelitian Afifah Nur Aini, pembuatan gerakan animasi menggunakan metode *inverse kinematics* dan *forward kinematics* pada gerakan *walk cycle*, yang dimana menggunakan 2 metode yaitu *inverse kinematics* dan *forward kinematics* untuk menguji efektivitas dalam waktu pembuatan gerak *walk cycle*.

Pada penelitian penulis, 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 menerapkan pada kontrol animasi 3D. Ketika *setting* sumbu gerak maksimal telah dilakukan dan telah di terapkan pada kontrol animasi 3D maka langkah selanjutnya melakukan

validasi terhadap ahli dibidangnya, hal ini dapat menghindari kesalahan ketika melakukan penerapan sistem kontrol yang bertujuan untuk memudahkan dalam melakukan animasi pada karakter 3D.

3.4.4. Tahap Pengujian

Tahap pengujian bertujuan untuk menguji penerapan dari metode-metode yang digunakan dari 3 peneliti yaitu, *inverse kinematics* dan *forward kinematics*. Pada penelitian penulis sendiri Ahmad Zaid Rahman dan penelitian Rifai Ahmad Musthofa 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 diimport 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. Tahap 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 *jumpkick "Twieo Ap Chagi"* dan derajat sendi pada obyek karakter yang diuji. Berikut ini ada 5 bagian yang akan dilakukan analisis yaitu analisis gerakan, analisis derajat sendi, analisis karakter animasi 3D, analisis struktur rig/tulang, dan analisis control karakter animasi 3D, yang dimana akan dirincikan sebagai berikut :

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 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 I. 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



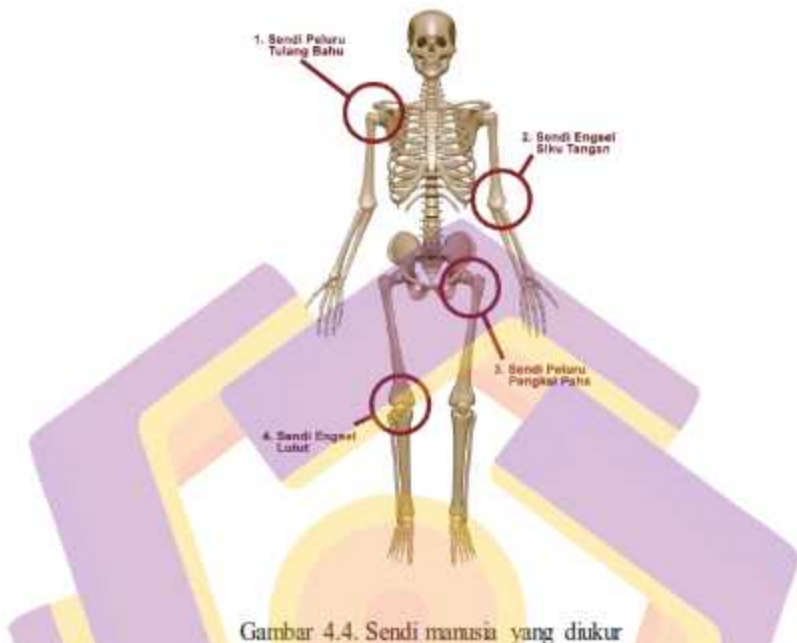
Gambar 4.3. Video dari arah samping

Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan, gerakan manusia pada saat melakukan gerakan beladiri *jumpkick* 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, Ares*, 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 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 pekuu 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.



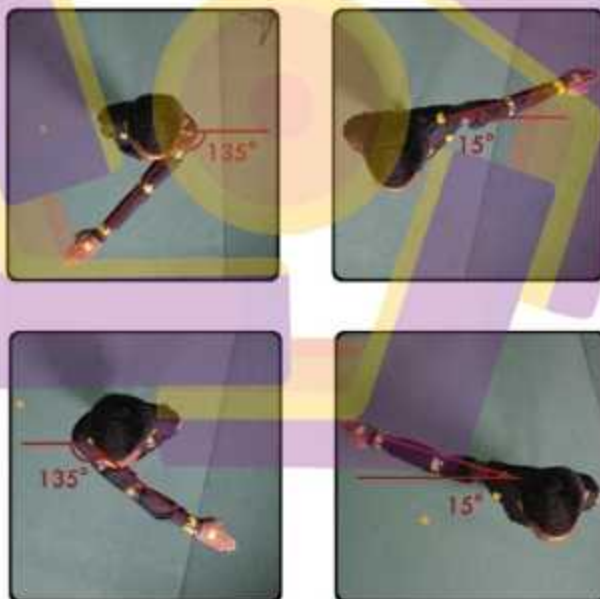
Gambar 4.4. Sendi manusia yang diukur

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

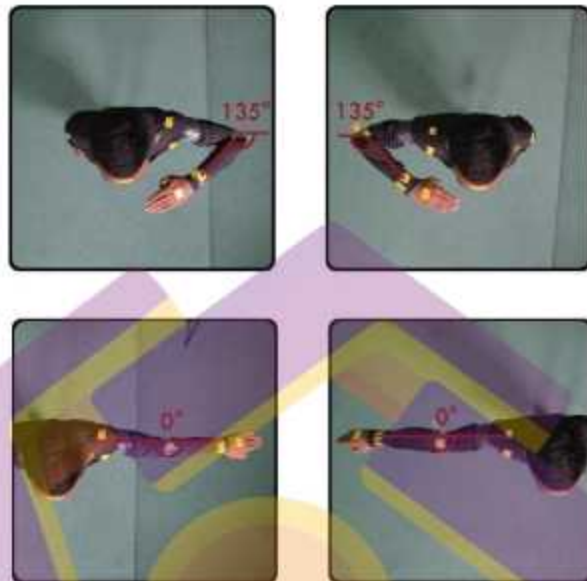
Hasil pengukuran derajat sendi tersebut dapat dilihat pada gambar berikut:





Gambar 4.5. 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 4.6. 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 menunjukan 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 4.7. Visual derajat sendi peluru pangkal paha

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 4.8. 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 peluru pada tulang bahu kanan dapat berputar ke segala, dari analisis data set yang penulis observasi didapat derajat dengan batas sudut kebebasan sebesar -35° hingga 200° untuk ke arah depan dan belakang dan untuk ke arah kanan kiri sebesar -15° hingga 135° .
- 2) Sendi peluru pada tulang bahu kiri sama dengan sendi peluru pada tulang kanan yaitu dapat berputar ke segala arah, dari analisis data set yang penulis observasi didapat derajat dengan batas sudut kebebasan dengan tulang bahu kanan, yaitu sebesar -35° hingga 200° untuk ke arah depan dan belakang dan untuk ke arah kanan 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° .

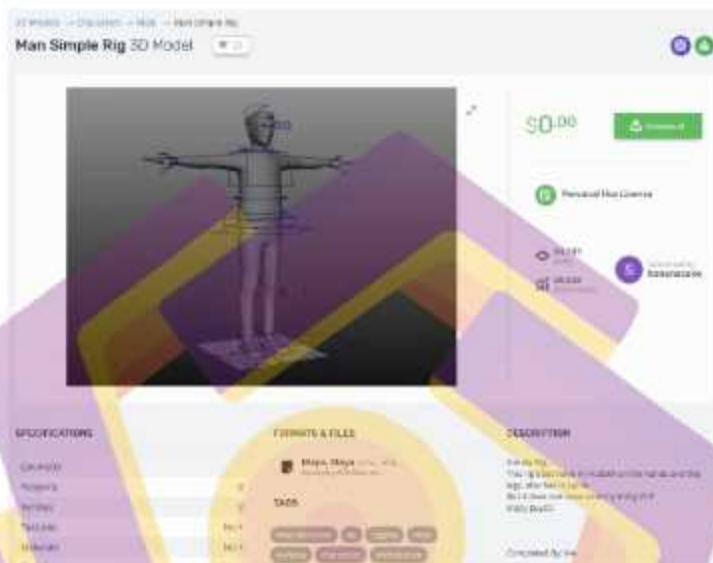
- 7) Sendi engsel pada lutut kanan dapat bergerak ke arah depan/luar (*extension*) dengan sudut maksimal sebesar 145° dan ke arah dalam/belakang (*flexion*) dengan sudut minimal sebesar 0° yang berarti bahwa derajat kebebasan lutut yaitu sebesar 145° .
- 8) Sendi engsel pada lutut kiri sama seperti sendi 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 *Fisioterapi* 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 4.9 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*

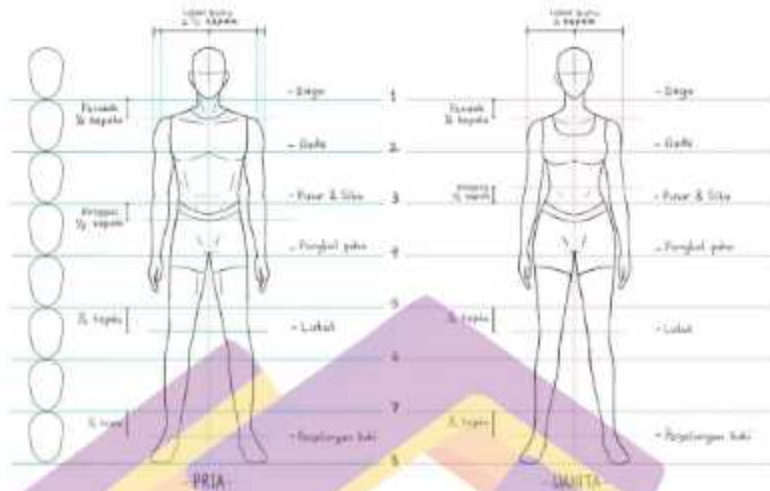


Gambar 4.10 Penerapan karakter pada software *Autodesk Maya*

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 penyetaraan 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 4.11 Sketsa proporsi tubuh manusia

Pada gambar 4.11 di atas menunjukkan proporsi ideal tubuh pria dan wanita dewasa, yang total tinggi tubuhnya sama dengan delapan kepala, dengan letak tulang pinggul di antara 3 dan 4 sebagai pusat gravitasi dan stabilitas.

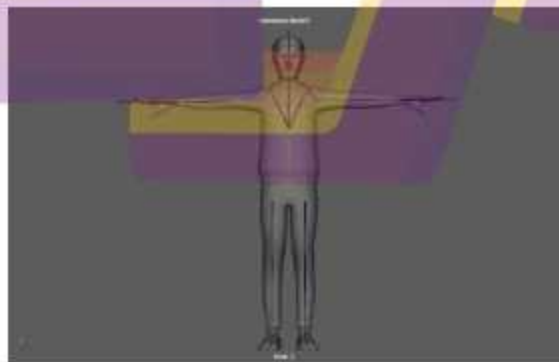
Penggunaan metode *inverse kinematics* pada karakter animasi 3D manusia dibutuhkan objek 3D karakter yang tepat untuk menerapkan sudut derajat minimal dan maksimal dari setiap sendi gerak. Oleh karena itu, proses penentuan karakter 3D yang digunakan juga harus mengacu pada anatomi tulang manusia, sehingga 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 4.12 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 4.16 di bawah ini.



Gambar 4.13 struktur rig/tulang

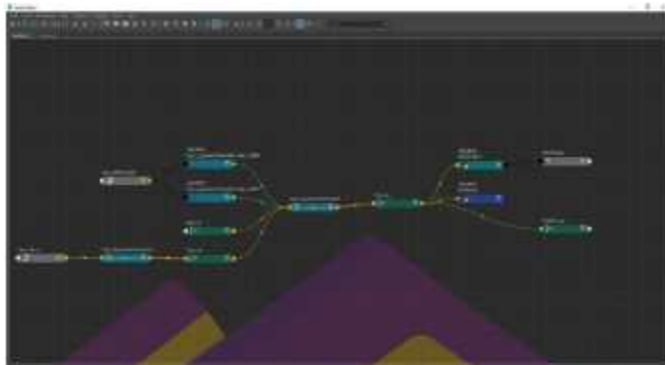
Berdasarkan analisis rig/tulang tersebut, bagian-bagian pada rig/tulang dikelompokkan dalam beberapa kelompok, yaitu :

- *lower teeth* (gigi bawah)
- *upper teeth* (gigi atas)
- *leg* (kaki)
- *hand* (tangan)
- *palm* (telapak tangan)
- *chest* (dada)
- *neck* (leher)
- *head* (kepala)
- *spine* (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 :

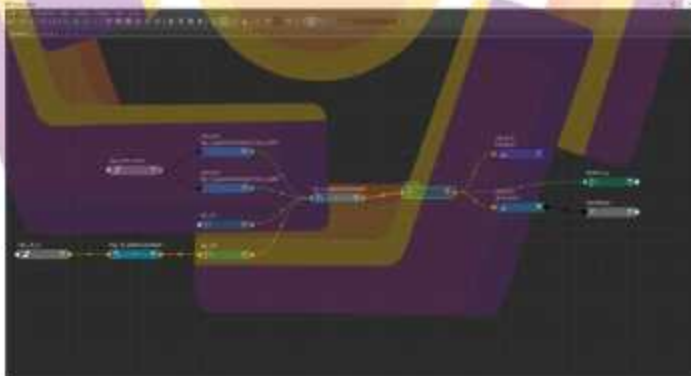


Gambar 4.14 Layer rig/tulang karakter animasi 3D



Gambar 4.15 *Node view* hubungan rig/tulang *leg r* (kaki kanan)

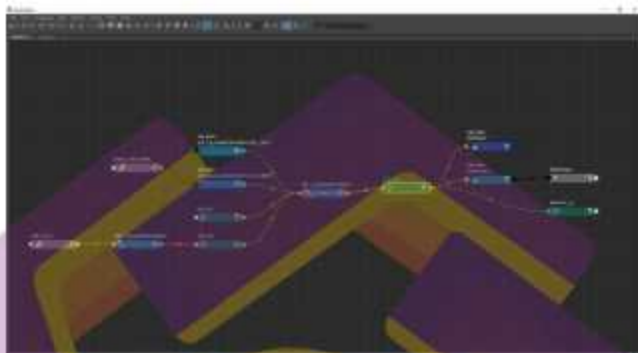
Pada Gambar 4.15 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig/tulang *leg r* (kaki kanan), yaitu rig/tulang *knee01_r* (lutut kanan) yang berelasi dengan *hip_r* (paha/pinggul kanan) yang memiliki fungsi *inverse kinematics* untuk membentuk rig/tulang *leg r* (kaki kanan) *inverse kinematics*.



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



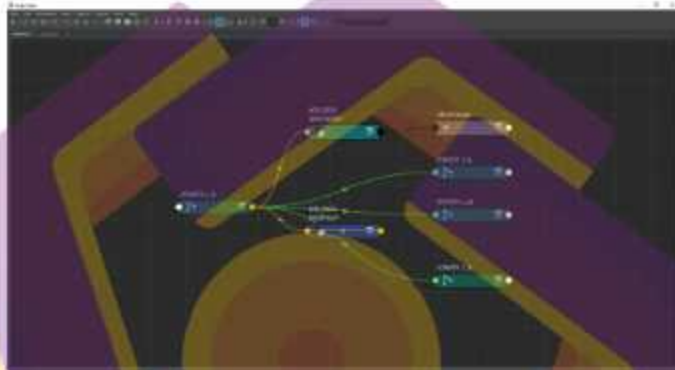
Gambar 4.17 *Node view* hubungan rig/tulang *hand r* (tangan kanan)

Pada Gambar 4.17 berupa ahir *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig/tulang *hand r* (tangan kanan), yaitu rig/tulang *elbow01_r* (siku kanan) yang bereaksi dengan *sldr_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 *skr_l* (bahu kiri) yang memiliki fungsi *inverse kinematics* untuk membentuk *hand l* (tangan kiri) *inverse kinematics*.



