

TESIS

**EFEKTIVITAS METODE INVERSE KINEMATICS DAN FORWARD
KINEMATICS PADA PERGERAKAN KARAKTER ANIMASI 3D**



Disusun oleh:

Nama : Alfah Nur Aini
NIM : 18.52.1069
Konsentrasi : Informatics Technopreneurshp

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

TESIS
**EFEKTIVITAS METODE INVERSE KINEMATICS DAN FORWARD
KINEMATICS PADA PERGERAKAN KARAKTER ANIMASI 3D**

*THE EFFECTIVENESS OF THE INVERSE KINEMATICS AND FORWARD
KINEMATICS ON THE MOVEMENT OF 3D ANIMATION CHARACTERS*

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh derajat Magister



Disusun oleh:

Nama : Aiffah Nur Aini
NIM : 18.52.1069
Konsentrasi : Informatics Technopreneurship

PROGRAM STUDI S2 TEKNIK INFORMATIKA
PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS AMIKOM YOGYAKARTA
YOGYAKARTA

2020

HALAMAN PENGESAHAN

**EFEKTIVITAS METODE INVERSE KINEMATICS DAN FORWARD
KINEMATICS PADA PERGERAKAN KARAKTER ANIMASI 3D**

***THE EFFECTIVENESS OF THE INVERSE KINEMATICS AND FORWARD
KINEMATICS ON THE MOVEMENT OF 3D ANIMATION CHARACTERS***

Diperiapkan dan Disusun oleh

Affiah Nur Aini

18.52.1069

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

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

Yogyakarta, 5 Mei 2020

Rektor

Prof. Dr. M. Suyanto, M.M.

NIK. 190302001

HALAMAN PERSETUJUAN

**EFEKTIVITAS METODE INVERSE KINEMATICS DAN FORWARD
KINEMATICS PADA PERGERAKAN KARAKTER ANIMASI 3D**

***THE EFFECTIVENESS OF THE INVERSE KINEMATICS AND FORWARD
KINEMATICS ON THE MOVEMENT OF 3D ANIMATION CHARACTERS***

Dipersiapkan dan Disusun oleh

Affah Nur Aini

18.52.1069

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

Pembimbing Utama

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

Pembimbing Pendamping

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

Anggota Tim Penguji

Dr. Arief Setyanto, S.Si, MT
NIK. 190302030

Dr. Kusriani, M.Kom
NIK. 190302106

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

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

Yogyakarta, 5 Mei 2020

Direktur Program Pascasarjana

Dr. Kusriani, M.Kom.
NIK. 190302106

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama mahasiswa : Afifah Nur Aini

NIM : 18.52.1069

Konsentrasi : Informatics Technopreneurship

Menyatakan bahwa Tesis dengan judul berikut:

Analisis Efektivitas Penerapan Metode Inverse Kinematics Dan Forward Kinematics Untuk Pemodelan Pergerakan Pada Karakter Animasi 3D

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

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

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

Yogyakarta, 5 Mei 2020

Yang Menyatakan,



The image shows a handwritten signature in black ink over a green rectangular stamp. The stamp contains the text 'UNIVERSITAS AMIKOM YOGYAKARTA' and '0000' at the bottom. There is also a small circular logo on the stamp.

Afifah Nur Aini

HALAMAN PERSEMBAHAN

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

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

8. 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.
9. 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. *Amiin.*



HALAMAN MOTTO

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai dari suatu urusan, kerjakanlah dengan sungguh-sungguh urusan yang lain, dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap”

(Q.S Al-Insyirah : 6-8)

“Kebahagiaan saat bisa membantu orang lain itu, lebih indah daripada kebahagiaan saat menyenangkan diri sendiri.”

-Hanan Attaki-

“Dimensi kecepatan tiap orang dalam hidup itu beda-beda, hidup bukan buat balapan, santai aja, kalo capek istirahat, kalo sedih secukupnya.”

-Wordfangs-

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kepada Allah SWT atas Karunia- Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul “Analisis Efektivitas Penerapan Metode Inverse Kinematics Dan Forward Kinematics Untuk Pemodelan Pergerakan Pada Karakter Animasi 3D” dapat terselesaikan dengan baik. Kritik dan saran sangat diharapkan penulis agar dapat lebih baik lagi di kemudian hari.

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

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

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

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

Yogyakarta, 5 Mei 2020

Penulis



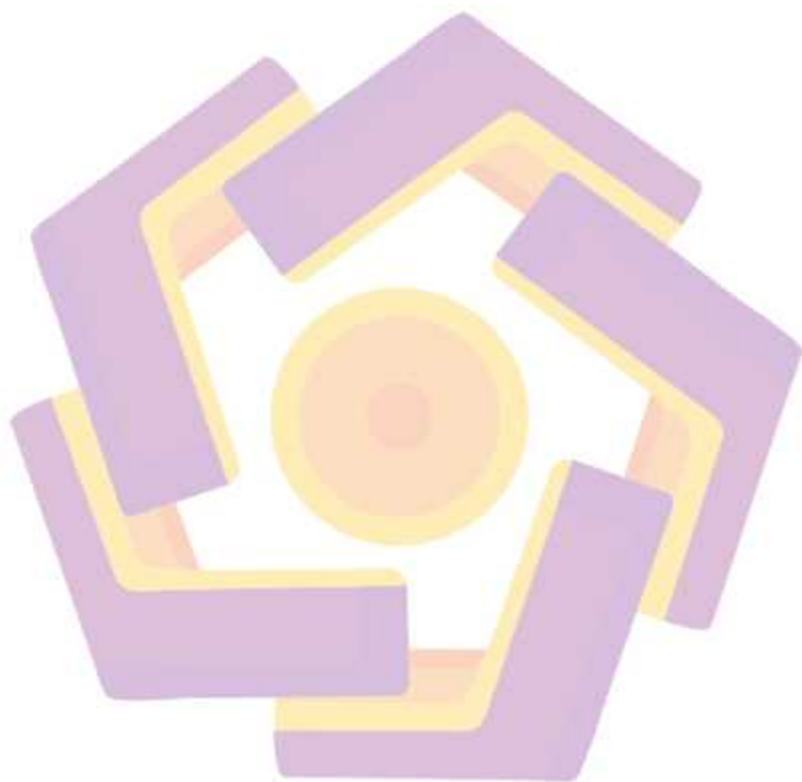
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
HALAMAN MOTTO.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
INTISARI.....	xxii
<i>ABSTRACT</i>	xxiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	6
1.3. Batasan Masalah.....	6
1.4. Tujuan Penelitian.....	7
1.5. Manfaat Penelitian.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1. Tinjauan Pustaka.....	9
2.2. Keaslian Penelitian.....	11
2.3. Landasan Teori.....	20

2.3.1. Animasi 3 Dimensi.....	20
2.3.2. Prinsip-prinsip animasi.....	21
24 Kinematika (Kinematics).....	28
2.4.1 <i>Joint</i>	29
2.4.2 <i>End effector</i>	30
2.4.3 Artikulasi dan Poses.....	30
25 Struktur/sistem rangka manusia.....	31
2.5.1 Rangka <i>aksial</i>	31
2.5.2 Rangka <i>apendikular</i>	32
26 Hubungan antar tulang /persendian.....	33
BAB III METODE PENELITIAN.....	34
31 Jenis, Sifat dan Pendekatan Penelitian.....	34
32 Metode Pengumpulan Data.....	35
3.2.1. Metode Studi Literatur.....	35
3.2.2. Metode Kepustakaan.....	35
3.2.3. Metode Observasi.....	35
33 Metode Analisis Data.....	36
34 Alur Penelitian.....	36
3.4.1. Tahap pengumpulan data.....	38
3.4.2. Tahap Analisa dan Perancangan.....	38
3.4.3. Tahap Implementasi.....	39
3.4.4. Tahap Pengujian.....	40

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	44
4.1. *Gambaran Umum Obyek Penelitian	44
4.2 Analisis	45
4.2.1. Analisis Gerakan.....	45
4.2.2. Analisis Karakter Animasi 3D.....	47
4.2.3. Analisis Struktur Rig / Tulang.....	48
4.2.5. Analisis Kontrol Karakter Animasi 3D	54
4.3 Implementasi Gerak.....	67
4.3.1 Penerapan Inverse Kinematics pada Walk Cycle	67
4.3.2 Penerapan Forward Kinematics pada Walk Cycle	70
4.3.3 Pembuatan Gerakan Animasi	71
4.4 Testing Gerakan Animasi.....	76
4.5 Hasil Pengujian	84
4.5.1 Pengujian Pada Animator.....	84
4.5.2 Pengujian Pada Gerakan Animasi 3D Yang Menerapkan Forward Kinematics	89
4.5.3 Pengujian Pada Gerakan Animasi 3D Yang Menerapkan Inverse Kinematics	93
4.5.4 Perbandingan Pengujian Metode Forward Kinematics dan Inverse Kinematics	97
4.5.5 Analisis Hasil.....	105
BAB V PENUTUP.....	110

51. Kesimpulan	110
52. Saran	111
DAFTAR PUSTAKA	112



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Matriks literatur review dan posisi penelitian Analisis Penerapan Metode <i>Inverse Kinematics</i> Untuk Pemodelan Gerakan Karakter Manusia Pada Animasi 3 Dimensi.....	11
Tabel 4.1. Tabel hubungan antar tulang.....	54
Tabel 4.2. Tabel hubungan antar kontrol animasi.....	57
Tabel 4.3. Hardware Pengujian Animasi.....	76
Tabel 4.4. Hardware Pengujian Animasi.....	77
Tabel 4.5. Hasil Uji Animator Pertama.....	85
Tabel 4.6. Hasil Uji Animator Pertama.....	85
Tabel 4.7. Hasil Uji Animator Kedua.....	86
Tabel 4.8. Hasil Uji Layak Animator Kedua.....	86
Tabel 4.9. Hasil Uji Animator Kedua.....	87
Tabel 4.10. Hasil Uji Animator Ketiga.....	87
Tabel 4.11. Hasil Uji Animator Kedua.....	88
Tabel 4.12. Hasil Uji Animator Kedua.....	88
Tabel 4.13. Hasil Uji Animator Kedua.....	89
Tabel 4.14. Hasil Uji Animator Kedua.....	89
Tabel 4.15. Hasil Pengujian Kelima Animator Animasi Badan.....	90
Tabel 4.16. Hasil Pengujian Kelima Animator Animasi Kaki.....	90
Tabel 4.17. Hasil Pengujian Kelima Animator Animasi Tangan.....	91
Tabel 4.18. Hasil Pengujian Kelima Animator Animasi Kepala.....	92

Tabel 4.19. Hasil Pengujian Kelima Animator Animasi Finishing.....	92
Tabel 4.20. Hasil Pengujian Kelima Animator Animasi Badan.....	93
Tabel 4.21. Hasil Pengujian Kelima Animator Animasi Kaki	94
Tabel 4.22. Hasil Pengujian Kelima Animator Animasi Tangan.....	95
Tabel 4.18. Hasil Pengujian Kelima Animator Animasi Kepala.....	96
Tabel 4.24. Hasil Pengujian Kelima Animator Animasi Finishing.....	96
Tabel 4.25. Perbandingan Pengujian Kelima Animator FK IK pada Badan.....	97
Tabel 4.26. Perbandingan Pengujian Kelima Animator FK IK pada Badan.....	99
Tabel 4.27. Perbandingan Pengujian Kelima Animator FK IK pada Tangan.....	100
Tabel 4.28. Perbandingan Pengujian Kelima Animator FK IK pada Kepala.....	102
Tabel 4.29. Perbandingan Pengujian Kelima Animator FK IK pada Finishing Animasi.....	103

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Animasi 3D	20
Gambar 2.2. <i>Stretch&squash</i>	21
Gambar 2.3. <i>Anticipation</i>	22
Gambar 2.4. <i>Staging</i>	23
Gambar 2.5. <i>Straight Ahead Action and Pose to Pose</i>	23
Gambar 2.6. <i>Follow Through and Overlapping Action</i>	24
Gambar 2.7. <i>Slow in and Slow out</i>	24
Gambar 2.8. <i>Arcs</i>	25
Gambar 2.9. <i>Secondary Action</i>	25
Gambar 2.10. <i>Timing</i>	26
Gambar 2.11. <i>Exaggeration</i>	26
Gambar 2.12. <i>Solid Drawing</i>	27
Gambar 2.13. <i>Appeal</i>	28
Gambar 2.14. <i>Articulated Body</i>	29
Gambar 2.15. <i>Revolute joint</i>	29
Gambar 2.16. <i>Prismatic joint</i>	30
Gambar 2.17. <i>End effector</i>	30
Gambar 2.18. Artikulasi	31
Gambar 2.19. Rangka aksial	32
Gambar 2.20. Rangka apendikular	33

Gambar 3.1. Alur Penelitian Bersama.....	37
Gambar 3.2. Alur Irisan Penelitian Afifah Nur Aini	43
Gambar 4.1. Video dari arah samping.....	45
Gambar 4.2. Video dari arah depan	46
Gambar 4.3. Video dari arah samping dan depan	46
Gambar 4.4.Karakter Animasi 3D dengan Personal Use Lisence di download dari situs www.free3d.com	48
Gambar 4.5.Struktur rig/tulang	49
Gambar 4.6.Layer rig/tulang karakter animasi 3D.....	50
Gambar 4.7. <i>Node view</i> hubungan rig/tulang <i>leg r</i> (kaki kanan)	50
Gambar 4.8. <i>Node view</i> hubungan rig/tulang <i>leg l</i> (kaki kiri).....	51
Gambar 4.9. <i>Node view</i> hubungan rig/tulang <i>hand r</i> (tangan kanan)	51
Gambar 4.10. <i>Node view</i> hubungan rig/tulang <i>hand l</i> (tangan kiri).....	52
Gambar 4.11. <i>Node view</i> hubungan rig/tulang <i>chest</i> (dada)	52
Gambar 4.12. <i>Node view</i> hubungan rig/tulang <i>neck</i> (leher).....	53
Gambar 4.13. <i>Node view</i> hubungan rig/tulang <i>head</i> (kepala)	53
Gambar 4.14.kontrol karakter animasi 3D.....	55
Gambar 4.15. <i>Node view</i> hubungan kontrol animasi <i>headpivot01</i> (Kontrol Kepala Utama)	57
Gambar 4.16. <i>Node view</i> hubungan kontrol animasi <i>Root</i> (Kontrol Pinggul)	58
Gambar 4.17. <i>Node view</i> hubungan kontrol animasi <i>Chest01</i> (Kontrol Dada).....	59
Gambar 4.18. <i>Node view</i> hubungan control animasi <i>Neck01</i> (Kontrol Leher)	59

Gambar 4.19. <i>Node view</i> hubungan control animasi <i>Collar01_L</i> (Kontrol Bahu Kiri)	60
Gambar 4.20. <i>Node view</i> hubungan control animasi <i>Collar01_R</i> (Kontrol Bahu Kanan)	60
Gambar 4.21. <i>Node view</i> hubungan kontrol animasi <i>Hand_R_IK</i> (Kontrol Tangan Kanan Invert Kinematics)	61
Gambar 4.22. <i>Node view</i> hubungan control animasi <i>Hand_R_PV</i> (Kontrol Siku Kanan)	62
Gambar 4.23. <i>Node view</i> hubungan kontrol animasi <i>Hand_L_IK</i> (Kontrol Tangan Kiri Invert Kinematics)	62
Gambar 4.24. <i>Node view</i> hubungan control animasi <i>Hand_L_PV</i> (Kontrol Siku Kiri)	63
Gambar 4.25. <i>Node view</i> hubungan control animasi <i>Foot_L_IK</i> (Kontrol Kaki Kiri Invert Kinematics)	64
Gambar 4.26. <i>Node view</i> hubungan control animasi <i>Foot_R_IK</i> (Kontrol Kaki Kanan Invert Kinematics)	64
Gambar 4.27. <i>Node view</i> hubungan control animasi <i>Leg_L_PV</i> (Kontrol Lutut Kiri)	65
Gambar 4.28. <i>Node view</i> hubungan control animasi <i>Leg_R_PV</i> (Kontrol Lutut Kanan)	66
Gambar 4.29. <i>Node view</i> hubungan control animasi <i>TRS</i> (Kontrol Skala Karakter 3D)	66

Gambar 4.30. <i>Node view</i> hubungan control animasi <i>TR</i> (Kontrol Posisi Karakter 3D)	67
Gambar 4.31. <i>Setting</i> teknik <i>Inverse Kinematics</i> pada tangan.	68
Gambar 4.32. <i>Controller</i> teknik <i>Inverse Kinematics</i> pada tangan.	68
Gambar 4.33. <i>Setting</i> teknik <i>Inverse Kinematics</i> pada Kaki	69
Gambar 4.34. <i>Controller</i> teknik <i>Inverse Kinematics</i> pada Kaki	69
Gambar 4.35. <i>Setting</i> teknik <i>Forward Kinematics</i> pada tangan.	70
Gambar 4.36. <i>Controller</i> teknik <i>Forward Kinematics</i> pada tangan.	70
Gambar 4.37. <i>Setting</i> teknik <i>Forward Kinematics</i> pada kaki	70
Gambar 4.38. <i>Controller</i> teknik <i>Forward Kinematics</i> pada Kaki	71
Gambar 4.39. Alur pengujian gerakan animasi 3D	72
Gambar 4.40. Pose <i>Keyframe</i> Karakter 3D Tangan IK	73
Gambar 4.41. Pose <i>Keyframe</i> Karakter 3D kaki IK	73
Gambar 4.42. Pose <i>Keyframe</i> Karakter 3D Badan IK	74
Gambar 4.43. Pose <i>Keyframe</i> Karakter 3D Tangan FK	74
Gambar 4.44. Pose <i>Keyframe</i> Karakter 3D Kaki FK	75
Gambar 4.45. Pose <i>Keyframe</i> Karakter 3D Badan FK	75
Gambar 4.46. Penilaian Kelayakan Prinsip Animasi	77
Gambar 4.47. Urutan Pengujian yang akan dilakukan oleh Animator	78
Gambar 4.48. Urutan Pengujian yang akan dilakukan oleh Animator	79
Gambar 4.49. Proses Pengujian Gerakan Animasi Kaki <i>Inverse Kinematics</i>	79
Gambar 4.50. Proses Pengujian Gerakan Animasi Tangan <i>Inverse Kinematics</i>	80
Gambar 4.51. Proses Pengujian Gerakan Animasi Badan <i>Inverse Kinematics</i>	80

Gambar 4.52. Proses Pengujian Gerakan Animasi Kepala <i>Inverse Kinematics</i> ...	81
Gambar 4.53. Proses Pengujian Finishing Gerakan <i>Inverse Kinematics</i>	81
Gambar 4.54. Proses Pengujian Gerakan Animasi Tangan <i>Forward Kinematics</i>	82
Gambar 4.55. Proses Pengujian Gerakan Animasi Kaki <i>Forward Kinematics</i>	82
Gambar 4.56. Proses Pengujian Gerakan Animasi Badan <i>Forward Kinematics</i>	83
Gambar 4.57. Proses Pengujian Gerakan Animasi Kepala <i>Forward Kinematics</i>	83
Gambar 4.58. Proses Pengujian Gerakan Animasi <i>Finishing Forward Kinematics</i>	84
Gambar 4.59. Grafik perbandingan metode <i>Forward</i> dan <i>Inverse Kinematics</i> pada animasi bagian badan.....	98
Gambar 4.60. Grafik perbandingan metode <i>Forward</i> dan <i>Inverse Kinematics</i> pada animasi bagian kaki	99
Gambar 4.61. Grafik perbandingan metode <i>Forward</i> dan <i>Inverse Kinematics</i> pada animasi bagian tangan.....	101
Gambar 4.62. Grafik perbandingan metode <i>Forward</i> dan <i>Inverse Kinematics</i> pada animasi bagian tangan.....	102
Gambar 4.63. Grafik perbandingan metode <i>Forward</i> dan <i>Inverse Kinematics</i> pada animasi bagian <i>Finishing Animasi</i>	104
Gambar 4.64. Pengujian metode dengan gerakan lain oleh SPV MSV	107
Gambar 4.64. Pengujian metode dengan gerakan lain oleh SPV MSV	108

INTISARI

Penelitian dengan judul “Analisis Efektifitas Penerapan Metode Inverse Kinematics dan forward Kinematics untuk Pemodelan Pergerakan Karakter Animasi 3D” bertujuan untuk mengetahui bagaimana tingkat efektif dari segi waktu yang dibutuhkan untuk menggerakkan animasi 3D walkcycle dengan menggunakan metode Inverse Kinematics & Forward Kinematics.

Referensi animasi yang digunakan adalah walkcycle manusia standar dengan menguji waktu pengerjaan untuk masing-masing bagian tubuh yang akan dianimasikan seperti animasi pada kepala, animasi pada tangan, animasi pada kaki, animasi pada badan hingga finishing animasi walkcycle ketika digerakkan. Pengerjaan masing-masing bagian dilakukan dengan metode Inverse Kinematics kemudian dilanjutkan dengan metode Forward Kinematics.

Berdasarkan hasil implementasi pada masing-masing bagian walkcycle dengan membandingkan kedua metode menunjukkan bahwa metode Inverse Kinematics merupakan metode yang efektif untuk penganimasian pada kaki, dan bagian kepala sedangkan metode Forward Kinematics menunjukkan bahwa metode tersebut lebih efektif dalam penganimasian pada bagian tangan, bagian badan dan finishing pergerakan. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa untuk menggunakan Inverse Kinematics akan lebih efektif jika objek yang akan dianimasikan mengunci dengan objek lain, seperti pada gerakan walkcycle, kaki objek akan mengunci pada lantai, sehingga metode ini lebih unggul dibandingkan dengan Forward Kinematics, dan sebaliknya.

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

ABSTRACT

Research titled "Analysis towards the Effectiveness of the Application of Reverse Kinematics Method and Advanced Kinematics for Modeling 3D Animation Character Movements" to study the level of effectiveness in terms of time span required to drive the 3D walkcycle animation using the attached Kinematics & Advanced Kinematics methods.

Animation reference which used was a standard human walkcycle with extent for each part of the body to be animated such as head animation, hand animation, foot animation, bed animation to complete a walking compilation of animated walkcycle. The execution of each part is carried out by the inverse kinematics method and then proceed with the advanced kinematics method.

Based on the results of the implementation in each section of the walk by comparing the two methods in order to show the inverse method Kinematics is an effective method to animate the legs, and the head of the forward method of Forward Kinematics uses this method of movement. The results of the comparison shown that the use of inverse kinematics will enhanced if the object that about to be animated talks with other objects. i.e walkcycle movements, the feet of the object will be accessed on the floor, so this method is superior to Forward Kinematics , and vice versa.

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

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Saat ini, 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).

Sampai saat ini di Indonesia sendiri mulai mengembangkan film animasi sebagai industri hiburan tanah air, namun Indonesia belum banyak berkontribusi untuk segmen global karena 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 2D 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. Tidak hanya itu, hal itu menuntut animator menggunakan metode yang tepat dalam mengoptimalkan waktu yang ada sehingga animasi dapat diselesaikan tepat waktu,

tepat mutu, dan tepat biaya pada produksi dan pasca produksi animasi 3D baik dari segi sumber daya manusia yang membuatnya dan penyusutan komputer yang digunakannya.