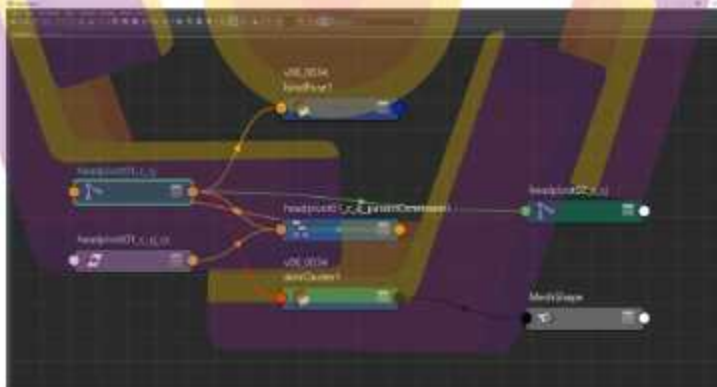
Gambar 4.19 *Node view* hubungan rig/tulang *chest* (dada)

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)

Pada Gambar 4.20 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig/tulang *neck* (leher), yaitu *neck02* (rig leher ke 2) yang berelesi dengan *neck01* (leher utama).



Gambar 4.21 *Node view* hubungan rig/tulang *head* (kepala)

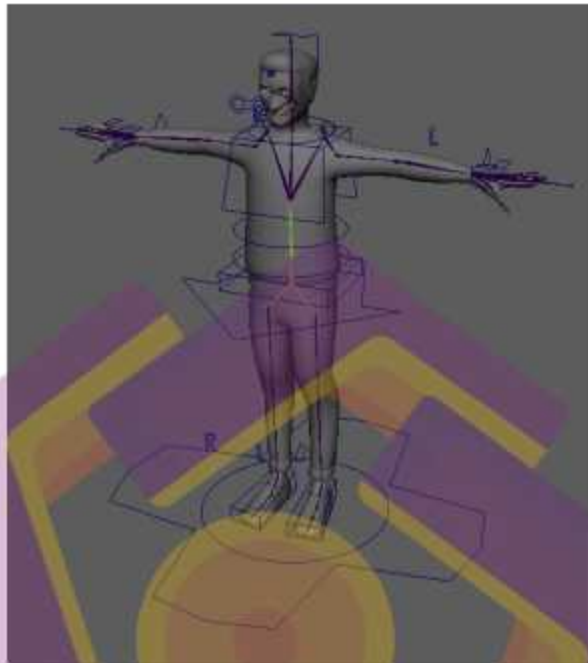
Pada Gambar 4.21 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig/tulang *head* (kepala), yaitu *headpivot02* (rig kepala ke 2) yang berelesi dengan *headpivot01* (rig kepala utama).

Tabel 4.4. Tabel hubungan antar tulang



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

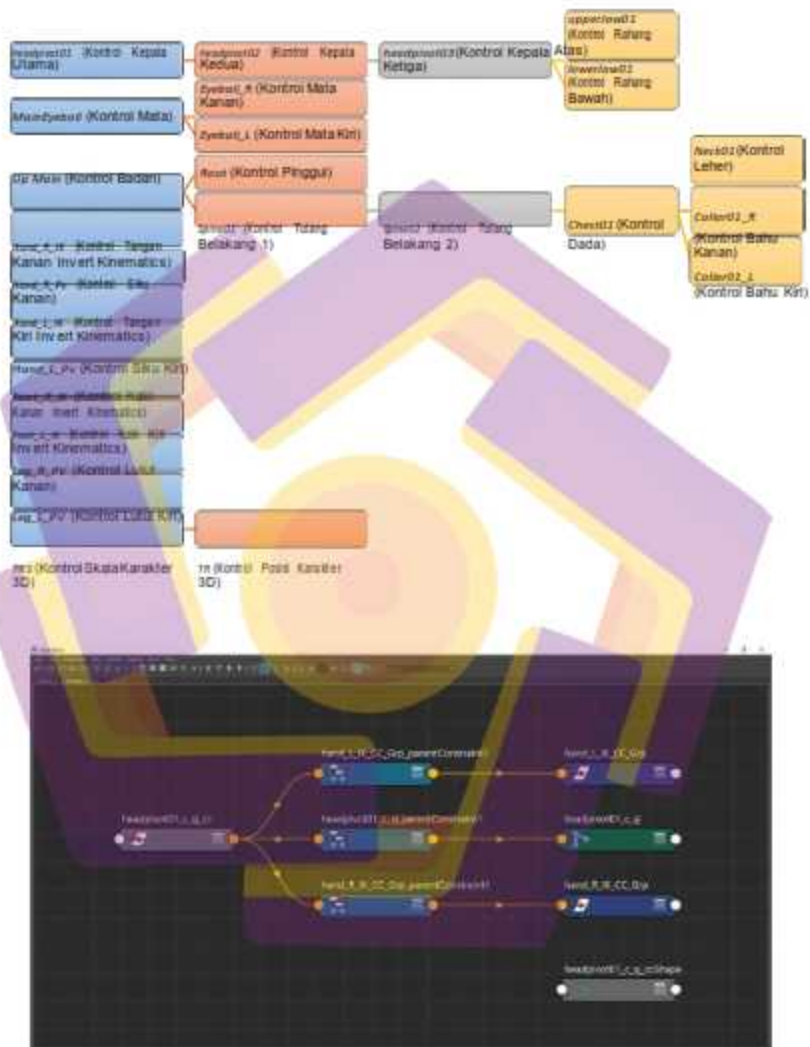
Berdasarkan analisis kontrol karakter animasi 3D tersebut, bagian-bagian pada rig/tulang dikelompokkan dalam beberapa kontrol animasi, yaitu :

- *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_IK* (Kontrol Tangan Kanan Invert Kinematics)
 - *Hand_R_Pv* (Kontrol Siku Kanan)
 - *Hand_L_IK* (Kontrol Tangan Kiri Invert Kinematics)
 - *Hand_L_Pv* (Kontrol Siku Kiri)
 - *Foot_R_IK* (Kontrol Kaki Kanan Invert Kinematics)
 - *Foot_L_IK* (Kontrol Kaki Kiri Invert Kinematics)
 - *Leg_R_PV* (Kontrol Lutut Kanan)
 - *Leg_L_PV* (Kontrol Lutut Kiri)
 - *TRS* (Kontrol Skala Karakter 3D)
 - *TR* (Kontrol Posisi Karakter 3D)

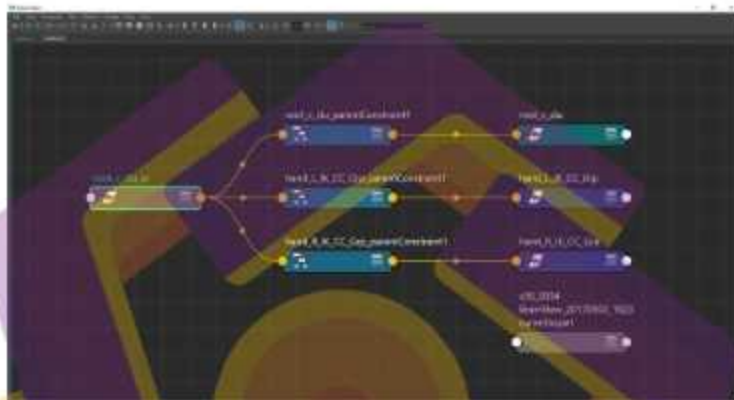
Berdasarkan bagian-bagian pada rig/tulang yang telah dikelompokkan dalam beberapa kontrol animasi, dapat dilihat hubungan antar kontrol karakter animasi 3D pada tabel 4.5 berikut ini.

Tabel 4.5. Tabel hubungan antar kontrol animasi

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 *inverse kinematics*) dan *hand_r_ik* (tangan kanan *inverse 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_ik* (tangan kiri *inverse kinematics*) rig *hand_r_ik* (tangan kanan *inverse kinematics*) dan *root_e* (pinggul tengah) yang berelasi dengan kontrol animasi masing – masing bagian dan setiap kontrol animasi berelasi pada kontrol animasi *Root* (kontrol pinggul utama).



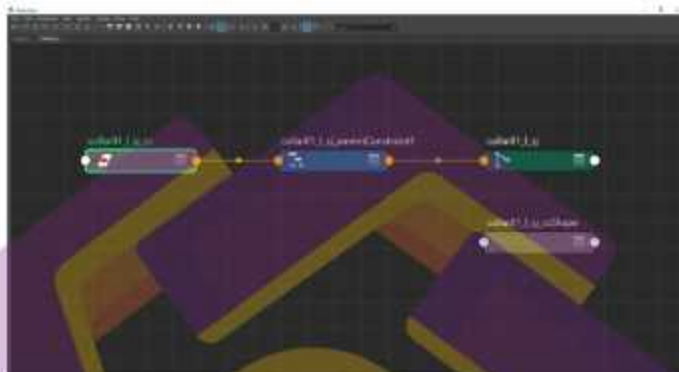
Gambar 4.25 Node view hubungan kontrol animasi Chest01 (Kontrol Dada)

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_ik* (tangan kanan *inverse kinematics*), rig *hand_l_ik* (tangan kiri *inverse 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).



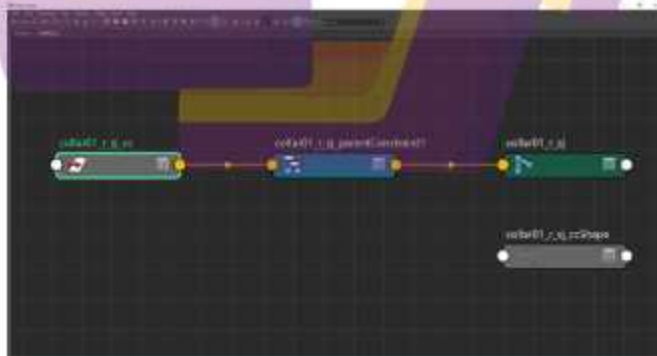
Gambar 4.26 Node view hubungan kontrol animasi Neck01 (Kontrol Leher)

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).



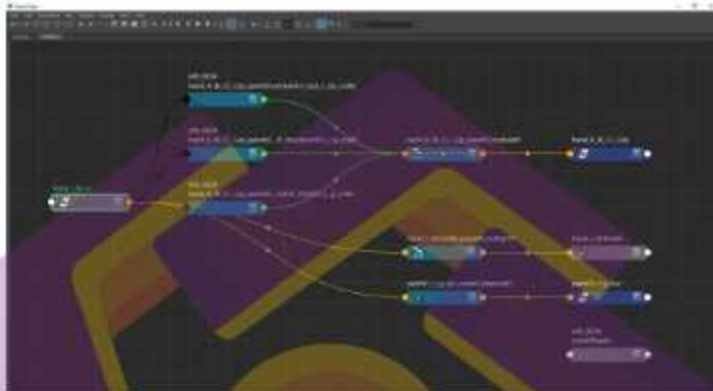
Gambar 4.27 *Node view* hubungan control animasi *Collar01_L* (Kontrol Bahu Kiri)

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).



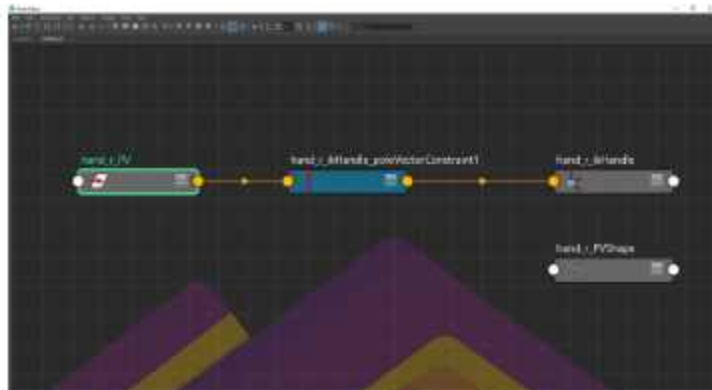
Gambar 4.28 *Node view* hubungan control animasi *Collar01_R* (Kontrol Bahu Kanan)

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 kontrol animasi *Hand_R_IK* (Kontrol Tangan Kanan Invert Kinematics)

Pada Gambar 4.29 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan kontrol animasi *Hand_R_IK* (Kontrol Tangan Kanan Invert Kinematics), yaitu rig *palm_r* (telapak tangan kanan) dan rig *hand_r_ik* (tangan kanan *inverse kinematic*) yang berelasi dengan kontrol animasi masing – masing bagian dan setiap kontrol animasi berelasi pada kontrol animasi *Hand_R_IK* (Kontrol Tangan Kanan Invert Kinematics Utama).



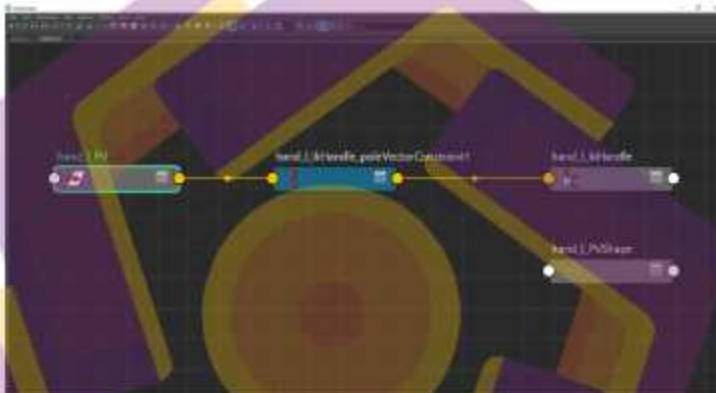
Gambar 4.30 *Node view* hubungan control animasi *Hand_R_PV* (Kontrol Siku Kanan)

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



Gambar 4.31 *Node view* hubungan control animasi *Hand_L_IK* (Kontrol Tangan Kiri Invert Kinematics)

Pada Gambar 4.31 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan kontrol animasi *Hand_L_IK* (Kontrol Tangan Kiri Invert Kinematics), yaitu rig *palm_1* (telapak tangan kiri) dan rig *hand_1_ik* (tangan kiri *inverse kinematics*) yang berelasi dengan kontrol animasi masing – masing bagian dan setiap kontrol animasi berelasi pada kontrol animasi *Hand_L_IK* (Kontrol Tangan Kiri Invert Kinematics Utama).



Gambar 4.32 *Node view* hubungan kontrol 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).