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 pada animasi yaitu *Forward kinematics* dan *Inverse kinematics*. *Forward kinematics* hanya dapat mengontrol posisi setiap ruas secara tidak langsung dengan cara menentukan sudut rotasi dari sendi di antara pangkal dan ujung efektor, sehingga kelemahan dari metode ini adalah animator harus mengatur sudut sendi terlebih dahulu untuk membentuk suatu pose gerakan. Sebaliknya, dengan *inverse kinematics* penempatan ujung efektor dapat dikendalikan secara langsung dengan memecah sudut sendi yang dapat menempatkannya pada lokasi yang diinginkan (Ge, 2000).

Metode *kinematics* merupakan metode yang sesuai untuk digunakan pada animasi yang mempunyai articulated body atau bagian yang saling tersambung sehingga membentuk suatu kerangka. Salah satu objek yang dapat menggambarkan bentuk tersebut yaitu manusia, yang mempunyai bagian-bagian tubuh yang saling terhubung satu sama lain dan dihubungkan dengan sendi-sendi, sehingga jika terjadi pergerakan dari sendi tersebut maka bagian lain yang terhubung juga akan mengalami perubahan posisi yang kemudian menghasilkan suatu model gerakan.

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

Oleh karena itu, dibutuhkan suatu metode yang menjadikan proses pergerakan karakter yang terlihat natural dan dapat dilakukan dengan lebih mudah, dan cepat. 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* dan *forward kinematics*.

Dalam penelitian ini, penulis merujuk beberapa penelitian sebelumnya yang membahas tentang topik yang berkaitan dengan penelitian yang akan penulis lakukan. Penelitian tersebut diantaranya yaitu: penelitian dari Annisa Rahayu Pangesti yang melakukan penelitian untuk menghasilkan model gerakan animasi 2D yang menerapkan metode *inverse kinematics* untuk pemodelan gerakan karakter manusia serta menentukan sudut derajat kebebasan pada beberapa sendi (Pangesti, 2019).

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

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

Dari penelitian-penelitian tersebut, metode *inverse kinematics* dan *forward kinematics* akan diterapkan pada animasi 3 dimensi yang diharapkan dapat memberikan tingkat efektifitas dari segi waktu dan kelayakan terhadap proses penganimasian, dengan memperhatikan parameter pada gerak manusia yang didapatkan dari studi literatur, kepustakaan dan observasi. Sehingga gerak animasi yang dihasilkan nantinya diharapkan bisa seperti gerak manusia pada umumnya, pengujian untuk gerak animasi sendiri berupa gerakan salah satu gerakan yang

sering kali dilakukan adalah gerakan walk cycle. Serta pada rigging yang disediakan sudah ada *tools controller* animasi gerakan yang telah dibuat sebelumnya agar dapat digunakan kembali sehingga dapat memudahkan pembuatan animasi.

1.2. Rumusan Masalah

Sebagaimana paparan latar belakang diatas, maka penulis merumuskan masalah, yaitu seberapa efektif dari segi waktu dalam penggunaan teknik forward kinematics dan inverse kinematics gerakan walk cycle kondisi standar untuk produksi dan post produksi pada animasi 3D?

1.3. Batasan Masalah

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

- a. Jenis animasi yang digunakan adalah animasi 3 Dimensi.
- b. Penganimasian menggunakan metode *inverse kinematics* & forward kinematics.
- c. Karakter 3D manusia yang digunakan adalah karakter gratis yang telah dibuat oleh user *bananacake* pada situs *free3d.com*.
- d. Pengujian gerak karakter animasi 3D menggunakan software Autodesk Maya 2017.
- e. Menguji seberapa efektif waktu yang digunakan dalam membuat animasi 3D dengan metode Forward Kinematics & Inverse Kinematics.
- f. Gerakan animasi berupa gerakan yang sering digunakan pada animasi, yaitu gerakan walk cycle.

- g. Penerapan metode *inverse kinematics* dan *forward kinematics* hanya pada bagian tangan, kaki dan pinggul karakter animasi 3D.
- h. Referensi gerakan berupa video referensi *liveshoot walk cycle* yang ada pada account *endlessreference* pada situs YouTube dengan judul *Athletic Male Standard Walk. Animation Reference Body Mechanics*.
- i. Uji coba gerakan animasi dilakukan oleh lima animator profesional dan akan diuji sebanyak 5 (lima) kali uji coba.
- j. Uji coba gerak animasi menggunakan prinsip animasi *pose to pose* dalam proses pergerakan karakter animasi 3D
- k. Pengujian dilakukan pada tahap persiapan, penganimasian dan penyempurnaan gerakan.
- l. Menguji tingkat efektif pergerakan pada animasi 3D karakter manusia.
- m. Kriteria pengujian yaitu memperhitungkan tingkat waktu animasi 3D karakter manusia dengan referensi gerakan video *liveshoot*.
- n. Pengujian yang dilakukan adalah *walkcycle* dan gerakan lainnya untuk mendapatkan kondisi ideal dalam menggunakan metode.
- o. Penelitian ini tidak memperhatikan prinsip animasi *Exaggeration* dan *Appeal*.
- p. Pengujian kedua teknik ini dilakukan untuk memaksimalkan pengerjaan dalam segi waktu produksi & post produksi dengan memperhatikan *rigging* pada bagian masing-masing animasi.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian sebagai berikut:

- a. Mengetahui bagaimana efektivitas teknik forward kinematics dan inverse kinematics dalam pembuatan animasi 3D
- b. 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* dan *forward kinematics* serta untuk mengetahui seberapa efektif penggunaan kedua metode tersebut dari segi waktu.
- b. Secara praktis, penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi dalam melakukan penelitian lanjutan atau pembuatan animasi dengan metode *inverse kinematics* dan *forward kinematics*.
- c. Bagi animator, metode yang digunakan dalam penelitian ini dapat memberikan solusi agar pembuatan animasi 3D dapat dilakukan secara efektif agar mendapatkan hasil yang optimal.

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 artikulasi 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* dan *forward 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.

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	Suran 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 menggunakan metode <i>inverse</i> 	<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 pengujianya 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> .	kinematics yang dibandingkan dengan video <i>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"> i. 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 <i>skinning</i> sangat berpengaruh dalam menyelesaikan pembuatan <i>rig</i>. 	<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
				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> .		
3	Simulasi Gerak Ular Menggunakan Metode Inverse Kinematics	Agung Dwi Saputro, M. Suyanto, Sukoco, Jurnal Informasi	Penelitian tersebut bertujuan untuk: 1. mencari pola pada pergerakan objek animasi 3D hewan ular	Dari hasil penelitian yang dilakukan, penulis mengambil kesimpulan sebagai berikut :	Pada penelitian tersebut Simulasi gerak ular dibuat tidak hanya dengan menggunakan satu metode saja,	Perbedaan terletak pada penerapan objek 3D, objek 3D yang digunakan pada penelitian tersebut berupa hewan ular. Selain itu, gerakan pada penelitian yang

Tabel 2.1. (Lanjutan)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
		Interaktif Vol.3 No.2, 2018	<ol style="list-style-type: none"> Menentukan sudut kebebasan pada gerak objek animasi 3D hewan ular. Menerapkan metode inverse kinematika pada simulasi gerak berjalan hewan ular 3D 	<ol style="list-style-type: none"> Pola gerak ular yang didapat berbentuk kurva atau huruf S 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 $5,6^\circ$ Metode inverse kinematik dapat diterapkan dalam pembuatan simulasi gerak berjalan ular 3D. 	akan tetapi bisa dengan menambahkan metode lain seperti forward kinematik	akan penulis buat akan melibatkan besar sudut kebebasan tulang pada ruas tulang karakter manusia.
4	Gerakan Dasar Felidae Dalam Animasi 2 Dimensi	Niky Hardinata, Journal Sentra Penelitian Engineering dan Edukasi (Speed) Vol.9 No.2, 2017	<p>Tujuan dari penelitian tersebut adalah:</p> <ol style="list-style-type: none"> Mengetahui derajat kebebasan sendi hewan kucing sebagai referensi pada karakter hewan <i>felidae</i> lainnya dalam animasi 2D 	<ol style="list-style-type: none"> Sudut kebebasan sendi karakter hewan felidae yang didapat untuk library model yaitu: kaki bagian belakang antara $69^\circ - 180^\circ$, sendi nomor 2 berkisar $50^\circ - 180^\circ$ dan sendi nomor 3 berkisar dari $80^\circ - 225^\circ$. Pada kaki bagian depan, sendi 1 yaitu 	Pada penelitian tersebut hanya membuat model gerakan berjalan dan berlari dari hewan felidae dari arah samping dan tidak disebutkan apakah perbedaan arah yang dibuat dapat mempengaruhi hasil	Penelitian tersebut menggunakan hewan felidae sebagai objeknya, sedangkan penelitian yang akan penulis lakukan menggunakan karakter manusia, sehingga sendi-sendi yang menjadi parameter DoF juga akan mengalami perbedaan. Selain itu, gerakan pada penelitian yang akan penulis

Tabel 2.1. (Lanjutan)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
			<p>2. Menghasilkan model gerakan dasar hewan <i>felidae</i> dalam animasi 2D dengan metode <i>inverse kinematik</i></p> <p>3. Menghasilkan <i>library</i> model gerakan hewan <i>felidae</i> yang dapat diterapkan secara otomatis</p>	<p>antara $56^\circ - 180^\circ$, sendi nomor 2 berkisar $92^\circ - 182^\circ$ dan sendi nomor 3 berkisar dari $95^\circ - 220^\circ$.</p> <p>2. Dalam pembuatan model gerakan hewan <i>felidae</i> dapat menerapkan metode <i>inverse kinematics</i> dengan mengatur posisi bone untuk setiap keyframe.</p> <p>3. <i>Library</i> model yang sudah dibuat dapat diterapkan pada karakter hewan <i>felidae</i> lainnya secara otomatis.</p>	<p>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>buat akan melibatkan contoh pergerakan dari arah yang berbeda-beda.</p>
5	Simulasi Gerak Kepiting Menggunakan Metode Inverse Kinematics	Muga Lingsar Famukhit, Journal Sentra Penelitian Engineering dan Edukasi (Speed) Vol.8 No.2, 2016	<p>Tujuan dari penelitian tersebut yaitu sebagai berikut:</p> <p>1. Mengetahui derajat kebebasan tulang-tulang hewan kepiting untuk diterapkan</p>	<p>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°,</p>	<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</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</p>

Tabel 2.1. (Lanjutan)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
			<p>dalam karakter animasi 3D</p> <p>2. Menghasilkan pola gerak hewan keping untuk diterapkan dalam animasi 3D</p> <p>3. Menggunakan metode <i>inverse kinematic</i> untuk membuat simulasi 3D berupa gerak keping</p>	<p>70°, 60°, 60°, dan ke arah bawah 30°, 50°, 40°, 30°.</p> <p>2. Tercipta pola gerakan jalan hewan keping 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.</p> <p>3. Penggunaan metode <i>inverse kinematics</i> dapat diterapkan dalam pembuatan simulasi animasi 3D berupa gerak berjalan hewan keping.</p>	<p>kembali untuk karakter yang berbeda. Saran untuk penelitian ini yaitu adanya penambahan gerakan dengan jenis keping yang berbeda, sehingga selain mendapatkan model gerakan dari berbagai macam keping, juga dapat mengetahui perbedaan gerak jalan dari masing-masing jenis keping.</p>	<p>dalam proses produksi agar dapat membuat animasi dengan lebih cepat.</p>
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	Pada penelitian tersebut menghasilkan sebuah solusi untuk permasalahan dalam metode <i>inverse kinematics</i> dengan menggunakan penyelesaian <i>closed-</i>	Kelemahan pada penelitian tersebut yaitu jika animasi yang dibuat membutuhkan gerakan yang lebih kompleks maka metode yang digunakan perlu digabungkan dengan	Metode <i>inverse kinematics</i> yang digunakan dalam penelitian tersebut digunakan dalam menentukan posisi yang tepat sesuai dengan titik yang diinputkan oleh user, sedangkan pada penelitian yang akan penulis

Tabel 2.1. (Lanjutan)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
			sesuai dengan arahan/posisi yang diinputkan oleh user.	formyang diambil dari metode <i>Forwardkinematics</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.	metode lainnya sehingga solusi yang didapatkan akan lebih baik.	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 <i>Kinematics</i> Motion Of Shadowgraphs Shadow Puppets In Taiwan	GuanZe Liao, The 2 nd International Conference on Design Creativity (ICDC2012), 2012	Tujuan dari penelitian tersebut yaitu untuk membuat suatu film animasi pendek dengan jenis animasi shadow puppet atau wayang ataupun cut out menggunakan metode inverse <i>kinematics</i> . Hal ini dilakukan agar dapat	Hasil yang didapat dari penelitian tersebut yaitu 6 scene film Shadow puppet yang dibuat menggunakan metode inverse kinematik.	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.	Perbedaan antara penelitian ini dengan penelitian yang akan dilakukan adalah 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.