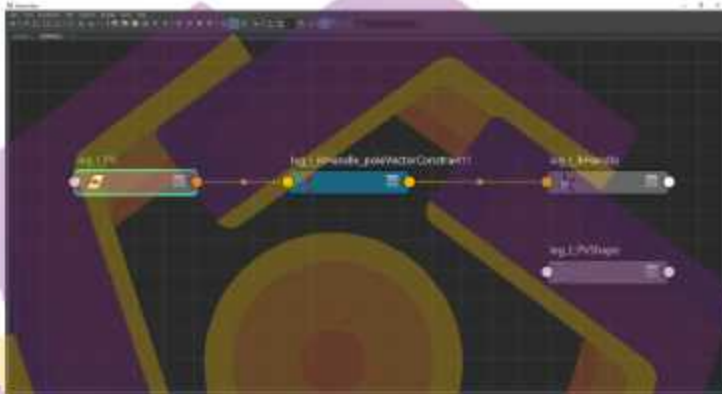
Gambar 4.33 *Node view* hubungan control animasi *Foot_L_IK* (Kontrol Kaki Kiri Invert Kinematics)

Pada Gambar 4.33 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan control animasi *Foot_L_IK* (Kontrol Kaki Kiri Invert Kinematics), yaitu rig *outbank_l*, *ankle_l*, *inbank_l*, *ball_l_ik*, *heel_l*, *swivel_l*, *toe_l_ik* yang berelasi dengan control animasi masing – masing bagian dan setiap control animasi berelasi pada control animasi *Foot_L_IK* (Kontrol Kaki Kiri Invert Kinematics Utama).



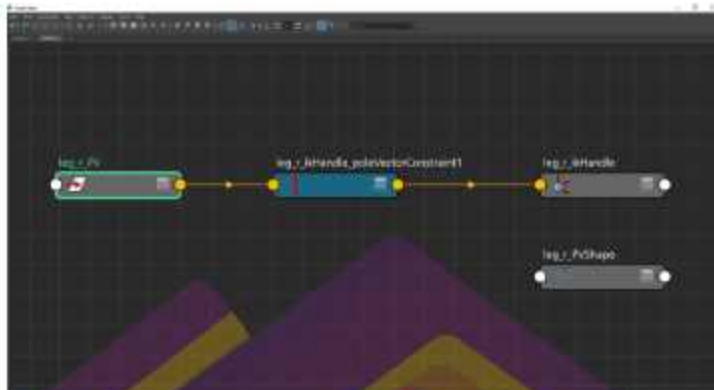
Gambar 4.34 *Node view* hubungan control animasi *Foot_R_IK* (Kontrol Kaki Kanan Invert Kinematics)

Pada Gambar 4.34 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan kontrol animasi *Foot_R_IK* (Kontrol Kaki Kanan Invert Kinematics), yaitu rig *outbank_r*, *ankle_r*, *inbank_r*, *ball_r_ik*, *heel_r*, *swivel_r*, *toe_r_ik* yang berelasi dengan kontrol animasi masing – masing bagian dan setiap kontrol animasi berelasi pada kontrol animasi *Foot_R_IK* (Kontrol Kaki Kanan Invert Kinematics Utama).



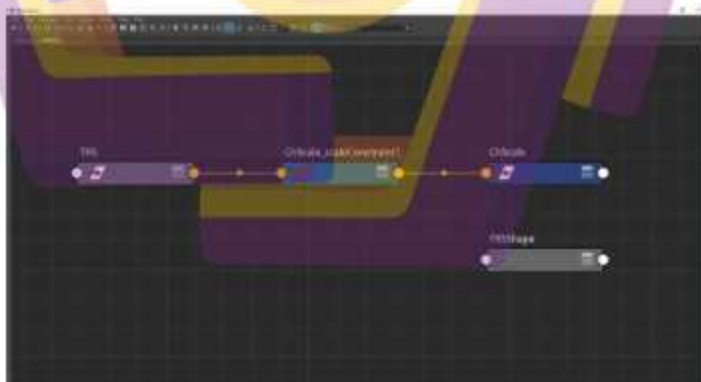
Gambar 4.35 *Node view* hubungan control animasi *Leg_L_PV* (Kontrol Lutut Kiri)

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).



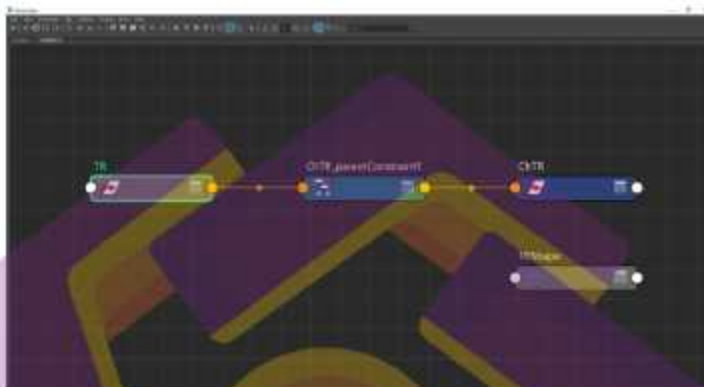
Gambar 4.36 *Node view* hubungan control animasi *Leg_R_PV* (Kontrol Lutut Kanan)

Pada Gambar 4.35 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan control animasi *Leg_R_PV* (Kontrol Lutut Kanan), yaitu rig *Leg_R_PV* (Lutut Kanan), yang bereksi dengan control 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 kontrol animasi *TRS* (Kontrol Skala Karakter 3D), kontrol animasi ini ialah untuk mengatur perbesar dan perkecil objek 3D karakter.



Gambar 4.38 *Node view* hubungan kontrol animasi *TR* (Kontrol Posisi Karakter 3D)

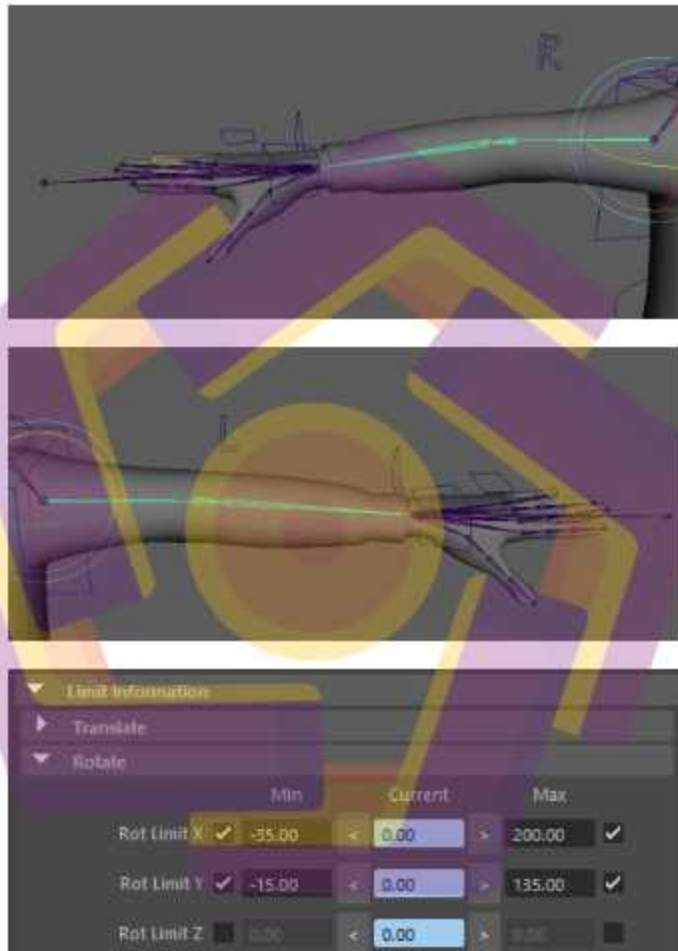
Pada Gambar 4.38 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan kontrol animasi *TR* (Kontrol Posisi Karakter 3D), kontrol animasi ini ialah untuk mengatur perpindahan posisi pada objek 3D karakter.

4.3 Implementasi Gerak

4.3.1 Penerapan derajat kebebasan tulang

Tahap selanjutnya adalah penerapan derajat kebebasan tulang pada rigging/tulang animasi 3D menggunakan metode *inverse kinematics*. Pada software Autodesk Maya, tahap pertama untuk menerapkan derajat kebebasan tulang yaitu dengan menentukan sumbu rotasi *x,y* dan *z* dari setiap bagian tubuh karakter yang akan diterapkan derajat kebebasan tulang berdasarkan analisis derajat sendi sebelumnya. Hal ini bertujuan agar gerakan animasi yang dihasilkan dari karakter

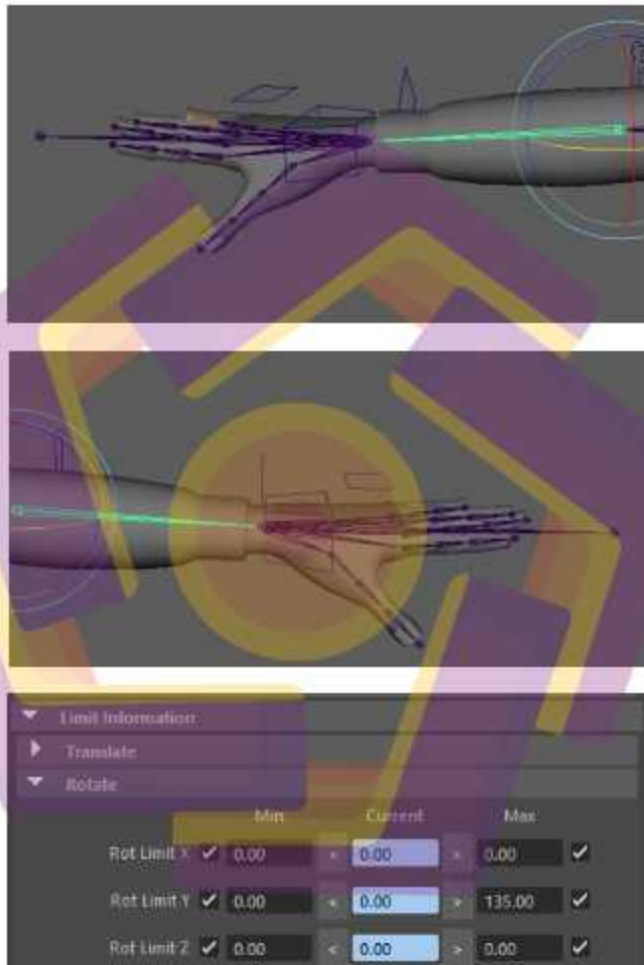
dapat terlihat seperti gerakan manusia yang sebenarnya dengan batas-batas minimal dan maksimal gerak setiap tubuh yang dimiliki.



Gambar 4.39 Setting sudut derajat min/max tulang bahu kanan dan kiri

Pada Gambar 4.39 diterapkan derajat kebebasan sendi pada tulang bahu kanan dan kiri dengan batasan gerak putar sumbu (X) minimal -35° dan maksimal

200 °, gerak putar sumbu (Y) minimal -15 ° dan maksimal 135 ° dan untuk gerak putar sumbu (Z) tidak diberikan batasan gerak dikarenakan sifat gerak sendi peluru.



Gambar 4.40 Setting sudut derajat min/max tulang siku kanan dan kiri

Pada Gambar 4.40 diterapkan derajat kebebasan sendi pada tulang siku kanan dan kiri dengan batasan gerak putar sumbu (Y) minimal 0 ° dan maksimal

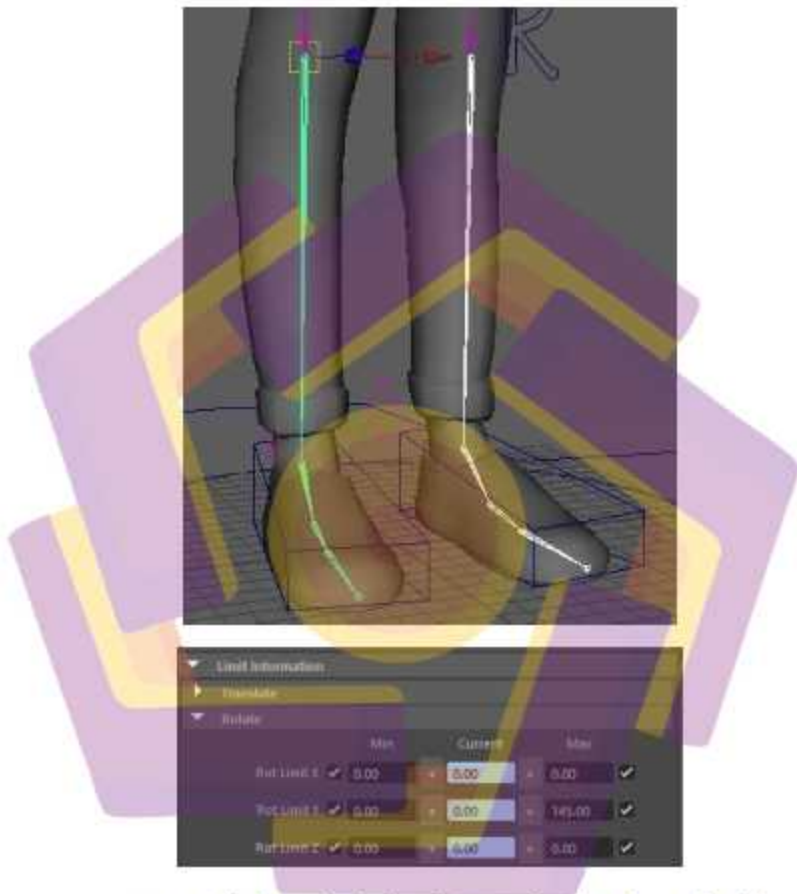
135°, gerak putar sumbu (X) dan sumbu (Z) diberikan batasan minimal dan maksimal sebesar 0° dikarenakan sifat gerak sendi engsel yang hanya satu arah gerakan.



Gambar 4.41 Setting sudut derajat min/max tulang pangkal paha kanan dan kiri

Pada Gambar 4.41 diterapkan derajat kebebasan sendi pada tulang paha kanan dan kiri dengan batasan gerak putar sumbu (Y) minimal -145° dan maksimal

0°, gerak putar sumbu (Z) minimal -35° dan maksimal 90° dan untuk gerak putar sumbu (X) tidak diberikan batasan gerak dikarenakan sifat gerak sendi peluru.

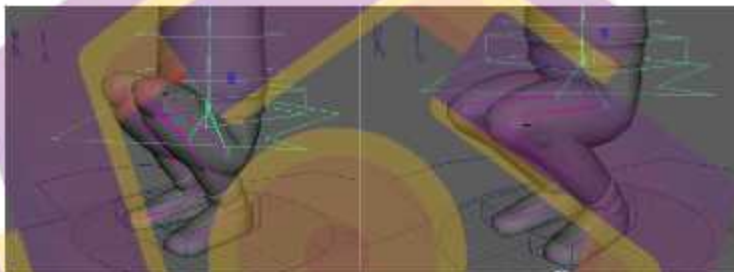


Gambar 4.42 Setting sudut derajat min/max tulang lutut kanan dan kiri

Pada Gambar 4.42 diterapkan derajat kebebasan sendi pada tulang lutut kanan dan kiri dengan batasan gerak putar sumbu (Y) minimal 0° dan maksimal 145°, gerak putar sumbu (X) dan sumbu (Z) diberikan batasan minimal dan

maksimal sebesar 0° dikarenakan sifat gerak sendi engsel yang hanya satu arah gerakan.

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.