Tabel 2.1. (Lanjutan)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
			mempermudah proses pembuatan animasi puppet dalam bentuk digital.			
8	Perancangan Alat Rigging Karakter Otomatis Pada Autodesk Maya Studi Kasus : Pt Mataram Surya Visi (Msv)	Aryanto Yuniawan, Tesis, Program Pasca Sarjana UNIVERSITAS AMIKOM Yogyakarta, 2014	Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat (<i>tools</i>) rigging manual yang telah disediakan oleh Autodesk Maya menjadi alat rigging otomatis. Dengan adanya alat ini diharapkan dapat memperkecil Kesalahan kesalahan (<i>human error</i>) yang dilakukan oleh animator, konsistensi hirarki dari tiap-tiap karakter sehingga animasi karakter lebih mudah, dapat	Dari hasil penelitian yang dilakukan, penulis mengambil kesimpulan sebagai berikut : Alat rigging yang dikembangkan merupakan hasil modifikasi dari alat yang telah disediakan oleh <i>software</i> Autodesk Maya. Dengan adanya alat tersebut proses rigging karakter dapat dilakukan lebih cepat dengan meminimalisir kesalahan-kesalahan yang sering dilakukan pada saat rigging karakter seperti hirarki yang	Diperlukan pengembangan lebih lanjut mengenai alat rigging yang telah dirancang sehingga dapat memberikan manfaat secara maksimal dan lebih memudahkan pekerjaan animator.	Metode untuk pengujian dirasa belum maksimal dan hasil dari peningkatan waktu pengerjaan. Penelitian ini akan menghitung kecepatan pada masing-masing bagian yang diterapkan kedua teknik tersebut.

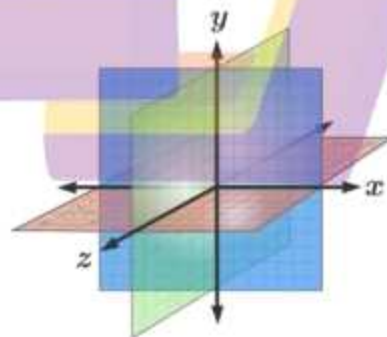
Tabel 2.1. (Lanjutan)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
			mempercepat waktu produksi film (<i>pipeline</i>) sehingga dapat menekan biaya produksi.	tidak konsisten dan lain sebagainya.		
9	Inverse Kinematics Techniques in Computer Graphics: A Survey	A. Aristidou, J. Lasenby, Y. Chrysanthou and A. Shamir, Computer Graphics Forum (Comput Graph Forum), 2017	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 sambungan atau kontak pembatasan untuk menangani kompleksitas tersebut. Oleh karena itu adalah suatu jeharusan untuk menemukan cara yang efisien agar tidak memakan waktu yang banyak.	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 mengoptimalkan proyek berbasis Inverse Kinematics.	Pada paper ini hanya mengembangkan metode Inverse Kinematics dan DoF terkait dengan berbagai metode robotik.	Diterapkan pada animasi 3D Walkcyle dan dibandingkan dengan metode Forward Kinematics untuk mengoptimalkan waktu dalam pembuatan animasi.

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 sumbuernya. 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://brilliant.org/problems/shortest-distance-from-origin-3d/>)

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 2.2.

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.



Gambar 2.2. *Stretch&squash* (<http://www.dsource.in/course/principles-animation/squash-and-stretch/ball-bouncing-example>)

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.



Gambar 2.3. *Anticipation* (<https://www.quora.com/How-can-anticipation-in-the-context-of-animation-be-explained>)

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.

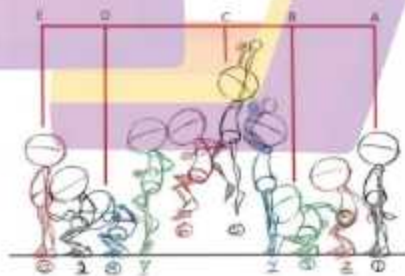


Gambar 2.4. *Staging* (<http://www.dsource.in/course/principles-animation/staging>)

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 terpeta dengan kunci gambar pada interval tertentu, dari suatu pose ke pose selanjutnya, karenanya disebut *Pose to Pose animation*.



Gambar 2.5. *Straight Ahead Action and Pose to Pose* (<https://learn.toonboom.com/modules/animation-principles/topic/straight-ahead-and-pose-to-pose-principle>)

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.



Gambar 2.6.. *Follow Through and Overlapping Action*(<https://chloemccormick.wordpress.com/2016/02/08/follow-through-overlapping-action/>)

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.



Gambar 2.7..*Slow in and Slow out*(<http://dsourc.in/course/principles-animation/slow-slow-out>)

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.



Gambar 2.8. *Arcs* (<https://www.moddb.com/games/damsel/news/animation-process>)

2.3.2.8 Secondary Action

Secondary action adalah gerakan tambahan yang dimaksudkan untuk memperkuat gerakan utama supaya animasi tampak lebih realistis. *Secondary action* berfungsi memberikan emphasize untuk memperkuat gerakan utama.



Gambar 2.9. *Secondary Action* (<https://www.anImage.org/2017/09/elemen-prinsip-animasi-secondary-action.html>)

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.



Gambar 2.10. *Timing* (https://docs.toonboom.com/help/toon-boom-studio-81/Content/TBS/User_Guide/007_Timing/000_CT_Layers_and_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.



Gambar 2.11. *Exaggeration* (<http://dsourc.in/course/principles-animation/exaggeration>)

2.3.2.11 *Solid Drawing*

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



Gambar 2.12. *Solid Drawing* (<https://sketchok.com/games/metal-gear-solid/how-to-draw-big-boss-full-growth-metal-gear-solid>)

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.



Gambar 2.13 Appeal (<http://www.dsourc.in/course/principles-animation/appeal>)

2.4 Kinematika (Kinematics)

Kinematics adalah studi pergerakan dan gerak struktur yang memiliki persendian, seperti gerakan berjalan, dengan menghitung posisi, putaran, kecepatan, dan percepatan semua sendi dan komponen yang diartikulasikan - tikungan lutut, pinggul melengkung, bahu, dan kepala. Dalam animasi, *kinematics* dibagi menjadi 2 jenis berdasarkan metode pergerakannya:

a. Forward kinematics (FK)

Forward kinematics (FK) merupakan metode yang bekerja secara langsung dengan acuan sudut sendi untuk mencapai lokasi tertentu yang setiap sendinya digerakan secara individual, dan bergerak secara berurutan tanpa adanya tujuan. Metode ini biasa terdapat pada robot.

b. 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 ditentukan dari pergerakan tulang 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.

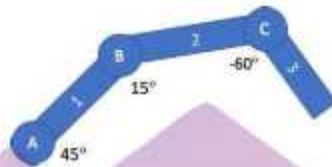


Gambar 2.17. *End effector* (<https://www.quora.com/What-are-inverse-kinematics-in-Flash>)

2.4.3 Artikulasi dan Poses

Artikulasi adalah rotasi / terjemahan sendi yang menggerakkan hubungan yang terhubung. Artikulasi terdiri dari derajat sudut setiap joint yang terhubung. Sedangkan, sebuah pose adalah seperangkat artikulasi bersama yang menghasilkan posisi *articulated body*. Dengan kata lain, pose adalah nilai vektor daripada nilai

scalar seperti *pose articulated body* adalah $\langle 45^\circ, 15^\circ, -60^\circ \rangle$ ditunjukkan dalam gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.18. 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 ruas tulang belakang (*columna vertebrata*), tulang tengkorak, tulang dada dan tulang iga/rusuk.



Gambar 2.19. Rangka aksial(https://hisham.id/sistem_rangka_manusia_pengertian_fungsi_komponen.html/)

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.

Rangka Apendikular



Gambar 2.20. Rangka apendikular (https://hisham.id/sistem_rangka_manusia_pengertian_fungsi_komponen.html/)

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.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis, Sifat dan Pendekatan Penelitian

Pada penelitian ini adapun jenis, sifat dan pendekatan penelitian sebagai berikut.

1. Jenis Penelitian Eksperimen

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen dimana proses atau langkah-langkah untuk mengembangkan suatu produk baru, atau menyempurnakan produk yang telah ada, yang dapat dipertanggungjawabkan (Sujadi, 2003). Sedangkan sifat dari penelitian ini adalah penelitian deskriptif dengan tujuan untuk mendeskripsikan objek penelitian dalam hal ini adalah manusia ataupun hasil penelitian yang didapat yang berupa animasi 3D.

2. Sifat Penelitian Deskriptif

Tujuan dari penelitian ini yaitu membandingkan efektifitas pada dua metode, apakah dua metode ini menghasilkan sebuah penelitian yang lebih baik dari salah satu metode sebelumnya atau tidak. Penulis akan mengamati dan menganalisis dari step by step dalam penerapan antar dua metode tersebut, bagian mana sajakah yang layak untuk diterapkan dan bagian mana sajakah yang tidak layak untuk diterapkan dalam animasi karakter 3D.

3. Sifat Penelitian Kualitatif

Pada penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif yang nantinya hasil dari penelitian ini merupakan informasi-informasi yang di dapat dari eksperimen

yang telah dilakukan dan dengan justifikasi sebagai penguat informasi atas hasil yang telah didapat

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

Penulis melakukan pencarian data melalui internet untuk mendapatkan informasi yang berkaitan dengan animasi karakter 3D dan jenis gerakan walk cycle. Jenis data yang dihasilkan berupa data dari perkembangan animasi di dunia dan di Indonesia.

3.2.2. Metode Kepustakaan

Penulis melakukan pengumpulan data dengan mengkaji teori melalui buku-buku yang relevan dan sumber lainnya dari internet. Jenis data yang didapatkan berupa teori-teori tentang animasi, animasi 3D, rigging, metode *Inverse Kinematics* dan *Forward Kinematics*.

3.2.3. Metode Observasi

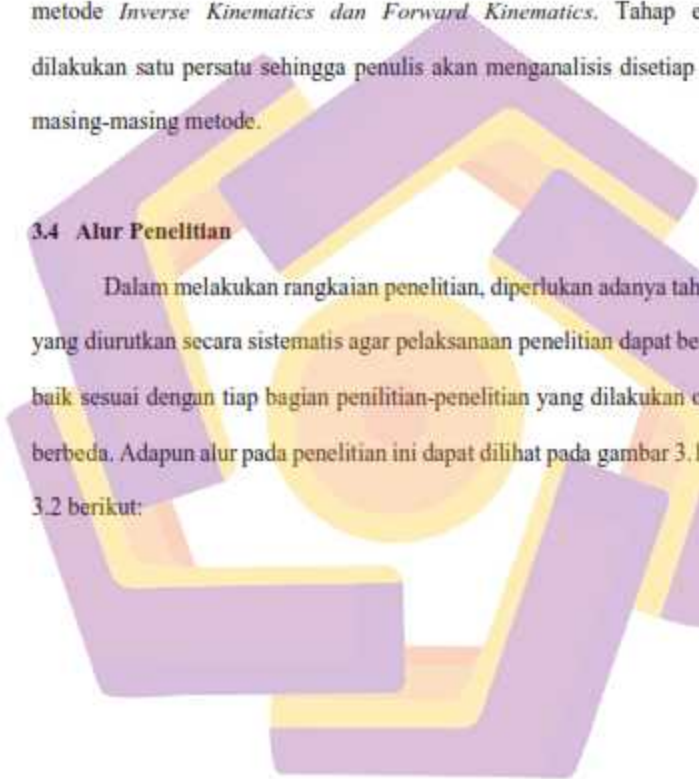
Penulis melakukan pengamatan terhadap manusia untuk mengumpulkan data yang berkaitan dengan pergerakan animasi kedua metode. Data yang diperoleh kemudian digunakan untuk mengukur efektifitas yang nantinya dijadikan sebagai referensi dalam animasi karakter walkcycle. Tidak hanya itu, observasi juga dilakukan untuk mengetahui parameter apa saja yang akan menjadi penilaian saat pengujian.

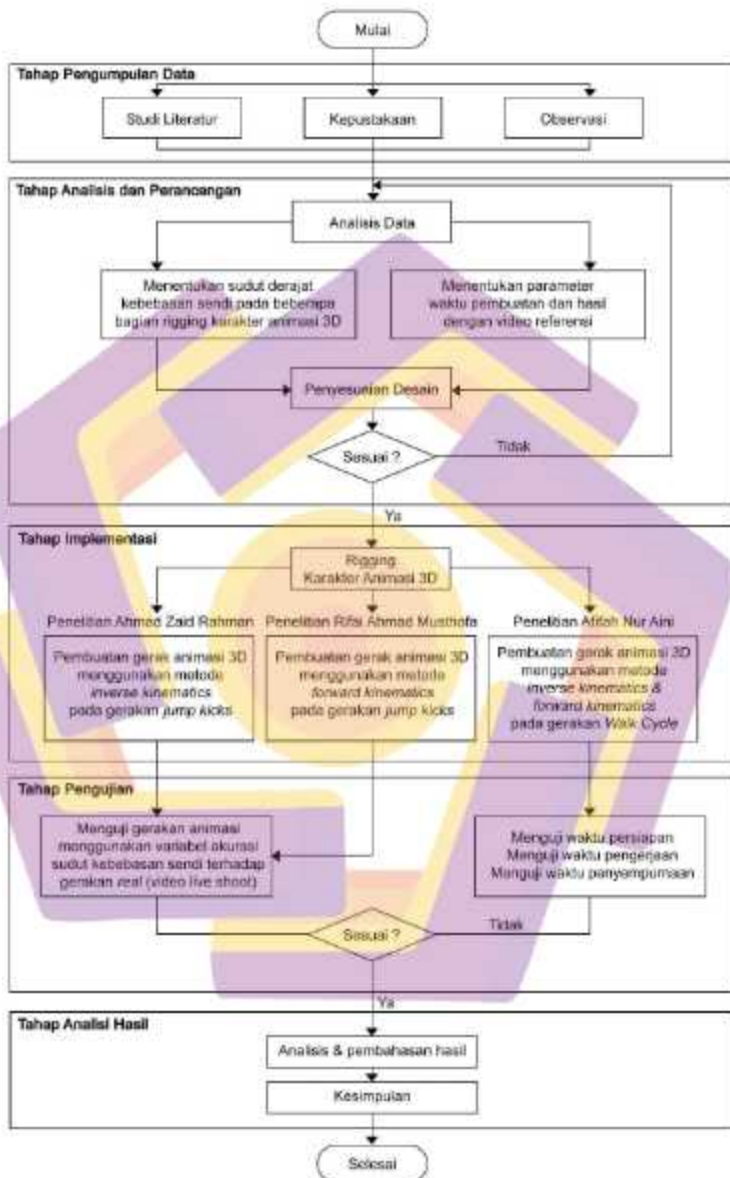
3.3 Metode Analisis Data

Metode analisis data pada penelitian ini adalah melakukan tahap analisis apabila semua data sudah terkumpul. Kemudian penulis akan melakukan pengelompokan terlebih dahulu, dan mengamati secara seksama penerapan dua metode *Inverse Kinematics* dan *Forward Kinematics*. Tahap eksperimen dilakukan satu persatu sehingga penulis akan menganalisis disetiap penerapan masing-masing metode.

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 dan 3.2 berikut:





Gambar 3.1. Alur Penelitian Bersama

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 sendidan parameter gerak maksimal manusia pada umumnya serta data mengenai metode *Inverse Kinematics* dan *Forward 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 Ahmad Zaid Rahman dan Rifai Ahmad Musthofa dimana pada tahap analisa akan melakukan pembahasan yang sama dengan teknik yang berbeda serta tahap analisa untuk menentukan parameter waktu pembuatan dan hasil dengan video referensi yang akan dilakukan oleh saya, Afifah Nur Aini sebagai penulis dalam penelitian ini.

Tahap analisa yaitu menganalisa data yang telah didapat hasil dari tahap pengumpulan data yang kemudian melakukan perhitungan kerangka rigging dengan pemberian parameter tolak ukur kebebasan tulang (*Degrees of Freedom*) di beberapa sendi/rigging karakter yang telah ada serta merancang *tools*

control animasi. Selain itu juga menentukan parameter waktu dan gerak animasi untuk masing-masing gerakan. 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 Ahmad Zaid Rahmandengan judul penelitian “Analisis Penerapan Metode *Inverse Kinematics* Untuk Pemodelan Gerakan Karakter Manusia Pada Animasi 3 Dimensi” dan pada bagian implementasi penelitian, pembuatan gerak animasi 3D menggunakan metode *forward kinematics* pada gerakan *jump kicks* yang akan dilakukan oleh penulis Rifai Ahmad Musthofadengan judul penelitian “Analisis Penerapan Pemodelan Gerakan Karakter Manusia Pada Animasi 3D Menggunakan Metode Forward Kinematics”, yang dimana kedua dari penelitian tersebut sama-sama menggunakan objek pengujian gerakan yang sama yaitu *jump kicks*, serta pada penelitian penulis sendiri, Afifah Nur Aini, pembuatan gerakan animasi menggunakan 2 metode yaitu *inverse kinematics* dan *forward kinematics* pada gerakan *walk cycle*, 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 pembuatan *system control* yang bertujuan untuk memudahkan dalam melakukan animasi pada karakter 3D.

3.4.4. Tahap Pengujian

Tahap pengujian bertujuan untuk menguji penenerapan dari metode-metode yang digunakan dari 3 peneliti yaitu, *inverse kinematics* dan *forward kinematics*. Pada penelitian 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 penulis sendiri, 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 Ahmad Zaid Rahman dan Rifai Ahmad Musthofa akan dilakukan oleh animator professional dengan menganimasikan karakter 3 Dimensi yang sudah diberi parameter tolak ukur kebebasan tulang (Degrees of Freedom) dan menganimasikan karakter 3 Dimensi yang tidak menggunakan tolak ukur

kebebasan tulang (DoF). Selanjutnya ditahap pengujian setelah dilakukan penganimasian pada karakter 3 Dimensi, yaitu membandingkan sudut yang terbentuk dari setiap sendi pada bagian tubuh animasi 3 Dimensi yang telah dibuat menggunakan masing-masing metode 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 mengekspor terlebih dahulu masing-masing gerakan animasi 3 Dimensi yang telah dibuat ke dalam format video agar dapat diimpor ke dalam software Tracker. Pada penelitian ini, video yang dihasilkan mempunyai format .mp4. Pengukuran yang dihasilkan dari masing-masing video dilakukan berdasarkan sudut yang terbentuk dari setiap pose di setiap frame menggunakan salah satu fitur measure tool pada software Tracker, yaitu fitur Protractor. Dari pengukuran tersebut didapatkan data yang dapat dilihat dalam dua macam bentuk yaitu berupa tabel dan grafik.

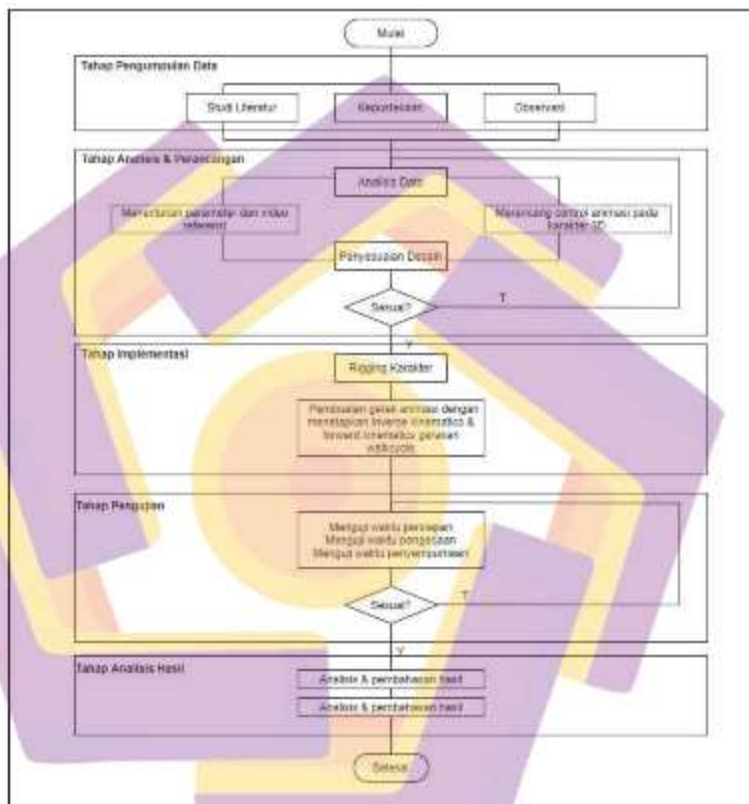
Sedangkan penelitian penulis sendiri pada tahap pengujian bertujuan untuk menguji penerapan waktu dari metode Inverse Kinematic dan Forward Kinematicss. Pada penelitian ini, Pengujian akan dilakukan oleh 5 animator profesional yang akan menganimasikan karakter 3 Dimensi dengan referensi walkcycle dan diuji sebanyak lima kali. Pengujian sebanyak 5 kali yang akan dihitung pada analisis nanti merupakan hasil animasi yang layak dikarenakan pada

tahap ini supervisor animator akan terjun langsung untuk menilai dan mengoreksi hasil animasi dari masing-masing yang diuji oleh animator. Selanjutnya ditahap pengujian setelah dilakukan penganimasian pada karakter 3 Dimensi, yaitu membandingkan efektivitas waktu animasi 3 Dimensi yang telah dibuat menggunakan metode inverse kinematic dan forward kinematics dengan video referensi yang berupa video live shoot. Pengujian ini penulis lakukan bertujuan untuk mengetahui berapa natural kemiripan dari kedua video tersebut. Pengujian yang dilakukan mulai dari tahap persiapan, disini animator sudah mendapatkan modelling & rigging, sehingga animator hanya perlu menguji waktu pengerjaan pada masing-masing metode, kemudian menguji waktu penyempurnaan atau polishing animasi.

3.4.5. Tahap Analisis dan Hasil

Pada tahap ini untuk masing-masing peneliti 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 (Degrees of Freedom) dan akurasi gerak animasi 3 Dimensi jika diberikan parameter tolak ukur kebebasan tulang (DoF) dan tidak diberikan parameter tolak ukur kebebasan tulang (DoF), sedangkan pada penelitian ini data yang didapat pada hasil penelitian dalam bentuk data angka-angka waktu yang diperlukan masing-masing uji, kemudian memberikan kesimpulan yang bisa diambil dan saran apabila terdapat berbagai kekurangan dalam penelitian yang bertujuan kedepannya bisa dikembangkan kembali.