4.3.2 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 Laili 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



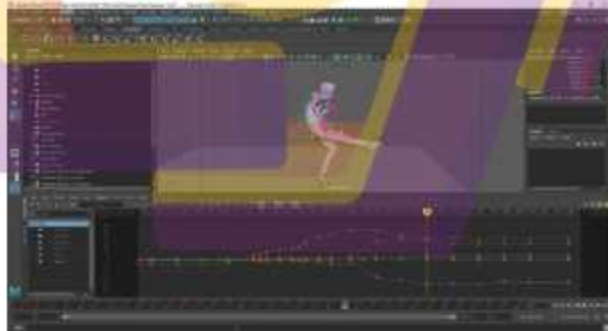
Gambar 4.45 Alur pengujian gerakan animasi 3D

Tahap pertama yang animator penguji lakukan ialah mempersiapkan karakter animasi 3D yang akan diuji, disini ada 2 karakter animasi 3D yang akan diujikan pergerakan animasinya, yaitu pengujian pada gerakan animasi 3d yang menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi dan pengujian pada gerakan animasi 3d tanpa menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi, selanjutnya 2

karakter pengujian animasi 3D tersebut dilakukan tahap pembuatan gerakan keyframe menggunakan Teknik pose to pose, selanjutnya adalah menambahkan gerakan sisip (*inbetween*) di antara keyframe-keyframe tersebut agar gerakan terlihat halus dan terakhir ialah finishing gerakan animasi 3D disetiap pengujianya. Dalam proses pembuatan gerakan animasi ini menggunakan software Autodesk Maya 2017



Gambar 4.46 Pose Keyframe Karakter 3D tanpa DoF



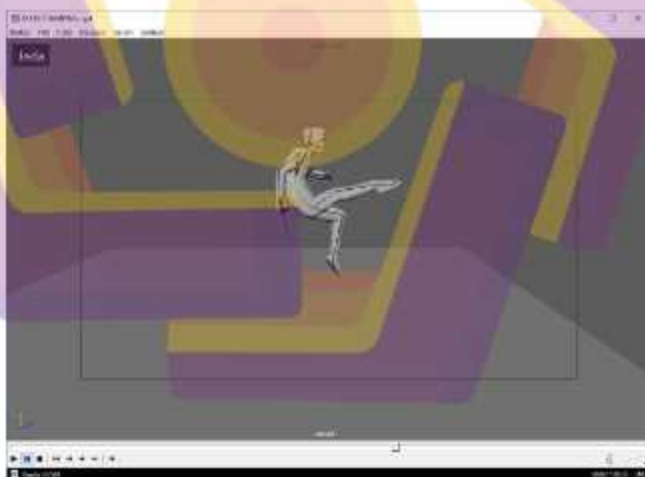
Gambar 4.47 Pose Keyframe Karakter 3D menggunakan DoF

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.



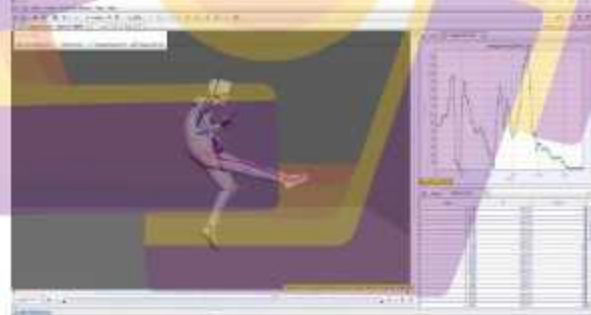
Gambar 4.48 Hasil animasi 3D pada Media Player Classic

Kemudian video animasi juga akan diuji dengan membuat *path* masing-masing bagian tubuh yang bergerak menggunakan *software* Tracker, dan hasil *path*

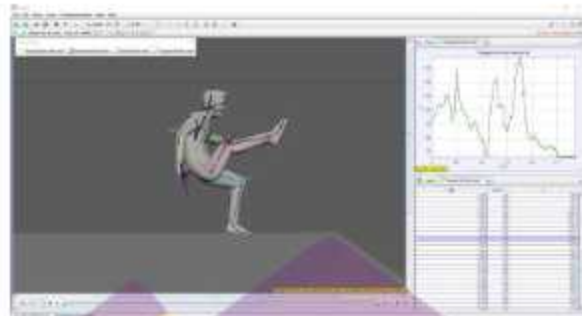
video animasi 3D akan dibandingkan dengan hasil path dari video referensi yang merupakan *live shoot*. Penggunaan software ini akan membantu dalam merekam gerakan dan akan menentukan titik koordinat setiap gerakan sehingga tingkat kemiripan kedua gerakan dapat diketahui berdasarkan titik koordinat yang dihasilkan.



Gambar 4.49 Proses pengujian gerakan video referensi



Gambar 4.50 Proses pengujian gerakan animasi 3D menggunakan DoF



Gambar 4.51 Proses pengujian gerakan animasi 3D tanpa DoF

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 Pada Video Referensi

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

Kolom pertama pada tampilan tabel hasil menunjukkan waktu, kolom kedua menunjukkan posisi frame, dan kolom ketiga merupakan besar sudut yang dihasilkan. Nilai dari sudut akan ditampilkan dalam format derajat dengan bentuk pecahan desimal dengan satu angka pembilang. Sedangkan jumlah baris yang dihasilkan pada tampilan tabel menyesuaikan dengan jumlah frame pada setiap video, dimana pada pengujian video gerakan animasi 3D yaitu berjumlah 69 baris dan 68 frame pada 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 hasil dari 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.

4.5.1.1 Hasil Pengukuran Sudut Tangan Kanan Video Referensi

Tampilan dari hasil tabel gerakan sudut tangan kanan pada video referensi dapat dilihat pada gambar 4.52 berikut ini.

Time (ms)	Angle (degrees)	Frame
1.000	0.000	111.2
1.000	0.000	109.2
1.000	0.000	107.2
1.000	0.000	105.2
1.000	0.000	103.2
1.000	0.000	101.2
1.000	0.000	99.2
1.000	0.000	97.2
1.000	0.000	95.2
1.000	0.000	93.2
1.000	0.000	91.2
1.000	0.000	89.2
1.000	0.000	87.2
1.000	0.000	85.2
1.000	0.000	83.2
1.000	0.000	81.2
1.000	0.000	79.2
1.000	0.000	77.2
1.000	0.000	75.2
1.000	0.000	73.2
1.000	0.000	71.2
1.000	0.000	69.2
1.000	0.000	67.2
1.000	0.000	65.2
1.000	0.000	63.2
1.000	0.000	61.2
1.000	0.000	59.2
1.000	0.000	57.2
1.000	0.000	55.2
1.000	0.000	53.2
1.000	0.000	51.2
1.000	0.000	49.2
1.000	0.000	47.2
1.000	0.000	45.2
1.000	0.000	43.2
1.000	0.000	41.2
1.000	0.000	39.2
1.000	0.000	37.2
1.000	0.000	35.2
1.000	0.000	33.2
1.000	0.000	31.2
1.000	0.000	29.2
1.000	0.000	27.2
1.000	0.000	25.2
1.000	0.000	23.2
1.000	0.000	21.2
1.000	0.000	19.2
1.000	0.000	17.2
1.000	0.000	15.2
1.000	0.000	13.2
1.000	0.000	11.2
1.000	0.000	9.2
1.000	0.000	7.2
1.000	0.000	5.2
1.000	0.000	3.2
1.000	0.000	1.2

Gambar 4.52 Tampilan tabel hasil pengukuran sudut tangan kanan video referensi

Grafik gerakan sudut tangan kanan pada video referensi dapat dilihat pada gambar 4.53 berikut ini.



Gambar 4.53 Tampilan Grafik hasil pengukuran sudut tangan kanan video referensi

Berdasarkan tabel hasil pada gambar 4.52 dan gambar grafik 4.53 di atas, gerakan pada tangan kanan banyak mengalami perubahan pada frame 22 hingga 32 yang membuat perubahan gerak sangat drastis, dan pada *frame* 48 mulai mengalami penurunan grafik angka 179 hingga menjadi angka dibawah 60. Hasil dari tabel dan grafik ini menjadi bahan untuk mendapatkan hasil akurasi pada pengujian-pengujian gerakan pada karakter animasi 3D nantinya

4.5.1.2 Hasil Pengukuran Sudut Tangan Kiri Video Referensi

Tampilan dari hasil tabel gerakan sudut tangan kiri pada video referensi dapat dilihat pada gambar 4.54 berikut ini.

Time	Angle	Speed	Acceleration
0.000	0	0	0
0.010	0	0	0
0.020	0	0	0
0.030	0	0	0
0.040	0	0	0
0.050	0	0	0
0.060	0	0	0
0.070	0	0	0
0.080	0	0	0
0.090	0	0	0
0.100	0	0	0
0.110	0	0	0
0.120	0	0	0
0.130	0	0	0
0.140	0	0	0
0.150	0	0	0
0.160	0	0	0
0.170	0	0	0
0.180	0	0	0
0.190	0	0	0
0.200	0	0	0
0.210	0	0	0
0.220	0	0	0
0.230	0	0	0
0.240	0	0	0
0.250	0	0	0
0.260	0	0	0
0.270	0	0	0
0.280	0	0	0
0.290	0	0	0
0.300	0	0	0
0.310	0	0	0
0.320	0	0	0
0.330	0	0	0
0.340	0	0	0
0.350	0	0	0
0.360	0	0	0
0.370	0	0	0
0.380	0	0	0
0.390	0	0	0
0.400	0	0	0
0.410	0	0	0
0.420	0	0	0
0.430	0	0	0
0.440	0	0	0
0.450	0	0	0
0.460	0	0	0
0.470	0	0	0
0.480	0	0	0
0.490	0	0	0
0.500	0	0	0
0.510	0	0	0
0.520	0	0	0
0.530	0	0	0
0.540	0	0	0
0.550	0	0	0
0.560	0	0	0
0.570	0	0	0
0.580	0	0	0
0.590	0	0	0
0.600	0	0	0
0.610	0	0	0
0.620	0	0	0
0.630	0	0	0
0.640	0	0	0
0.650	0	0	0
0.660	0	0	0
0.670	0	0	0
0.680	0	0	0
0.690	0	0	0
0.700	0	0	0
0.710	0	0	0
0.720	0	0	0
0.730	0	0	0
0.740	0	0	0
0.750	0	0	0
0.760	0	0	0
0.770	0	0	0
0.780	0	0	0
0.790	0	0	0
0.800	0	0	0
0.810	0	0	0
0.820	0	0	0
0.830	0	0	0
0.840	0	0	0
0.850	0	0	0
0.860	0	0	0
0.870	0	0	0
0.880	0	0	0
0.890	0	0	0
0.900	0	0	0
0.910	0	0	0
0.920	0	0	0
0.930	0	0	0
0.940	0	0	0
0.950	0	0	0
0.960	0	0	0
0.970	0	0	0
0.980	0	0	0
0.990	0	0	0
1.000	0	0	0

Gambar 4.54 Tampilan tabel hasil pengukuran sudut tangan kiri video referensi

Grafik gerakan sudut tangan kiri pada video referensi dapat dilihat pada gambar 4.55 berikut ini.



Gambar 4.55 Tampilan Grafik hasil pengukuran sudut tangan kiri video referensi

Berdasarkan tabel hasil pada gambar 4.54 dan gambar grafik 4.55 di atas, gerakan pada tangan kiri banyak mengalami perubahan pada beberapa *frame*, namun tidak terlalu signifikan dengan rata-rata gerakan berada di grafik 70 hingga

90, namun ketika pada *frame* 24 hingga 38, cukup mengalami perubahan yang signifikan. Hasil dari tabel dan grafik ini menjadi bahan untuk mendapatkan hasil akurasi pada pengujian-pengujian gerakan pada karakter animasi 3D nantinya

4.5.1.3 Hasil Pengukuran Sudut Kaki Kanan Video Referensi

Tampilan dari hasil tabel gerakan sudut kaki kanan pada video referensi dapat dilihat pada gambar 4.56 berikut ini.

Time	Rotation						
0:00	0.000	0	114.9	1.000	24	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	25	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	26	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	27	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	28	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	29	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	30	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	31	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	32	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	33	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	34	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	35	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	36	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	37	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	38	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	39	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	40	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	41	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	42	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	43	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	44	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	45	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	46	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	47	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	48	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	49	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	50	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	51	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	52	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	53	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	54	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	55	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	56	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	57	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	58	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	59	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	60	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	61	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	62	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	63	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	64	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	65	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	66	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	67	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	68	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	69	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	70	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	71	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	72	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	73	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	74	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	75	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	76	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	77	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	78	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	79	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	80	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	81	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	82	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	83	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	84	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	85	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	86	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	87	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	88	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	89	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	90	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	91	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	92	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	93	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	94	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	95	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	96	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	97	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	98	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	99	188.4	
0:00	0.000	0	114.9	1.000	100	188.4	

Gambar 4.56 Tampilan tabel hasil pengukuran sudut kaki kanan video referensi

Grafik gerakan sudut kaki kanan pada video referensi dapat dilihat pada gambar 4.57 berikut ini.



Gambar 4.57 Tampilan Grafik hasil pengukuran sudut kaki kanan video referensi

Berdasarkan tabel hasil pada gambar 4.56 dan gambar grafik 4.57 di atas, gerakan pada kaki kanan banyak mengalami beberapa perubahan pada beberapa *frame*, namun terjadi perubahan yang sangat signifikan pada *frame* 22 hingga 42 namun rata-rata gerakan berada di grafik 140 hingga 180. Hasil dari tabel dan grafik ini menjadi bahan untuk mendapatkan hasil akurasi pada pengujian-pengujian gerakan pada karakter animasi 3D nantinya

4.5.1.4 Hasil Pengukuran Sudut Kaki Kiri Video Referensi

Tampilan dari hasil tabel gerakan sudut kaki kiri pada video referensi dapat dilihat pada gambar 4.58 berikut ini.

TIME	KURSI	X	Y	Z	TIME	KURSI	X	Y	Z
00:00	0	100.0			1:40	30	100.0		171.0
00:01	1	100.0			1:41	30	100.0		169.0
00:02	2	100.0			1:42	30	100.0		171.0
00:03	3	100.0			1:43	30	100.0		169.0
00:04	4	100.0			1:44	30	100.0		171.0
00:05	5	100.0			1:45	30	100.0		169.0
00:06	6	100.0			1:46	30	100.0		171.0
00:07	7	100.0			1:47	30	100.0		169.0
00:08	8	100.0			1:48	30	100.0		171.0
00:09	9	100.0			1:49	30	100.0		169.0
00:10	10	100.0			1:50	30	100.0		171.0
00:11	11	100.0			1:51	30	100.0		169.0
00:12	12	100.0			1:52	30	100.0		171.0
00:13	13	100.0			1:53	30	100.0		169.0
00:14	14	100.0			1:54	30	100.0		171.0
00:15	15	100.0			1:55	30	100.0		169.0
00:16	16	100.0			1:56	30	100.0		171.0
00:17	17	100.0			1:57	30	100.0		169.0
00:18	18	100.0			1:58	30	100.0		171.0
00:19	19	100.0			1:59	30	100.0		169.0
00:20	20	100.0			2:00	30	100.0		171.0
00:21	21	100.0			2:01	30	100.0		169.0
00:22	22	100.0			2:02	30	100.0		171.0
00:23	23	100.0			2:03	30	100.0		169.0
00:24	24	100.0			2:04	30	100.0		171.0
00:25	25	100.0			2:05	30	100.0		169.0
00:26	26	100.0			2:06	30	100.0		171.0
00:27	27	100.0			2:07	30	100.0		169.0
00:28	28	100.0			2:08	30	100.0		171.0
00:29	29	100.0			2:09	30	100.0		169.0
00:30	30	100.0			2:10	30	100.0		171.0

Gambar 4.58 Tampilan tabel hasil pengukuran sudut kaki kiri video referensi

Grafik gerakan sudut kaki kiri pada video referensi dapat dilihat pada gambar 4.59 berikut ini.