Dari Alur Bersama seperti yang diurai diatas, maka didapatkan alur irisan penelitian yang akan dilakukan penulis sebagai berikut:



Gambar 3.2. Alur Irisan Penelitian Afifah Nur Aini

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Gambaran Umum Obyek Penelitian

Pada penelitian ini penulis menggunakan referensi berupa salah satu gerakan walk cycle. Animasi walk cycle merupakan konsep penting bagi animator karena mereka harus membuat siklus berjalan yang dapat dipercaya dengan kualitas tinggi untuk karakter, mulai dari film animasi, video game dan lain sebagainya. Pada penelitian yang dilakukan oleh Mohd Arshad dengan judul Prosedur Rigging Fisik berdasarkan Karakter Jenis dan Desain dalam Animasi 3D, siklus walk cycle atau berjalan ini melibatkan mekanisme gerak, memberikan representasi visual terbaik untuk pergerakan keseluruhan karakter. Walk cycle merangkum semua elemen dalam prinsip animasi dan berurusan dengan masalah yang kompleks seperti berat badan dan waktu. Walk cycle juga salah satu cara untuk menguji apakah karakter tersebut fungsional atau tidak dan eksperimen terbaik untuk rigger artist dan untuk uji rig yang lengkap (Arshad Mohd, 2019). Untuk siklus berjalan ada empat pose utama yang harus ditinjau, seperti kontak, turun, melewati dan titik tinggi yang dapat dianimasikan tergantung pada karakter, pada suasana hati seperti senang, marah, malas dan lain-lain. Pada penelitian ini menggunakan referensi pergerakan pria berjalan dengan standar yang kemudian akan dianimasikan menggunakan inverse dan forward kinematics.

4.2 Analisis

Tahap analisis merupakan proses untuk mendapatkan data-data mengenai obyek penelitian yang meliputi gerakan walk cycle dan pada obyek karakter yang diuji.

4.2.1. Analisis Gerakan

Untuk mengetahui bagaimana pergerakan anggota tubuh saat melakukan gerakan walk cycle, maka dilakukan analisis terhadap gerakan melalui video referensi yaitu arah samping, dan arah depan. Video referensi tersebut bersumber dari akun endlessreference dengan judul Athletic Male Standard Walk Animation Reference Body Mechanics dimana video referensi ini biasa dijadikan patokan untuk pembuatan animasi yang 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:



Gambar 4.1. Video dari arah samping



Gambar 4.2. Video dari arah depan

Gambar 4.3. Video dari arah samping dan depan

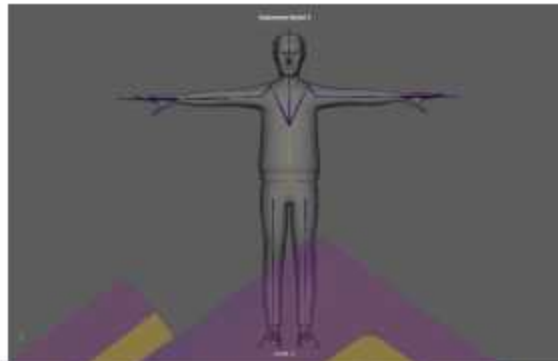
Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan, gerakan manusia pada saat melakukan gerakan beladiri *walk cycle* mempunyai pola gerakan yang berbeda-beda dalam proses melakukan gerakan tersebut, perbedaan tersebut diantaranya

adalah gerakan tangan, jarak langkah kaki, kecepatan, dan posisi tubuh saat bergerak. Dalam gerakan walk cycle ini juga terdapat beberapa prinsip animasi yang diantaranya ialah, *Anticipation*, *Pose to Pose*, *Arcs*, dan *Timing Spacing*.

4.2.2. 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 dan bebas digunakan ulang dengan nama *Man Simple Rig* yang di publikasikan Personal Use Lisence oleh akun bernama *banamacake* dan terdapat keterangan spesifikasi modeling atau rigging yang dikerjakan.



Gambar 4.5. Struktur rig/tulang

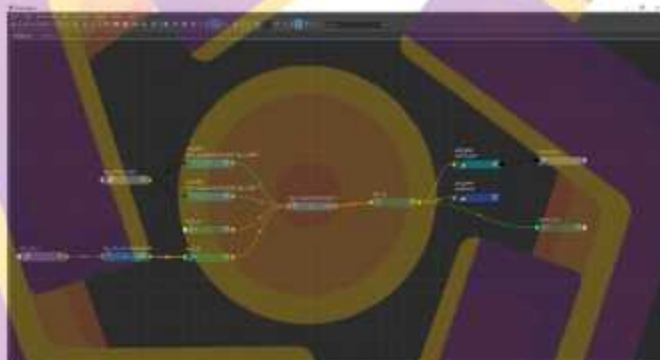
Berdasarkan analisis rig/tulang tersebut, bagian-bagian pada rig/tulang dikelompokkan dalam beberapa kelompok, yaitu :

- *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 4.6. Layer rig/tulang karakter animasi 3D



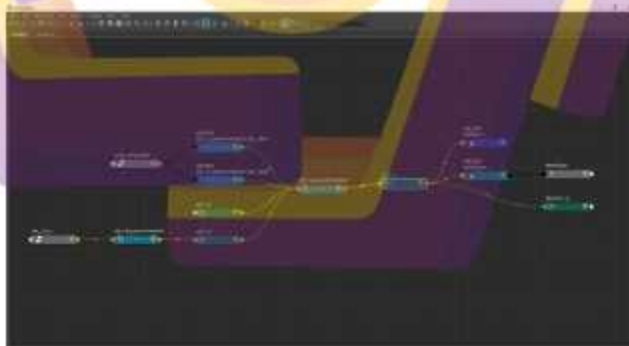
Gambar 4.7. Node view hubungan rig/tulang leg r (kaki kanan)

Pada Gambar 4.7 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 4.8. Node view hubungan rig/tulang *leg l* (kaki kiri)

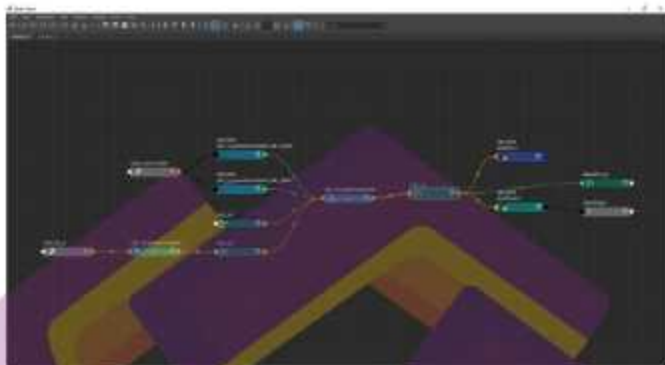
Pada Gambar 4.8 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig/tulang *leg l* (kaki kiri) yang sama seperti alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig/tulang *leg r* (kaki kanan) , yaitu rig/tulang *knee01_l* (lutut kiri) yang berelasi dengan *hip_1* (paha/pinggul kiri) yang memiliki fungsi *inverse kinematics* untuk membentuk rig/tulang *leg l* (kaki kiri) *inverse kinematics*.



Gambar 4.9. Node view hubungan rig/tulang *hand r* (tangan kanan)

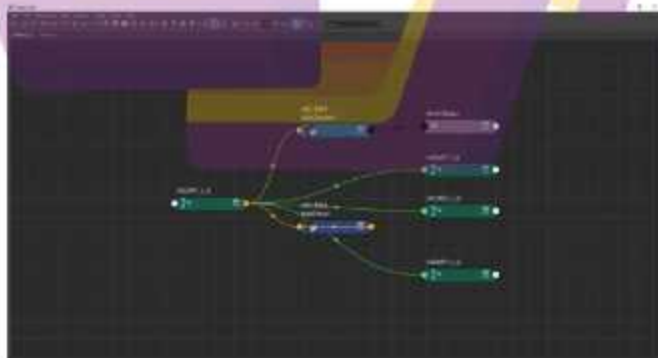
Pada Gambar 4.9 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig/tulang *hand r* (tangan kanan), yaitu rig/tulang *elbow01_r* (siku kanan) yang

berelasi dengan *sldr_r* (bahu kanan) yang memiliki fungsi *inverse kinematics* untuk membentuk *hand r* (tangan kanan) *inverse kinematics*.



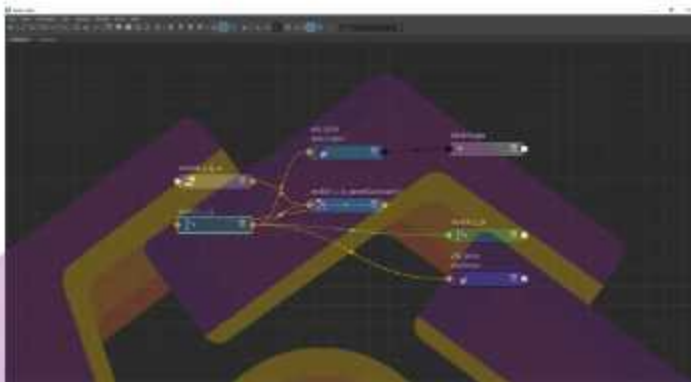
Gambar 4.10. *Node view* hubungan rig/tulang *hand l* (tangan kiri)

Pada Gambar 4.11 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig/tulang *hand l* (tangan kiri) sama seperti rig/tulang *hand r* (tangan kanan), yaitu rig/tulang *elbow01_l* (siku kiri) yang berelasi dengan *sldr_l* (bahu kiri) yang memiliki fungsi *inverse kinematics* untuk membentuk *hand l* (tangan kiri) *inverse kinematics*.



Gambar 4.12. *Node view* hubungan rig/tulang *chest* (dada)

Pada Gambar 4.13 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 4.14. *Node view* hubungan rig/tulang *neck* (leher)

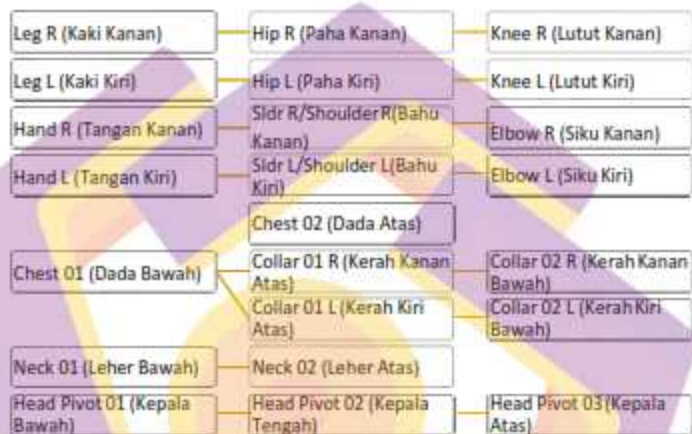
Pada Gambar 4.12 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig/tulang *neck* (leher), yaitu *neck02* (rig leher ke 2) yang berelasi dengan *neck01* (leher utama).



Gambar 4.15. *Node view* hubungan rig/tulang *head* (kepala)

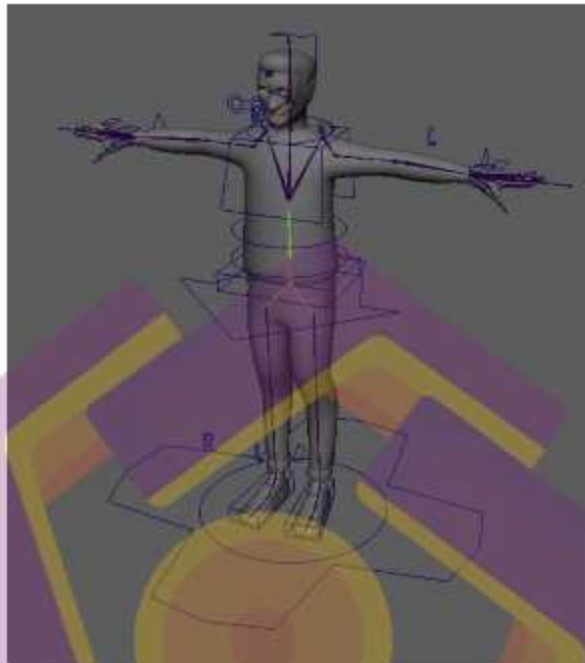
Pada Gambar 4.13 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig/tulang *head* (kepala), yaitu *headpivot02* (rig kepala ke 2) yang berelasi dengan *headpivot01* (rig kepala utama).

Tabel 4.1. 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. Pada tahap ini merupakan kontrol animasi pada Inverse Kinematics, sedangkan forward kinematics terlampirkan. Gambar kontrol animasi pada karakter animasi 3D yang akan digunakan dapat dilihat pada gambar 4.14 di bawah ini.



Gambar 4.16.kontrol karakter animasi 3D

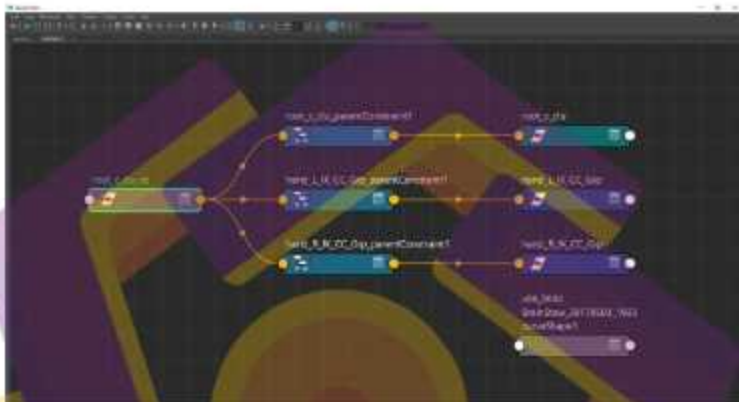
Berdasarkan analisis kontrol karakter animasi 3D tersebut, bagian-bagian pada rig/tulang dikelompokkan dalam beberapa kontrol animasi, yaitu :

- *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)

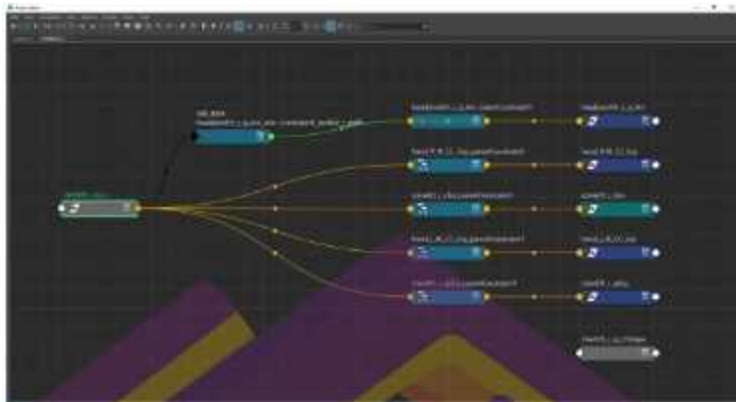
Berdasarkan bagian-bagian pada rig/tulang yang telah dikelompokkan dalam beberapa kontrol animasi, dapat dilihat hubungan antar kontrol karakter animasi 3D pada tabel 4.5 berikut ini.

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 4.18. *Node view* hubungan kontrol animasi *Root* (Kontrol Pinggul)

Pada Gambar 4.16 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_c* (pinggul tengah) yang berelasi dengan kontrol animasi masing – masing bagian dan setiap kontrol animasi berelasi pada kontrol animasi *Root* (kontrol pinggul utama),



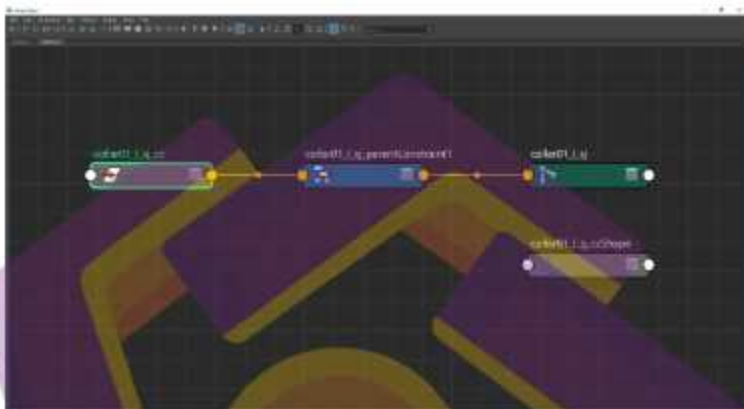
Gambar 4.19. *Node view* hubungan kontrol animasi *Chest01* (Kontrol Dada)

Pada Gambar 4.17 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).



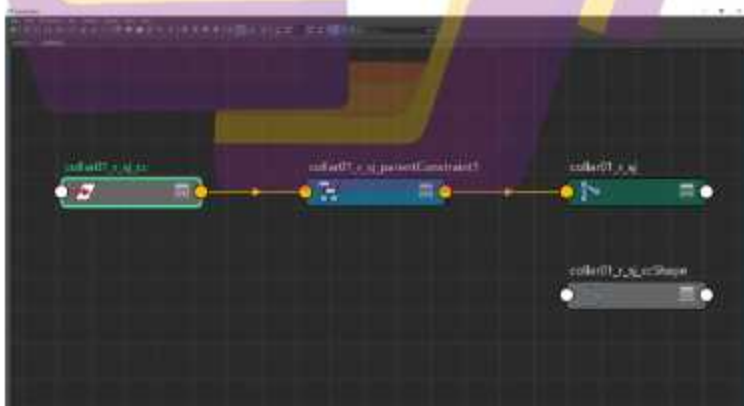
Gambar 4.20. *Node view* hubungan kontrol animasi *Neck01* (Kontrol Leher)

Pada Gambar 4.18 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).



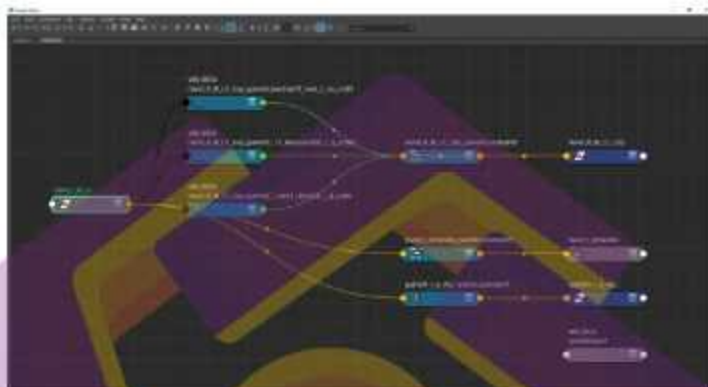
Gambar 4.21. *Node view* hubungan control animasi *Collar01_L* (Kontrol Bahu Kiri)

Pada Gambar 4.19 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).



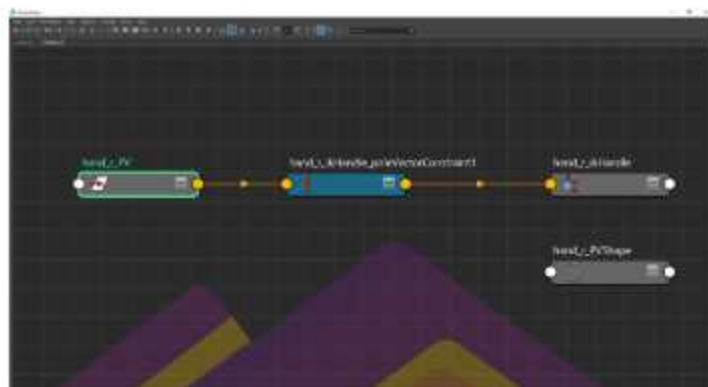
Gambar 4.22. *Node view* hubungan control animasi *Collar01_R* (Kontrol Bahu Kanan)

Pada Gambar 4.20 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 4.23. *Node view* hubungan kontrol animasi *Hand_R_IK* (Kontrol Tangan Kanan Invert Kinematics)

Pada Gambar 4.21 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 kinematics*) 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 4.24. *Node view* hubungan control animasi *Hand_R_PV* (Kontrol Siku Kanan)

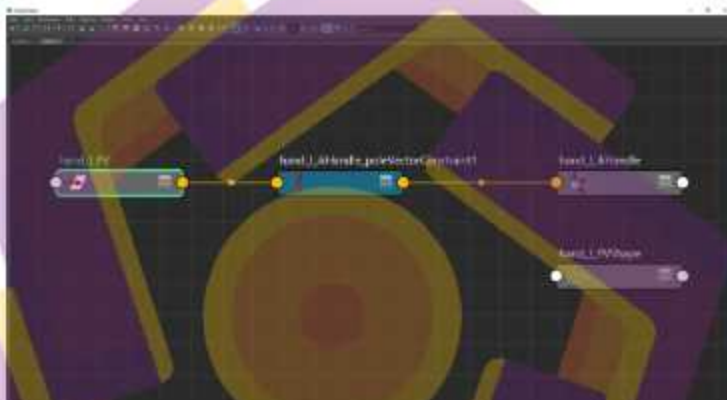
Pada Gambar 4.22 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan kontrol animasi *Hand_R_PV* (Kontrol Siku Kanan), yaitu rig *Hand_R_PV* (Siku Kanan), yang berelasi dengan kontrol animasi *Hand_R_PV* (Kontrol Siku Kanan).



Gambar 4.25. *Node view* hubungan kontrol animasi *Hand_L_IK* (Kontrol Tangan Kiri

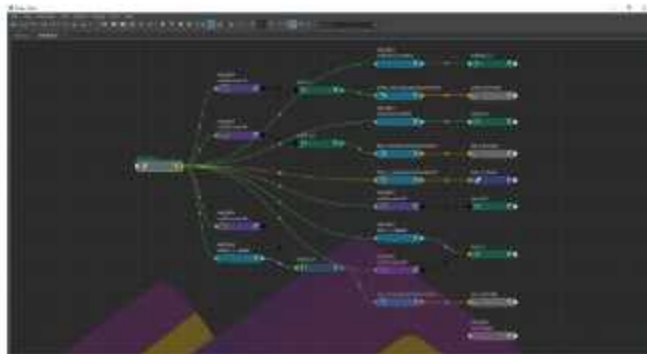
Invert Kinematics)

Pada Gambar 4.23 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 4.26. *Node view* hubungan control animasi *Hand_L_PV* (Kontrol Siku Kiri)

Pada Gambar 4.24 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).



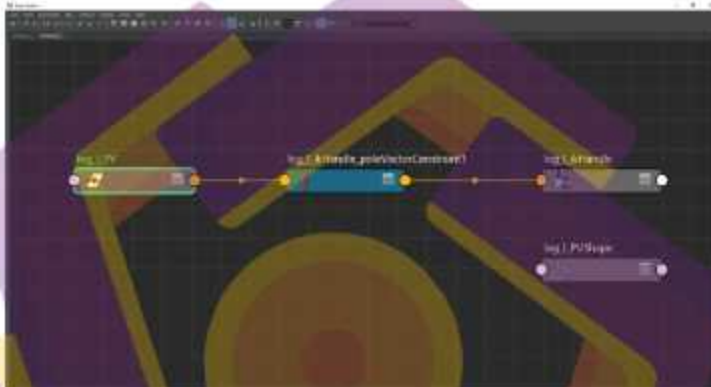
Gambar 4.27. *Node view* hubungan control animasi *Foot_L_IK* (Kontrol Kaki Kiri Invert Kinematics)

Pada Gambar 4.25 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan control animasi *Foot_L_IK* (Kontrol Kaki Kiri Invert Kinematics), yaitu rig *outhank_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).