Gambar 4.59 Tampilan Grafik hasil pengukuran sudut kaki kiri video referensi

Berdasarkan tabel hasil pada gambar 4.58 dan gambar grafik 4.59 di atas, gerakan pada kaki kiri banyak mengalami beberapa perubahan pada beberapa *frame*, namun terjadi perubahan yang sangat signifikan pada *frame* 28 hingga 42 namun rata-rata gerakan berada di grafik 140 hingga 180. Hasil dari tabel dan grafik

ini menjadi bahan untuk mendapatkan hasil akurasi pada pengujian-pengujian gerakan pada karakter animasi 3D nantinya

4.5.2 Pengujian Pada Gerakan Animasi 3D Yang Menerapkan Sudut Derajat Kebebasan Pada Sendi

Setelah pengukuran sudut pada video referensi telah dilakukan, kemudian didapatkan hasil yang disajikan dalam bentuk tabel hasil pengujian gerakan animasi 3D mengukur sudut derajat maksimal.

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. Hasil dari grafik tersebut kemudian dibandingkan dengan grafik hasil dari pengujian pada video referensi.

4.5.2.1 Hasil Pengukuran Sudut Tangan Kanan Pada Gerakan Animasi 3D Yang Menerapkan Sudut Derajat Kebebasan Pada Sendi

Tampilan dari hasil tabel gerakan sudut tangan kanan pada pengujian gerakan animasi 3D yang menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi, dapat dilihat pada gambar 4.60 berikut ini.

Time	Angle (Degrees)	Velocity (Degrees/Second)	Acceleration (Degrees/Second Squared)
0.000	90.00	0.00	0.00
0.010	89.99	-0.01	0.00
0.020	89.97	-0.02	0.00
0.030	89.94	-0.03	0.00
0.040	89.89	-0.05	0.00
0.050	89.82	-0.07	0.00
0.060	89.73	-0.10	0.00
0.070	89.61	-0.14	0.00
0.080	89.47	-0.19	0.00
0.090	89.30	-0.25	0.00
0.100	89.11	-0.32	0.00
0.110	88.90	-0.40	0.00
0.120	88.67	-0.49	0.00
0.130	88.42	-0.59	0.00
0.140	88.15	-0.70	0.00
0.150	87.86	-0.82	0.00
0.160	87.55	-0.95	0.00
0.170	87.22	-1.09	0.00
0.180	86.87	-1.24	0.00
0.190	86.50	-1.40	0.00
0.200	86.11	-1.57	0.00
0.210	85.70	-1.75	0.00
0.220	85.27	-1.94	0.00
0.230	84.82	-2.14	0.00
0.240	84.35	-2.35	0.00
0.250	83.86	-2.57	0.00
0.260	83.35	-2.80	0.00
0.270	82.82	-3.04	0.00
0.280	82.27	-3.29	0.00
0.290	81.70	-3.55	0.00
0.300	81.11	-3.82	0.00
0.310	80.50	-4.10	0.00
0.320	79.87	-4.39	0.00
0.330	79.22	-4.69	0.00
0.340	78.55	-5.00	0.00
0.350	77.86	-5.32	0.00
0.360	77.15	-5.65	0.00
0.370	76.42	-6.00	0.00
0.380	75.67	-6.36	0.00
0.390	74.90	-6.73	0.00
0.400	74.11	-7.11	0.00
0.410	73.30	-7.50	0.00
0.420	72.47	-7.90	0.00
0.430	71.62	-8.31	0.00
0.440	70.75	-8.73	0.00
0.450	69.86	-9.16	0.00
0.460	68.95	-9.60	0.00
0.470	68.02	-10.05	0.00
0.480	67.07	-10.51	0.00
0.490	66.10	-11.00	0.00
0.500	65.11	-11.50	0.00

Gambar 4.60 Tampilan tabel hasil pengukuran sudut tangan kanan video animasi menggunakan DoF

Grafik perbandingan sudut siku tangan kanan pada gerakan dapat dilihat pada gambar 4.61 berikut ini.



Gambar 4.61 Grafik perbandingan sudut tangan kanan pada gerakan animasi menerapkan sudut kebebasan pada sendi

Berdasarkan tabel hasil pada gambar 4.60 dan gambar grafik 4.61 di atas, gerakan pada tangan kanan banyak mengalami perubahan meskipun telah menerapkan sudut kebebasan pada sendi. Hal tersebut ditunjukkan pada grafik yang berbeda-beda di tiap framanya, ini terjadi dikarenakan dalam proses penganimasian

sangat terbatas dan menerapkan sudut kebebasan pada sendi pada tangan kanan serta dalam proses penganimasian yang menggunakan metode *pose to pose* dan metode *inverse kinematics*, yang mengakibatkan kurang akuratnya gerak pada tangan kanan.

4.5.2.2 Hasil Pengukuran Sudut Tangan Kiri Pada Gerakan Animasi 3D Yang Menerapkan Sudut Derajat Kebebasan Pada Sendi

Tampilan dari hasil tabel gerakan sudut tangan kiri pada pengujian gerakan animasi 3D yang menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi, dapat dilihat pada gambar 4.62 berikut ini.

Time	Angle	Value
0.000	0.000	0.000
0.001	0.000	0.000
0.002	0.000	0.000
0.003	0.000	0.000
0.004	0.000	0.000
0.005	0.000	0.000
0.006	0.000	0.000
0.007	0.000	0.000
0.008	0.000	0.000
0.009	0.000	0.000
0.010	0.000	0.000
0.011	0.000	0.000
0.012	0.000	0.000
0.013	0.000	0.000
0.014	0.000	0.000
0.015	0.000	0.000
0.016	0.000	0.000
0.017	0.000	0.000
0.018	0.000	0.000
0.019	0.000	0.000
0.020	0.000	0.000
0.021	0.000	0.000
0.022	0.000	0.000
0.023	0.000	0.000
0.024	0.000	0.000
0.025	0.000	0.000
0.026	0.000	0.000
0.027	0.000	0.000
0.028	0.000	0.000
0.029	0.000	0.000
0.030	0.000	0.000
0.031	0.000	0.000
0.032	0.000	0.000
0.033	0.000	0.000
0.034	0.000	0.000
0.035	0.000	0.000
0.036	0.000	0.000
0.037	0.000	0.000
0.038	0.000	0.000
0.039	0.000	0.000
0.040	0.000	0.000
0.041	0.000	0.000
0.042	0.000	0.000
0.043	0.000	0.000
0.044	0.000	0.000
0.045	0.000	0.000
0.046	0.000	0.000
0.047	0.000	0.000
0.048	0.000	0.000
0.049	0.000	0.000
0.050	0.000	0.000
0.051	0.000	0.000
0.052	0.000	0.000
0.053	0.000	0.000
0.054	0.000	0.000
0.055	0.000	0.000
0.056	0.000	0.000
0.057	0.000	0.000
0.058	0.000	0.000
0.059	0.000	0.000
0.060	0.000	0.000
0.061	0.000	0.000
0.062	0.000	0.000
0.063	0.000	0.000
0.064	0.000	0.000
0.065	0.000	0.000
0.066	0.000	0.000
0.067	0.000	0.000
0.068	0.000	0.000
0.069	0.000	0.000
0.070	0.000	0.000
0.071	0.000	0.000
0.072	0.000	0.000
0.073	0.000	0.000
0.074	0.000	0.000
0.075	0.000	0.000
0.076	0.000	0.000
0.077	0.000	0.000
0.078	0.000	0.000
0.079	0.000	0.000
0.080	0.000	0.000
0.081	0.000	0.000
0.082	0.000	0.000
0.083	0.000	0.000
0.084	0.000	0.000
0.085	0.000	0.000
0.086	0.000	0.000
0.087	0.000	0.000
0.088	0.000	0.000
0.089	0.000	0.000
0.090	0.000	0.000
0.091	0.000	0.000
0.092	0.000	0.000
0.093	0.000	0.000
0.094	0.000	0.000
0.095	0.000	0.000
0.096	0.000	0.000
0.097	0.000	0.000
0.098	0.000	0.000
0.099	0.000	0.000
0.100	0.000	0.000

Gambar 4.62 Tampilan tabel hasil pengukuran sudut tangan kiri video animasi menggunakan DoF

Grafik perbandingan sudut siku tangan kiri pada gerakan dapat dilihat pada gambar 4.63 berikut ini.



Gambar 4.63 Grafik perbandingan sudut tangan kiri pada gerakan animasi menerapkan sudut kebebasan pada sendi

Berdasarkan tabel hasil pada gambar 4.62 dan gambar grafik 4.63 di atas, gerakan pada tangan kiri juga banyak mengalami perubahan seperti grafik pada tangan kanan sebelumnya, meskipun telah menerapkan sudut kebebasan pada sendi yang sama seperti tangan kanan. Hal tersebut ditunjukkan juga pada grafik yang berbeda-beda ditiap framanya, ini terjadi dikarenakan dalam proses penganimasian sangat terbatas dan menerapkan sudut kebebasan pada sendi 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.

4.5.2.3 Hasil Pengukuran Sudut Kaki Kanan Pada Gerakan Animasi 3D Yang Menerapkan Sudut Derajat Kebebasan Pada Sendi

Tampilan dari hasil tabel gerakan sudut kaki kanan pada pengujian gerakan animasi 3D yang menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi, dapat dilihat pada gambar 4.64 berikut ini.



Gambar 4.67 Grafik perbandingan sudut kaki kiri pada gerakan animasi menerapkan sudut kebebasan pada sendi

Berdasarkan tabel hasil pada gambar 4.66 dan gambar grafik 4.67 di atas 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 meskipun telah menerapkan sudut kebebasan pada sendi yang sama seperti kaki kanan. Ini terjadi dikarenakan dalam proses penganimasian yang menerapkan sudut kebebasan pada sendi 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, didapatkan data berupa:

Σ **REPERDISI** **WAKTU** atau sudut yang dihasilkan

REPERDISI WAKTU **REPE** **REPERDISI** = 6,4863

Σ **PERSEGI PANJANG** atau sudut yang dihasilkan

$$2 \times (2 + 3) \times 180^\circ = 5.739,9$$

Σ **PERSEGI** atau sudut yang dihasilkan

$$4 \times (2 + 2) \times 180^\circ = 10.827,9$$

Σ **PERSEGI PANJANG** atau sudut yang dihasilkan

$$2 \times (2 + 3) \times 180^\circ = 9.730,1$$

Σ **PERSEGI PANJANG** atau sudut yang dihasilkan

$$2 \times (2 + 3) \times 180^\circ + 3 \times 360^\circ$$

$$= 977,68$$

Σ **PERSEGI PANJANG** atau sudut yang dihasilkan

$$2 \times (2 + 3) \times 180^\circ + 3 \times 360^\circ$$

$$= 4.023,61$$

Σ **PERSEGI PANJANG** atau sudut yang dihasilkan

$$2 \times (2 + 3) \times 180^\circ + 3 \times 360^\circ$$

$$= 5.126,09$$

Σ selisih Δ atau sudut yang dihasilkan

$$\Delta = 30$$

$$\Sigma \Delta = 5,380,07$$

$$\Sigma \Delta = 69$$

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:

$$\begin{aligned} \text{Akurasi} &= \frac{\Sigma \Delta}{\Sigma \Delta} \times 100 \\ &= \frac{977,68}{69} \times 100 = 98,22\% \end{aligned}$$

b. Akurasi Gerak tangan Kiri:

$$\begin{aligned} \text{Akurasi} &= \frac{\Sigma \Delta}{\Sigma \Delta} \times 100 \\ &= \frac{4.023,61}{69} \times 100 = 98,22\% \end{aligned}$$

c. Akurasi Gerak kaki kanan:

$$\begin{aligned} \text{Akurasi} &= \frac{\sum \text{Jumlah Langkah yang Benar}}{\text{Jumlah Langkah}} \times 100 \\ &= \frac{5.126,09}{69} \times 100 = 74,29\% \end{aligned}$$

d. Akurasi Gerak kaki Kiri:

$$\begin{aligned} \text{Akurasi} &= \frac{\sum \text{Jumlah Langkah yang Benar}}{\text{Jumlah Langkah}} \times 100 \\ &= \frac{5.380,07}{69} \times 100 = 77,99\% \end{aligned}$$

e. Akurasi Rata-rata pada gerakan:

$$\begin{aligned} \text{Akurasi} &= \frac{(\text{Akurasi Langkah Kanan} + \text{Akurasi Langkah Kiri} + \text{Akurasi Langkah Kanan} + \text{Akurasi Langkah Kiri})}{4} \\ &= \frac{(74,17+58,31+74,29+77,97)}{4} = 71,18\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, didapatkan hasil pengujian pada gerakan animasi 3d yang menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi menggunakan metode *inverse kinematics* yaitu sebesar 56,185 %.

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



Gambar 4.69 Grafik perbandingan sudut tangan kanan pada gerakan animasi tanpa menerapkan sudut kebebasan pada sendi

Berdasarkan tabel hasil pada gambar 4.68 dan gambar grafik 4.69 di atas, gerakan pada tangan kanan banyak mengalami perubahan sama seperti pengujian pada gerak animasi yang menerapkan sudut kebebasan pada sendi meskipun pada pengujian tahap ini tidak menerapkan sudut kebebasan pada sendi. Hal tersebut masih ditunjukkan pada grafik yang berbeda-beda di tiap framanya, ini terjadi dikarenakan dalam proses penganimasian sangat terbatas dan menerapkan sudut kebebasan pada sendi pada tangan kanan serta dalam proses penganimasian yang menggunakan metode *pose to pose* dan metode *inverse kinematics*, yang mengakibatkan kurang akuratnya gerak pada tangan kanan.

4.5.3.2 Hasil Pengukuran Sudut Tangan Kiri Pada Gerakan Anmasi 3D Tanpa Menerapkan Sudut Derajat Kebebasan Pada Sendi

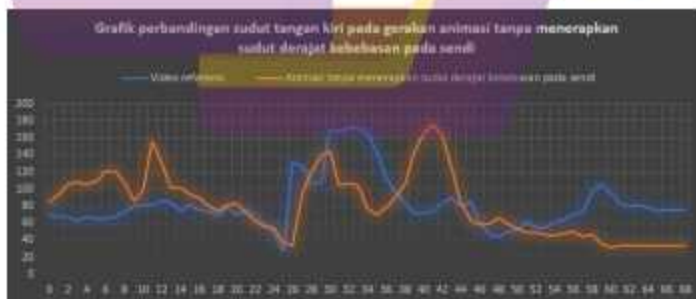
Tampilan dari hasil tabel gerakan sudut tangan kiri pada pengujian gerakan animasi 3D tanpa menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi, dapat dilihat pada gambar 4.70 berikut ini.



Time	Angle 1	Angle 2
0	110.0	110.0
1	110.0	110.0
2	110.0	110.0
3	110.0	110.0
4	110.0	110.0
5	110.0	110.0
6	110.0	110.0
7	110.0	110.0
8	110.0	110.0
9	110.0	110.0
10	110.0	110.0
11	110.0	110.0
12	110.0	110.0
13	110.0	110.0
14	110.0	110.0
15	110.0	110.0
16	110.0	110.0
17	110.0	110.0
18	110.0	110.0
19	110.0	110.0
20	110.0	110.0
21	110.0	110.0
22	110.0	110.0
23	110.0	110.0
24	110.0	110.0
25	110.0	110.0
26	110.0	110.0
27	110.0	110.0
28	110.0	110.0
29	110.0	110.0
30	110.0	110.0
31	110.0	110.0
32	110.0	110.0
33	110.0	110.0
34	110.0	110.0
35	110.0	110.0
36	110.0	110.0
37	110.0	110.0
38	110.0	110.0
39	110.0	110.0
40	110.0	110.0
41	110.0	110.0
42	110.0	110.0
43	110.0	110.0
44	110.0	110.0
45	110.0	110.0
46	110.0	110.0
47	110.0	110.0
48	110.0	110.0
49	110.0	110.0
50	110.0	110.0
51	110.0	110.0
52	110.0	110.0
53	110.0	110.0
54	110.0	110.0
55	110.0	110.0
56	110.0	110.0
57	110.0	110.0
58	110.0	110.0
59	110.0	110.0
60	110.0	110.0
61	110.0	110.0
62	110.0	110.0
63	110.0	110.0
64	110.0	110.0
65	110.0	110.0
66	110.0	110.0
67	110.0	110.0
68	110.0	110.0
69	110.0	110.0
70	110.0	110.0
71	110.0	110.0
72	110.0	110.0
73	110.0	110.0
74	110.0	110.0
75	110.0	110.0
76	110.0	110.0
77	110.0	110.0
78	110.0	110.0
79	110.0	110.0
80	110.0	110.0
81	110.0	110.0
82	110.0	110.0
83	110.0	110.0
84	110.0	110.0
85	110.0	110.0
86	110.0	110.0
87	110.0	110.0
88	110.0	110.0
89	110.0	110.0
90	110.0	110.0
91	110.0	110.0
92	110.0	110.0
93	110.0	110.0
94	110.0	110.0
95	110.0	110.0
96	110.0	110.0
97	110.0	110.0
98	110.0	110.0
99	110.0	110.0
100	110.0	110.0

Gambar 4.70 Tampilan tabel hasil pengukuran sudut tangan kiri video animasi tanpa DoF

Grafik perbandingan sudut siku tangan kiri pada gerakan dapat dilihat pada gambar 4.71 berikut ini.



Gambar 4.71 Grafik perbandingan sudut tangan kiri pada gerakan animasi tanpa menerapkan sudut kebebasan pada sendi

Berdasarkan tabel hasil pada gambar 4.70 dan gambar grafik 4.71 di atas, gerakan pada tangan kiri juga banyak mengalami perubahan seperti grafik pada tangan kanan sebelumnya, meskipun tidak menerapkan sudut kebebasan pada sendi yang sama seperti tangan kanan. Hal tersebut ditunjukkan juga pada grafik yang berbeda-beda di tiap framenya, ini terjadi dikarenakan dalam proses penganimasian sangat terbatas dan menerapkan sudut kebebasan pada sendi 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.

4.5.3.3 Hasil Pengukuran Sudut Kaki Kanan Pada Gerakan Animasi 3D Tanpa Menerapkan Sudut Derajat Kebebasan Pada Sendi

Tampilan dari hasil tabel gerakan sudut kaki kanan pada pengujian gerakan animasi 3D tanpa menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi, dapat dilihat pada gambar 4.72 berikut ini.

Frame	Knee	Foot
1	100.0	100.0
2	100.0	100.0
3	100.0	100.0
4	100.0	100.0
5	100.0	100.0
6	100.0	100.0
7	100.0	100.0
8	100.0	100.0
9	100.0	100.0
10	100.0	100.0
11	100.0	100.0
12	100.0	100.0
13	100.0	100.0
14	100.0	100.0
15	100.0	100.0
16	100.0	100.0
17	100.0	100.0
18	100.0	100.0

Frame	Knee	Foot
1	100.0	100.0
2	100.0	100.0
3	100.0	100.0
4	100.0	100.0
5	100.0	100.0
6	100.0	100.0
7	100.0	100.0
8	100.0	100.0
9	100.0	100.0
10	100.0	100.0
11	100.0	100.0
12	100.0	100.0
13	100.0	100.0
14	100.0	100.0
15	100.0	100.0
16	100.0	100.0
17	100.0	100.0
18	100.0	100.0

Gambar 4.72 Tampilan tabel hasil pengukuran sudut kaki kanan video animasi tanpa DoF

Grafik perbandingan sudut kaki kanan pada gerakan animasi dapat dilihat pada gambar 4.73 berikut.



Gambar 4.73 Grafik perbandingan sudut kaki kanan pada gerakan animasi tanpa menerapkan sudut kebebasan pada sendi

Berdasarkan tabel hasil pada gambar 4.72 dan gambar grafik 4.73 di atas 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 yang sama seperti tangan kanan dan kiri. Hal tersebut ditunjukkan juga pada grafik yang berbeda-beda tiap framanya, ini terjadi dikarenakan dalam proses penganimasian yang menggunakan metode *pose to pose* dan metode *inverse kinematics*.

4.5.3.4 Hasil Pengukuran Sudut Kaki Kiri Pada Gerakan Animasi 3D Tanpa Menerapkan Sudut Derajat Kebebasan Pada Sendi

Tampilan dari hasil tabel gerakan sudut kaki kiri pada pengujian gerakan animasi 3D tanpa menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi, dapat dilihat pada gambar 4.74 berikut ini.

Time	Angle	Velocity	Acceleration
0.000	0.000	0.000	0.000
0.005	0.000	0.000	0.000
0.010	0.000	0.000	0.000
0.015	0.000	0.000	0.000
0.020	0.000	0.000	0.000
0.025	0.000	0.000	0.000
0.030	0.000	0.000	0.000
0.035	0.000	0.000	0.000
0.040	0.000	0.000	0.000
0.045	0.000	0.000	0.000
0.050	0.000	0.000	0.000
0.055	0.000	0.000	0.000
0.060	0.000	0.000	0.000
0.065	0.000	0.000	0.000
0.070	0.000	0.000	0.000
0.075	0.000	0.000	0.000
0.080	0.000	0.000	0.000
0.085	0.000	0.000	0.000
0.090	0.000	0.000	0.000
0.095	0.000	0.000	0.000
0.100	0.000	0.000	0.000
0.105	0.000	0.000	0.000
0.110	0.000	0.000	0.000
0.115	0.000	0.000	0.000
0.120	0.000	0.000	0.000
0.125	0.000	0.000	0.000
0.130	0.000	0.000	0.000
0.135	0.000	0.000	0.000
0.140	0.000	0.000	0.000
0.145	0.000	0.000	0.000
0.150	0.000	0.000	0.000
0.155	0.000	0.000	0.000
0.160	0.000	0.000	0.000
0.165	0.000	0.000	0.000
0.170	0.000	0.000	0.000
0.175	0.000	0.000	0.000
0.180	0.000	0.000	0.000
0.185	0.000	0.000	0.000
0.190	0.000	0.000	0.000
0.195	0.000	0.000	0.000
0.200	0.000	0.000	0.000
0.205	0.000	0.000	0.000
0.210	0.000	0.000	0.000
0.215	0.000	0.000	0.000
0.220	0.000	0.000	0.000
0.225	0.000	0.000	0.000
0.230	0.000	0.000	0.000
0.235	0.000	0.000	0.000
0.240	0.000	0.000	0.000
0.245	0.000	0.000	0.000
0.250	0.000	0.000	0.000
0.255	0.000	0.000	0.000
0.260	0.000	0.000	0.000
0.265	0.000	0.000	0.000
0.270	0.000	0.000	0.000
0.275	0.000	0.000	0.000
0.280	0.000	0.000	0.000
0.285	0.000	0.000	0.000
0.290	0.000	0.000	0.000
0.295	0.000	0.000	0.000
0.300	0.000	0.000	0.000
0.305	0.000	0.000	0.000
0.310	0.000	0.000	0.000
0.315	0.000	0.000	0.000
0.320	0.000	0.000	0.000
0.325	0.000	0.000	0.000
0.330	0.000	0.000	0.000
0.335	0.000	0.000	0.000
0.340	0.000	0.000	0.000
0.345	0.000	0.000	0.000
0.350	0.000	0.000	0.000
0.355	0.000	0.000	0.000
0.360	0.000	0.000	0.000
0.365	0.000	0.000	0.000
0.370	0.000	0.000	0.000
0.375	0.000	0.000	0.000
0.380	0.000	0.000	0.000
0.385	0.000	0.000	0.000
0.390	0.000	0.000	0.000
0.395	0.000	0.000	0.000
0.400	0.000	0.000	0.000
0.405	0.000	0.000	0.000
0.410	0.000	0.000	0.000
0.415	0.000	0.000	0.000
0.420	0.000	0.000	0.000
0.425	0.000	0.000	0.000
0.430	0.000	0.000	0.000
0.435	0.000	0.000	0.000
0.440	0.000	0.000	0.000
0.445	0.000	0.000	0.000
0.450	0.000	0.000	0.000
0.455	0.000	0.000	0.000
0.460	0.000	0.000	0.000
0.465	0.000	0.000	0.000
0.470	0.000	0.000	0.000
0.475	0.000	0.000	0.000
0.480	0.000	0.000	0.000
0.485	0.000	0.000	0.000
0.490	0.000	0.000	0.000
0.495	0.000	0.000	0.000
0.500	0.000	0.000	0.000

Gambar 4.74 Tampilan tabel hasil pengukuran sudut kaki kiri video animasi tanpa DoF

Grafik perbandingan sudut kaki kiri pada gerakan dapat dilihat pada gambar 4.75 berikut.



Gambar 4.75 Grafik perbandingan sudut kaki kiri pada gerakan animasi tanpa menerapkan sudut kebebasan pada sendi

Berdasarkan tabel hasil pada gambar 4.74 dan gambar grafik 4.75 di atas 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 framanya pengujian ini tanpa menerapkan sudut kebebasan pada sendi yang sama seperti kaki kanan. dalam proses penganimasian yang menggunakan metode *pose to pose* dan metode *inverse kinematics*.

Berdasarkan hasil pengujian pada gerakan animasi 3d tanpa menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi, didapatkan data berupa:

Σ **IK** atau sudut yang dihasilkan

$$\text{IK} = 6486,3$$

Σ **IK** atau sudut yang dihasilkan

$$\text{IK} = 5.739,9$$

Σ **IK** atau sudut yang dihasilkan

$$\text{IK} = 10.827,9$$

Σ **IK** atau sudut yang dihasilkan

$$\text{IK} = 9.730,1$$

Σ **IK** atau sudut yang dihasilkan

$$\text{IK} = 30$$

$$\text{IK} = 793,99$$

Σ sudut α atau sudut yang dihasilkan

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\Sigma \alpha = 4.108,75$$

Σ sudut β atau sudut yang dihasilkan

$$\beta = 30^\circ$$

$$\Sigma \beta = 5.201,13$$

Σ selisih α atau sudut yang dihasilkan

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\Sigma \alpha = 5.036,01$$

$$\Sigma \alpha = 69$$

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:

$$\begin{aligned} \text{Akurasi} &= \frac{\sum \text{Gerakan yang benar}}{\sum \text{Gerakan}} \times 100 \\ &= \frac{793,99}{69} \times 100 = 115,07\% \end{aligned}$$

b. Akurasi Gerak tangan Kiri:

$$\begin{aligned} \text{Akurasi} &= \frac{\sum \text{Gerakan yang benar}}{\sum \text{Gerakan}} \times 100 \\ &= \frac{4.108,75}{69} \times 100 = 595,47\% \end{aligned}$$

c. Akurasi Gerak kaki kanan:

$$\begin{aligned} \text{Akurasi} &= \frac{\sum \text{Gerakan yang benar}}{\sum \text{Gerakan}} \times 100 \\ &= \frac{5.201,13}{69} \times 100 = 753,79\% \end{aligned}$$

d. Akurasi Gerak kaki Kiri:

$$\begin{aligned} \text{Akurasi} &= \frac{\sum \text{Gerakan yang benar}}{\sum \text{Gerakan}} \times 100 \\ &= \frac{5036,01}{69} \times 100 = 730,00\% \end{aligned}$$

e. Akurasi Rata-rata pada gerakan:

$$\begin{aligned} \text{Akurasi} &= \frac{(\text{Akurasi Gerak tangan kanan} + \text{Akurasi Gerak tangan kiri} + \text{Akurasi Gerak kaki kanan} + \text{Akurasi Gerak kaki kiri})}{4} \\ &= \frac{(115,07 + 595,47 + 753,79 + 730,00)}{4} \\ &= \frac{2194,33}{4} = 548,58\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, didapatkan hasil pengujian pada gerakan animasi 3d tanpa menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi menggunakan metode *inverse kinematics* yaitu sebesar 58,8525 %.

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 mempengaruhi gerak karakter animasi 3d dengan gerak video referensinya.

Metode *inverse kinematics* merupakan metode yang bisa untuk diterapkan pada bagian kaki animasi gerakan manusia dengan akurasi sekitar 72-78%, dan akan lebih akurat jika menggunakan sudut kebebasan sendi. Dengan metode ini, sudut pada bagian kaki yang akan digerakkan 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 *inverse kinematics* dengan akurasi sekitar 11-60% baik menggunakan sudut kebebasan sendi atau tidak.

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, 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 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 *inverse 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 *inverse kinematic* dapat menghasilkan animasi 3 dimensi yang terlihat natural pada bagian-bagian tertentu saja.

BAB V

PENUTUP

Bab penutup ini membahas kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian “Analisis Penerapan Metode *Inverse Kinematics* Untuk Pemodelan Gerakan Karakter Manusia Pada Animasi 3 Dimensi” 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 *inverse kinematics*, pengaturan sudut derajat kebebasan hanya diterapkan pada sendi gerak, sedangkan untuk sendi mati dan sendi kaku tidak membutuhkan pengaturan sudut derajat kebebasan untuk terlihat natural. Ada beberapa parameter yang mempengaruhi untuk membuat animasi 3D karakter manusia memiliki gerak yang natural menggunakan metode *inverse 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 2%. Untuk bagian tangan tidak direkomendasikan menggunakan metode *inverse kinematics* dikarenakan memiliki persentase akurasi tingkat natural rata-rata dibawah 50%, 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

video untuk mendapatkan hasil yang natural yang ditunjang dengan rigging karakter, baik menggunakan *inverse kinematics* maupun *forward kinematics*.

2. Penggunaan metode inverse kinematics dapat diterapkan pada pembuatan animasi 3D gerakan manusia dengan tingkat akurasi kemiripan yang baik pada bagian kaki gerak beladiri taekwondo *jump kick "Twieo Ap Chagi"*. Sehingga dapat terlihat natural sesuai dengan anatomi tubuh manusia. Gerakan animasi 3D manusia yang dibuat menggunakan metode inverse kinematics tidak direkomendasikan untuk diterapkan pada bagian tangan pada gerak beladiri taekwondo *jump kick "Twieo Ap Chagi"* dikarenakan gerak tangan yang menjadi terbatas dan kesulitan ketika melakukan pergerakan pada karakter animasi 3D yang akan digerakkan. Gerak animasi 3D karakter manusia, jika menerapkan sudut derajat kebebasan pada beberapa sendi dengan menggunakan metode *inverse 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 *inverse kinematics* yang dibandingkan dengan video live shoot yaitu sebesar 14,17% pada akurasi gerak tangan kanan, 58,31% pada akurasi gerak tangan kiri, 74,29% pada akurasi gerak kaki kanan dan 77,97% pada akurasi gerak kaki kiri dengan rata-rata keseluruhan akurasi gerak sebesar 56,185%.

Untuk pengujian pada gerakan animasi 3d yang menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi yaitu sebesar 11,51% pada akurasi gerak tangan kanan, 59,55% pada akurasi gerak tangan kiri, 75,38% pada akurasi gerak kaki kanan dan 72,99% pada akurasi gerak kaki kiri dengan rata-rata keseluruhan akurasi gerak sebesar 58,8525 % untuk pengujian pada gerakan animasi 3d tanpa menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi. Sehingga tingkat natural gerakan animasi 3D karakter manusia menggunakan metode *inverse kinematics* tanpa menerapkan sudut kebebasan pada sendi memiliki persentase rata-rata 2,7% lebih tinggi ketimbang gerakan animasi 3D karakter manusia menggunakan metode *inverse kinematics* yang menerapkan sudut kebebasan pada sendinya.

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

DAFTAR PUSTAKA

PUSTAKA BUKU

- Ferguson, 2010, *Ferguson's Careers in Focus: Animation*, Infobase Publishing, New York
- Kurniasih, Tjijih, 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

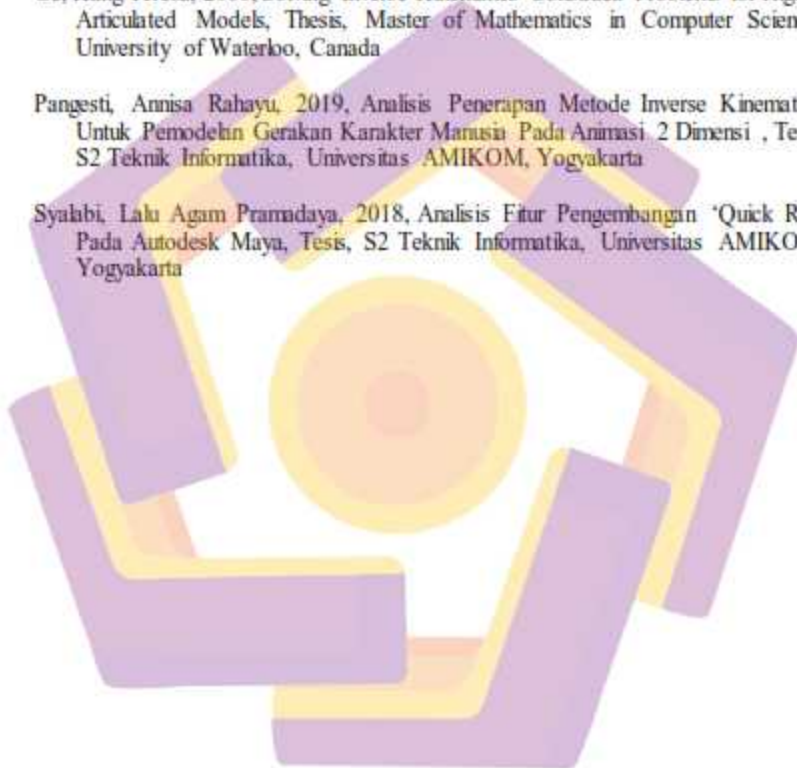
PUSTAKA MAJALAH, JURNAL ILMIAH ATAU PROSIDING

- 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
- Hardinata, Niky, 2017, *Gerakan Dasar Felidae Dalam Animasi 2 Dimensi*, *Journal Sentra Penelitian Engineering dan Edukasi (Speed)* Vol.9 No.2
- Aristidou, Andreas & Lasenby, Joan & Chrysanthou, Yiorgos & Shamir, Ariel. (2018). *Inverse Kinematics Techniques in Computer Graphics: A Survey*. *Computer Graphics Forum*. 37. 35-58. 10.1111/cgf.13310.

- Huang, Jing & Fratarcangeli, Marco & Ding, Y. & Pelchaud, Catherine. (2016). Inverse kinematics using dynamic joint parameters: inverse kinematics animation synthesis learnt from sub-divided motion micro-segments. *The Visual Computer*. 10.1007/s00371-016-1297-x.

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
- Syahabi, Lulu Agam Pramudaya, 2018, Analisis Fitur Pengembangan 'Quick Rig' Pada Autodesk Maya, Tesis, S2 Teknik Informatika, Universitas AMIKOM, Yogyakarta



LAMPIRAN

Tangan Kanan								
No	Paralel	Ulnar ekstensi	Anterior tungga memangangi sikut dengan siku lurus jala sandi	Anterior memangangi sikut dengan siku lurus jala sandi	Defleksi ulnar ekstensi dengan anteor tungga memangangi sikut dengan siku lurus jala sandi	Defleksi ulnar ekstensi dengan anteor tungga memangangi sikut dengan siku lurus jala sandi	Perubahan aksum tungga memangangi sikut dengan siku lurus jala sandi	Perubahan aksum yang memangangi sikut dengan siku lurus jala sandi
1	1	65.7	66	57.2	8.7	8.5	6.6	67.66
2	1	68	65.4	64.8	2.6	3.2	6.11	66.29
3	2	67.8	77.2	76.2	0.4	10.4	6.11	64.68
4	3	66.3	77.8	60.3	12.5	15	5.68	77.03
5	4	64.7	66.3	66.8	15.5	16.2	6.04	74.96
6	5	67.8	82.4	82.2	14.6	14.4	6.07	76.76
7	6	66.1	94.7	81.7	16.9	13.6	6.06	86.03
8	7	66.4	81.2	81.3	12.8	12.8	6.23	81.14
9	8	76.8	73.5	74.7	2.7	3.8	6.11	94.46
10	9	76.7	83.6	68.9	16.1	7.8	6.01	86.83
11	10	76.8	85.4	64	11.2	12.6	6.11	63.56
12	11	74.9	66.4	61	6.1	13.5	6.11	61.66
13	12	114	63.7	61.8	6.7	11.8	6.11	63.82
14	13	114	66.3	62.8	6.6	8.9	6.02	67.66
15	14	63.3	66.1	66.8	17.4	14.8	6.11	66.51
16	15	76.8	62.2	66.3	11.4	16.5	6.06	66.81
17	16	81.4	76.7	76.7	16.2	16.5	6.06	67.28
18	17	66.1	63.3	61.9	16.8	17.5	6.11	66.34
19	18	122.4	66.5	106.1	23.8	22.2	6.04	67.06
20	19	106	122.2	112	7.8	14	6.06	66.15
21	20	157.8	131.6	127.3	6.2	16.8	6.11	62.38
22	21	144	118	118.4	26	26.6	6.11	62.22
23	22	166.8	113.6	113.2	56.1	55.6	6.11	66.92
24	23	117.8	117.8	112.2	6.2	5.1	6.01	66.68
25	24	76.8	126.4	122.7	46.6	42.9	6.11	66.21
26	25	51	173.6	164.8	122.8	113.8	6.11	723.14
27	26	66.7	132.7	126.8	7.2	76.1	6.06	66.31
28	27	66.6	113.6	113.6	16.3	20	6.07	76.26
29	28	151.5	104.3	102.8	47.2	46.8	6.04	67.72
30	29	174.8	71.6	70.9	103.3	104	6.04	66.94
31	30	34	46.5	66.2	16.5	16.2	6.01	62.36
32	31	76.9	46.1	46.3	27.5	27.3	6.01	63.69
33	32	162.8	66.2	61.2	46.3	41.2	6.02	66.71
34	33	116.8	66.8	66	66	66.9	6.11	72.29
35	34	121.8	66.5	66.3	11.8	21.7	6.01	66.87
36	35	115.2	171.6	146	26.4	26.6	6.11	71.03
37	36	121.2	66.7	66.2	46.6	26.2	6.06	69.23
38	37	156.8	115.5	111.4	26.1	24.2	6.06	66.16
39	38	106	122.8	121.9	26.7	26.4	6.06	64.33
40	39	167.4	66.2	61.7	66.1	66.7	6.11	66.79
41	40	176.8	108.4	104.4	76.4	73.4	6.01	66.48
42	41	176.8	131.6	134.6	46.3	46.2	6.11	71.66
43	42	176.8	151.7	153.2	26.1	26.6	6.11	66.21
44	43	176.7	136.7	126.4	66.4	43.7	6.04	74.31
45	44	166.3	113	107.1	47.1	35	6.06	66.66
46	45	164.3	114.7	112	46.8	61.2	6.01	66.78
47	46	169.2	136	126.2	36.2	42.8	6.11	74.23
48	47	167.8	177.8	166.8	6.7	7.4	6.02	66.59
49	48	176	176.1	176.6	0.1	3.4	6.04	66.16
50	49	64.8	166.9	166.9	66	66	6.07	36.46
51	50	71.1	126.7	146.5	66.6	77.6	6.11	66.66
52	51	66.7	127.2	131.6	76.5	66.6	6.11	63.51
53	52	62.9	116.8	123.4	66.9	76.5	6.11	66.64
54	53	64	112.2	119.8	66.2	66.9	6.01	62.04
55	54	66.1	114.4	124.8	66.6	76.7	6.11	76.72
56	55	66.5	137.3	146.7	67.8	103.2	6.11	126.81
57	56	21.8	176.8	171.2	145.2	136.8	6.06	641.77
58	57	26.9	163	141	136.1	114.1	6.01	624.16
59	58	27.8	141.6	126	113.8	107.4	6.11	666.13
60	59	16.2	137.1	131.2	126.6	116	6.01	666.88
61	60	21.7	126.7	128.4	114	106.7	6.01	661.71
62	61	26.2	137.2	126.6	108	100.4	6.06	643.64
63	62	66.4	136.7	126.6	76.3	66.2	6.11	64.67
64	63	76.1	136.7	126.6	66.8	66.6	6.01	66.76
65	64	69.1	136.7	126.6	67.8	66.5	6.11	62.49
66	65	69	136.7	126.6	71.7	64.6	6.11	66.62
67	66	63.4	136.7	126.6	73.3	66.2	6.11	64.42
68	67	61.8	136.7	126.6	74.9	67.8	6.11	66.71
69	68	61.2	136.7	126.6	75.5	66.4	6.11	61.76
Jumlah		8466.36	7733.66	7548.86	3163.66	3133.26	71.6	877.68
Rata Rata		64.66	112.66	106.46	46.66	46.61	6.66	66.11

Tabel 4.1

No	Frame	Video referensi	Animasi tanpa menerapkan sudut derajat ketebasan pada sendi	Animasi menerapkan sudut derajat ketebasan pada sendi	Selisih video referensi dengan animasi tanpa menerapkan sudut derajat ketebasan pada sendi	Selisih video referensi dengan animasi yang menerapkan sudut derajat ketebasan pada sendi	Persentase akurasi tanpa menerapkan sudut derajat ketebasan pada sendi	Persentase akurasi yang menerapkan sudut derajat ketebasan pada sendi
1	0	70.1	64.1	65.6	14	15.5	60.03	77.69
2	1	67.3	63.7	67.8	26.4	20.5	60.77	69.54
3	2	67.2	105.4	96.8	38.2	29.4	43.15	56.25
4	3	62.3	108.3	99.2	45.9	36.7	26.72	41.26
5	4	65.5	109.4	95.5	38.5	31.5	42.22	52.40
6	5	65	109.4	119.3	44.4	54.3	31.69	16.46
7	6	65	120.2	143.4	59.2	76.4	13.06	-20.62
8	7	66.6	120.1	147.1	33.5	60.3	19.91	-20.21
9	8	72.6	107.7	44.6	35.1	27.8	51.65	61.71
10	9	79.7	69.5	39.2	5.8	40.8	62.72	49.16
11	10	81.3	95.1	31.4	16.8	49.9	79.34	39.62
12	11	81.3	129.1	109.4	73.8	29.1	9.23	66.44
13	12	85.8	129.6	139.6	44.1	54.1	48.42	36.73
14	13	85.1	102.8	121.5	37.4	36.4	79.95	67.23
15	14	73.3	100.8	115.2	27	41.3	61.48	44.11
16	15	81.4	94.5	104.7	13.1	23.3	63.91	71.36
17	16	75.3	88.3	90.2	13.9	14.9	61.54	60.21
18	17	74.7	79.9	82.1	5.2	7.4	61.04	60.09
19	18	67.9	73.7	77.6	5.5	6.7	61.46	65.71
20	19	75.4	66.7	79.9	1.3	6.5	60.36	69.37
21	20	69.2	83.7	64.5	14.5	13.1	79.06	71.69
22	21	75.5	72.4	77.1	3.1	1.6	65.69	67.66
23	22	69.6	63	68.6	6.8	4	60.26	64.27
24	23	56.4	58.5	59.3	2.9	0.8	66.72	66.46
25	24	46.3	54.5	51.5	6.8	3.2	66.34	65.57
26	25	46.1	37.8	39	8.4	10.9	67.26	61.21
27	26	136.6	33.9	35.6	98.7	94.6	25.96	27.41
28	27	136.6	93.1	88.7	31.5	36.9	75.12	76.65
29	28	106.1	119.2	114.6	13.1	6.7	67.65	61.60
30	29	106.3	139.1	132.6	30.8	24.3	71.56	77.36
31	30	109.6	143.9	118.4	25.7	50.2	64.65	70.40
32	31	107.7	104.9	54.3	62.8	63.4	62.95	50.27
33	32	175.4	107.2	116.7	64.2	52.7	62.54	69.25
34	33	170.7	104.6	106.9	66.8	63.6	61.89	62.62
35	34	164.7	76.9	61.7	87.6	83	46.69	48.61
36	35	144.1	70.1	72.3	74	71.9	46.65	50.17
37	36	112.6	79.3	78.7	33.5	34.1	70.30	69.77
38	37	96.6	86.5	91.4	7.1	5.2	62.65	64.62
39	38	83.4	106.5	109.1	23.1	25.7	72.30	69.16
40	39	79.9	143.5	127.9	72.7	67.1	-2.06	19.33
41	40	71.7	166.3	156.7	94.6	87	-31.94	-21.34
42	41	72.9	175.7	168.4	102.8	95.5	-11.02	-31.00
43	42	63.6	103.6	176	80	84.4	4.31	-12.80
44	43	66.7	124.4	132.5	34.7	42.8	61.32	62.49
45	44	60.6	64.9	64.5	4.3	3.9	64.67	65.16
46	45	64.9	63.7	76.4	21.2	9.5	75.02	66.61
47	46	63	56	56.2	3	6.8	62.06	69.21
48	47	46.1	59.2	64.2	13.1	16.1	71.56	60.74
49	48	43.6	66.1	63.2	22.5	19.6	40.38	55.05
50	49	49.4	59.7	56.2	9.3	6.6	61.17	66.23
51	50	32.4	33.4	36.6	1	6.2	66.09	66.17
52	51	61.7	46.9	51.2	12.9	4.3	79.25	62.71
53	52	54.5	46.4	55.1	6.1	0.6	66.61	66.90
54	53	34.9	46	46.1	6.9	6.6	63.79	67.61
55	54	60.9	45.4	45.7	15.5	15.2	74.55	75.04
56	55	64	47.2	48.7	16.8	16.3	73.75	71.41
57	56	70.6	48.3	46.7	21.3	23.9	65.63	66.15
58	57	74	44.6	46.7	27.4	25.3	61.94	64.66
59	58	67.2	46.2	41.6	51	55.6	47.93	42.60
60	59	105.1	35.4	40.4	69.7	64.7	33.66	35.44
61	60	90	31.7	36.6	63.2	59.2	33.37	36.74
62	61	63.3	33.6	33.9	49.5	49.4	40.96	40.70
63	62	60.4	33.3	33.6	47.1	46.5	41.42	42.16
64	63	60.6	33.3	33.5	47.5	46.9	41.21	41.96
65	64	76	33.3	33.9	44.7	44.1	42.69	43.46
66	65	74.4	33.3	33.8	41.1	40.5	44.76	45.56
67	66	75.9	33.3	33.9	42.6	42	43.67	44.66
68	67	75.9	33.3	33.8	42.6	42	43.67	44.66
69	68	75.9	33.3	33.9	42.6	42	43.67	44.66
JUMLAH		5738.90	5809.30	5464.60	2346.00	2425.90	4106.75	4033.61
Rata-rata		63.16	67.29	61.49	24.00	26.13	59.69	56.31

Kaki Kanan

No	Frame	Video referensi	Animasi tanpa menerapkan sudut derajat ketebasan pada sendi	Animasi menerapkan sudut derajat ketebasan pada sendi	Selisih video referensi dengan animasi tanpa menerapkan sudut derajat ketebasan pada sendi	Selisih video referensi dengan animasi yang menerapkan sudut derajat ketebasan pada sendi	Persentase akurasi tanpa menerapkan sudut derajat ketebasan pada sendi	Persentase akurasi yang menerapkan sudut derajat ketebasan pada sendi
1	0	174.9	155.1	156.3	19.8	19.8	88.68	89.37
2	1	174.2	153.1	152.4	21.1	21.6	87.89	87.48
3	2	173.6	151.8	154.8	21.8	18.7	87.44	88.23
4	3	174.6	151.8	151.1	22.8	23.5	86.94	86.94
5	4	173.5	151.7	153.1	21.8	20.4	87.44	88.24
6	5	176.6	154	155	22.6	21.6	87.20	87.77
7	6	178.7	155.5	155.7	24.2	24	86.52	86.64
8	7	176.2	153.5	156.6	24.7	22.0	86.14	87.32
9	8	176.7	150.8	151.6	25.1	27.1	84.26	84.83
10	9	175.6	150	150	25.6	25.8	85.32	85.32
11	10	174.5	153.9	157.4	20.8	17.1	85.19	86.20
12	11	161	154.5	156.3	6.9	3.7	86.86	86.46
13	12	137.2	140.2	142.2	3	5	87.61	86.36
14	13	123.6	129.6	131.4	5.5	7.6	85.32	83.66
15	14	127	129.6	127.1	2.5	0.1	87.88	88.82
16	15	142.4	147	125.7	15.4	16.7	85.19	86.27
17	16	156.3	127.7	126.6	31.6	32.3	80.16	79.66
18	17	165.2	124	122.4	41.2	42.8	75.66	74.09
19	18	162.4	129.2	125.1	33.2	37.3	79.56	77.03
20	19	165.1	134.4	131.9	33.9	36.4	79.66	78.37
21	20	170.1	167.8	163.9	2.3	6.8	86.68	86.12
22	21	169.3	176.9	174.2	7.6	4.9	85.51	87.11
23	22	144	163.2	179.8	19.2	35.6	86.67	75.28
24	23	122.7	168.8	170.7	47.1	46	61.61	60.66
25	24	108	167	167.2	59	59.2	45.37	45.19
26	25	86.8	162.5	157.9	66.7	62.1	40.39	38.16
27	26	112.8	153.9	155.6	41.4	45.1	63.20	61.68
28	27	130.1	150.1	143	20	12.9	84.63	80.56
29	28	126.5	145.8	134.3	19.4	7.8	84.66	81.63
30	29	133	131	123.5	2	9.5	88.58	82.86
31	30	136.2	119.7	105.3	16.5	2.9	86.61	87.96
32	31	152.4	120.5	132	31.9	20.4	79.07	86.61
33	32	169.3	145.9	137.5	23.4	31.8	66.18	81.22
34	33	170.6	160.9	150.0	10.5	12.3	83.60	82.50
35	34	166.4	154.8	168.3	13.6	6.8	81.86	89.47
36	35	160.1	144.3	179	44.2	76.9	55.84	21.16
37	36	56.6	130.1	175.7	73.5	123.1	-39.66	-117.49
38	37	36.2	133.1	157	94.9	116.8	-148.43	-110.99
39	38	53.8	178.3	131.6	84.7	36	8.51	89.46
40	39	163.8	141.4	138.2	22.4	25.9	88.32	84.27
41	40	179.7	125.3	125.1	54.4	54.6	69.73	69.62
42	41	179.3	95.9	94.3	80.3	84.8	35.19	52.62
43	42	154.1	125.3	128.2	28.8	25.9	61.31	63.16
44	43	166.4	128.9	137.3	28.9	2.1	62.09	86.66
45	44	156.7	125	143.1	31.7	13.8	79.77	91.32
46	45	169.8	138.1	165	39.7	4.8	76.62	87.17
47	46	176.9	125.3	126.3	53.6	52.6	70.04	70.60
48	47	163	95.9	111.5	64.1	51.5	60.67	66.40
49	48	162	37.9	96.3	124.1	85.7	23.40	59.44
50	49	158.3	175.8	68.5	16.5	89.6	69.64	56.16
51	50	156.1	137.7	83.3	16.4	72.6	66.21	53.36
52	51	164	66.7	77.6	77.3	86.4	52.67	47.32
53	52	165.1	56.1	65.7	115	89.4	33.16	41.22
54	53	167	70	70	97	97	41.92	41.92
55	54	172.7	97.3	94.8	75.5	77.8	56.28	54.95
56	55	176.8	126.8	124.6	50.2	52	71.61	70.58
57	56	177.7	151.1	150.2	26.6	27.5	85.03	84.82
58	57	176.6	164.2	174.2	12.4	2.4	82.98	86.64
59	58	176.2	165.9	176.4	10.3	2.2	94.15	96.75
60	59	180	169.2	180	10.8	3	94.03	100.00
61	60	176.1	179.8	176.4	2.6	2.3	90.41	86.69
62	61	176.6	175.9	179.3	0.1	0.3	99.94	89.72
63	62	178.2	176.9	179.3	0.3	0.1	99.83	96.94
64	63	178.2	178.9	179.3	0.3	0.1	99.83	99.94
65	64	179.2	176	179.3	1.2	0.1	99.33	99.94
66	65	178.2	176	179.3	1.2	0.1	99.33	99.94
67	66	179.2	176	179.3	1.2	0.1	99.33	99.94
68	67	178.2	179.3	179.3	0.3	0.1	99.83	99.94
69	68	178.2	177.1	179.3	2.1	0.1	96.63	99.94
JUMLAH		10627.90	9885.70	10021.30	2146.80	2114.20	8201.13	8126.89
Rata-rata		156.93	143.42	146.24	31.16	30.64	79.88	74.29

Kaki Kiri

No	Frame	Video referensi	Animasi tanpa menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi	Animasi menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi	Setelah video referensi dengan animasi tanpa menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi	Setelah video referensi dengan animasi yang menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi	Persentase akurasi tanpa menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi	Persentase akurasi yang menerapkan sudut derajat kebebasan pada sendi
1	0	156.2	153	151.3	5.2	6.9	96.71	95.64
2	1	155.6	154.1	155	1.5	0.6	99.04	99.91
3	2	153.1	163	165.3	8.9	12.2	93.55	92.03
4	3	144.6	144	144.5	0.5	3	99.45	100.00
5	4	143.1	120.5	120.9	22.6	22.2	64.21	64.49
6	5	141.5	107.2	105.4	34.3	36.1	75.76	74.49
7	6	140.3	101.3	100.1	39	40.2	72.20	71.38
8	7	141.2	105	103.6	36.2	37.4	74.96	73.51
9	8	138.3	114.3	112.7	24	25.6	82.65	81.49
10	9	137.2	120.7	119.9	19.9	17.6	87.78	87.20
11	10	136.5	127.1	127.4	8.4	3.5	93.11	93.33
12	11	131.8	131.4	131.3	0.4	0.5	99.73	99.82
13	12	130.7	135.7	136.3	5	5.6	95.17	95.72
14	13	130.7	146	145.3	17.3	17.6	86.76	86.53
15	14	140.3	156.5	153.7	26.2	23.4	85.42	86.43
16	15	140.3	151.3	149	11	6.7	92.19	93.80
17	16	143.6	142	143.5	1.6	0.3	98.75	99.79
18	17	146	136	136.2	10	9.8	93.34	93.38
19	18	157	145	146	12	9	92.98	94.27
20	19	176.6	139.9	147	36.7	31.6	76.33	82.31
21	20	153.4	143.9	155	9.9	1.6	93.61	98.96
22	21	146	179.2	157.4	33.2	11.4	77.36	82.19
23	22	136.5	157.7	156.5	18.5	20.6	86.47	85.17
24	23	142.1	152.6	166.7	19.3	24.6	82.61	82.69
25	24	142.4	152.2	167.1	9.6	24.7	93.12	82.65
26	25	129.4	141.3	137.6	11.3	25.2	90.60	78.21
27	26	132.0	121	150.7	11.6	15.1	91.25	86.35
28	27	137.2	100.9	146.6	26.2	9.4	73.54	81.16
29	28	144.6	89.3	136.4	55.3	8.2	61.76	94.33
30	29	137.9	64.3	161.5	33.6	23.6	61.33	82.88
31	30	129.3	2.7	132.1	48.6	2.6	61.64	87.83
32	31	109.5	65.5	105.4	21	4.1	80.82	96.26
33	32	66	114.3	53	34.3	13	57.13	63.75
34	33	34.9	141.1	110.3	106.2	75.4	-204.30	-116.95
35	34	57	165.4	133.6	111.4	76.5	-95.44	-34.74
36	35	71.9	171.6	167.3	99.7	85.4	-30.96	-32.66
37	36	84.2	43.1	134.5	41.1	50.3	51.19	40.26
38	37	113.4	23.6	57.3	89.5	55.9	20.81	50.71
39	38	144.4	50.6	82	93.6	82.4	35.16	56.79
40	39	166.2	73.6	77.3	92.6	85.9	44.26	46.51
41	40	174.9	79	82.9	95.9	92	45.17	47.40
42	41	179.7	83.2	94.6	96.3	94.9	61.68	52.70
43	42	178.3	95.1	95.9	92.9	94.8	53.67	52.44
44	43	170.4	90.5	85	79.9	82.4	53.11	51.64
45	44	149.4	94.1	95	55.3	54.4	62.99	63.59
46	45	145.5	111.9	111.2	33.6	34.3	76.91	76.43
47	46	132.6	136.5	129	3.7	2.2	97.21	96.34
48	47	129.6	162.9	177.3	33.1	47.5	74.50	63.41
49	48	129.3	179	177.3	49.7	40	61.50	62.60
50	49	123.4	162.5	162	39.1	36.6	66.31	66.72
51	50	116.9	146.7	144.2	31.8	27.3	72.60	76.65
52	51	116.6	137.6	132.7	21	16.1	81.99	86.19
53	52	121.5	129.6	125.3	6.3	6.6	93.17	94.40
54	53	126.4	130	127	1.6	1.4	98.75	98.91
55	54	135	135.5	131.3	0.5	3.7	99.41	97.26
56	55	141.6	140.9	142.8	3	1	96.47	99.29
57	56	144	159.6	156.2	15.6	12.2	89.17	91.53
58	57	152.5	166.4	166.7	13.9	14.2	80.89	80.89
59	58	156.4	169.6	169.3	13.2	12.9	91.56	91.75
60	59	156.7	169.2	168.1	12.5	11.4	92.02	92.72
61	60	162.6	172.1	169.7	9.9	7.1	94.16	93.63
62	61	165.1	169	170.4	3.9	5.3	97.64	96.79
63	62	171.2	169	170.1	2.2	1.1	98.71	99.36
64	63	174.1	169	170.1	3.1	4	97.07	97.70
65	64	174.1	169	170.1	5.1	4	97.07	97.70
66	65	177	169	170.1	6	6.9	95.46	96.10
67	66	179	169	170.1	10	6.9	94.41	95.03
68	67	179	170.5	170.1	6.2	6.9	95.42	95.03
69	68	176.1	169.8	170.1	6.2	6	95.40	95.31
JUMLAH		9730.70	9200.70	8565.00	2049.20	1730.70	9036.01	9380.07
Rata-Rata		141.62	133.34	136.67	29.64	25.07	72.99	77.97

CURRICULUM VITAE

Full Name : Intan Laila Sari
 Gender : Female
 Place,Date of Birth : Malang,East Java , may 2nd 1992
 Nationality : Indonesia
 Marital Status : Single
 Religion : Moslem
 Address : Jl.Kolonel Sugiono VC/15 Rt.05 Rw.03, Kel.Mergosono,
 Kec.Kedungkandang,
 Malang,East Java,Indonesia
 Mobile : +6287885832566
 E-mail : intanlilasari@gmail.com
 Last Education : Vocational High School (Animation Faculty) 04 Malang
 Language : English,Bahasa Indonesia

Working EXPERIENCE:

- **Lumine Studio** (www.luminstudio.com) May 2011 – October 2011
 Worked on various projects such as :
 - Wendy Animation
- **Gevo Entertainment Studio** (www.gevo.com.sg) June 2011 – May 2013
 Worked on projects such as :
 - Games of Pachinko
- **MD Animation** (www.mdanimation.co) June 2013 – August 2015
 Worked on 3D animation for TV Series project such as :
 - Adit Sopo Jarwo
- **ONE Animation** (<http://oneanimation.com/>) August 2015 – August 2016
 Worked on 3D animation for TV Series project such as :
 - Oddboods
- **Little Glantz** (<https://www.thelittleglantz.com/>) August 2016 – August 2017
 Worked on 3D animation for TV Series project such as :
 - LEGO Star Wars
- **MSV pictures** (<http://msvstudio.co.id/>) August 2017 – present
 Worked on 3D animation for Future Film project such as :
 - Aji Saka

TECHNICAL SKILLS:

Animation tools Maya, Autodesk Softimage, Blender