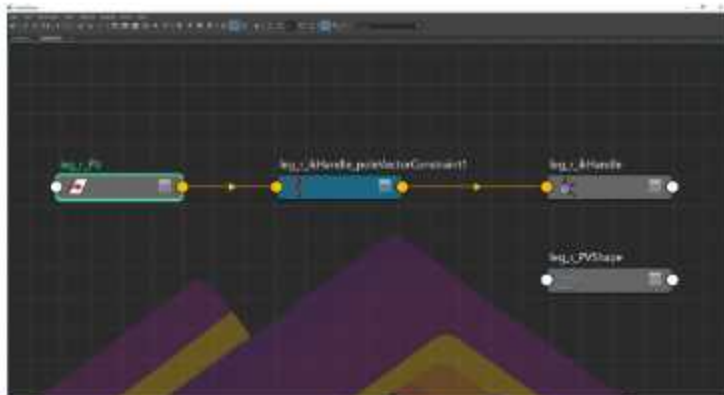
Gambar 4.28. *Node view* hubungan control animasi *Foot_R_IK* (Kontrol Kaki Kanan Invert Kinematics)

Pada Gambar 4.26 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).



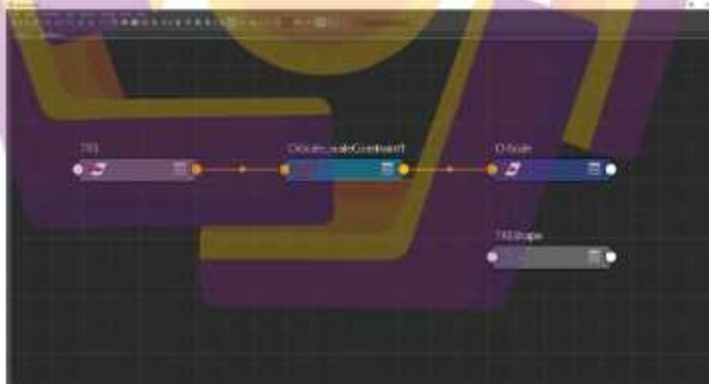
Gambar 4.29. *Node view* hubungan control animasi *Leg_L_PV* (Kontrol Lutut Kiri)

Pada Gambar 4.27 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).



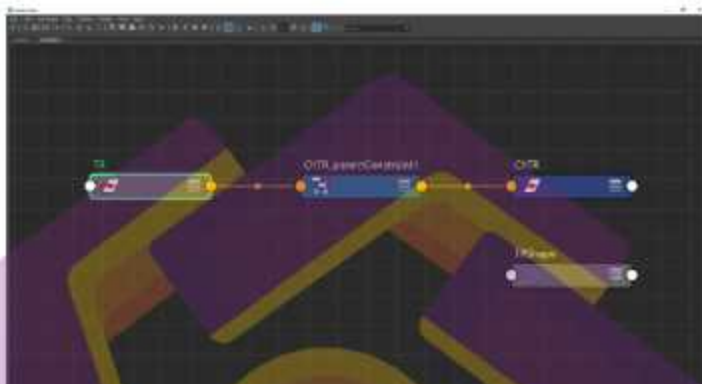
Gambar 4.30. *Node view* hubungan control animasi *Leg_R_PV* (Kontrol Lutut Kanan)

Pada Gambar 4.28 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 berelasi dengan control animasi *Leg_R_PV* (Kontrol Lutut Kanan).



Gambar 4.31. *Node view* hubungan control animasi *TRS* (Kontrol Skala Karakter 3D)

Pada Gambar 4.29 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 diperkecil objek 3D karakter.



Gambar 4.32. *Node view* hubungan control animasi *TR* (Kontrol Posisi Karakter 3D)

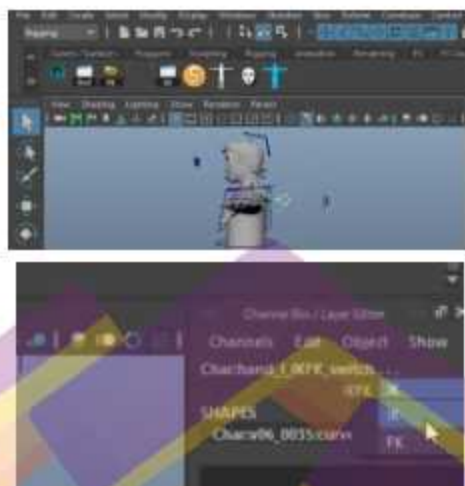
Pada Gambar 4.30 berupa alur *node view* dan *hierarchy* antar hubungan rig dengan kontrol animasi *TR* (Kontrol Posisi Karakter 3D), kontrol animasi ini ialah untuk mengatur perpindahan posisi pada objek 3D karakter.

4.3 Implementasi Gerak

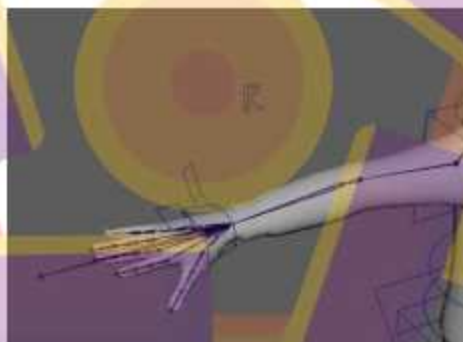
4.3.1 Penerapan Inverse Kinematics pada Walk Cycle

Tahap selanjutnya adalah penerapan pada rigging/tulang animasi 3D menggunakan metode *inverse kinematics* pada software Autodesk Maya. Tahap pertama yaitu mengubah kinematics menjadi Inverse. Pada gambar dicontohkan mengubah teknik Inverse Kinematics pada bagian tangan dan kaki.

Hal ini bertujuan agar gerakan animasi yang dihasilkan dari karakter dapat terlihat seperti gerakan manusia yang sebenarnya dengan mengubah kinematis.



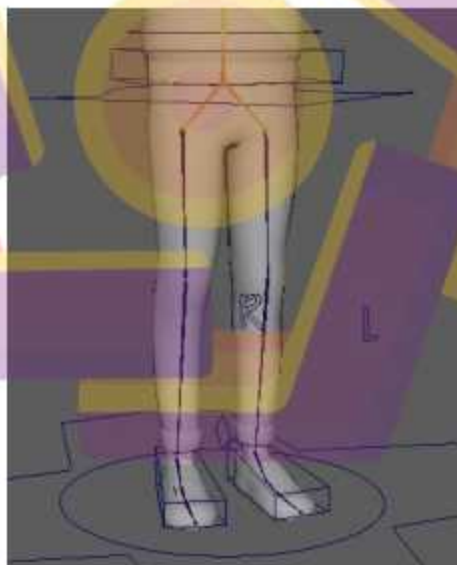
Gambar 4.33. *Setting* teknik *Inverse Kinematics* pada tangan.



Gambar 4.34. *Controller* teknik *Inverse Kinematics* pada tangan.



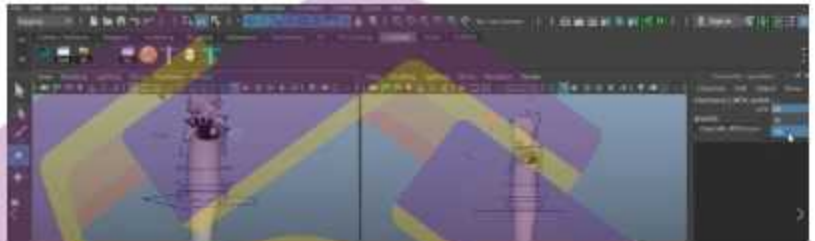
Gambar 4.35. Setting teknik *Inverse Kinematics* pada Kaki



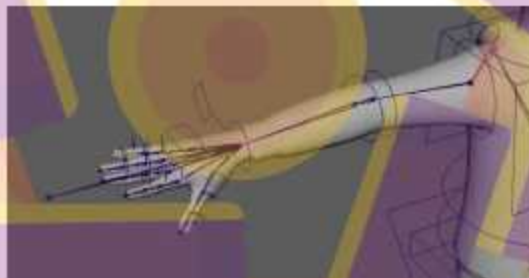
Gambar 4.36. Controller teknik *Inverse Kinematics* pada Kaki

4.3.2 Penerapan Forward Kinematics pada Walk Cycle

Tahap selanjutnya adalah penerapan pada rigging/tulang animasi 3D menggunakan metode *forward kinematics* pada software Autodesk Maya. Tahap pertama yaitu mengubah kinematics menjadi Forward. Pada gambar dicontohkan mengubah teknik Forward Kinematics pada bagian tangan dan kaki.



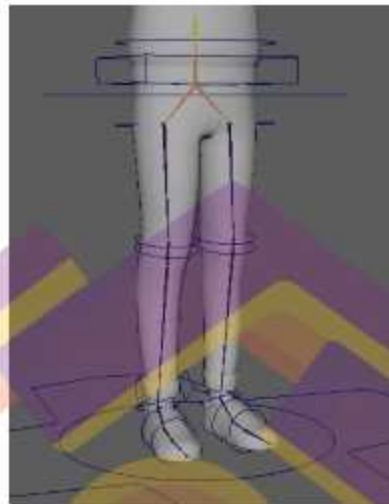
Gambar 4.37. *Setting* teknik *Forward Kinematics* pada tangan.



Gambar 4.38. *Controller* teknik *Forward Kinematics* pada tangan.



Gambar 4.39. *Setting* teknik *Forward Kinematics* pada kaki.



Gambar 4.40. *Controller* teknik *Forward Kinematics* pada Kaki

4.3.3 Pembuatan Gerakan Animasi

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

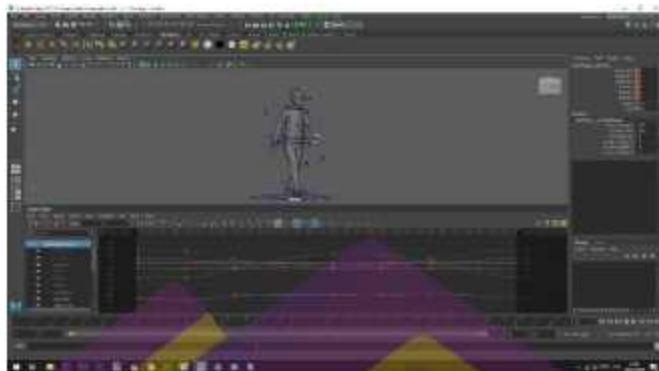
digunakan lebih tinggi yaitu 18-26 fps, otak manusia akan menerima gambar tersebut sebagai gambar bergerak dan mulai sulit untuk membedakan masing-masing gambar sehingga hasil animasi akan terlihat nyata.

Pada penelitian ini, jumlah frame gerakan yang dibuat yaitu sebanyak 24 frame per detiknya (24 FPS). Untuk pengujian gerak animasi dilakukan oleh lima orang animator senior MSV Studio, yang telah berpengalaman menjadi seorang animator selama minimal 10 tahun.

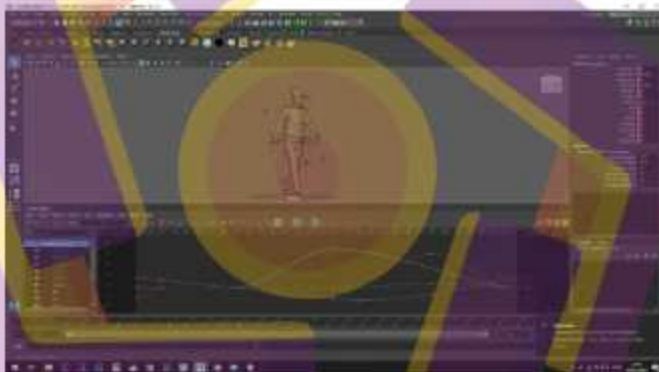
Tahap pertama ialah membuat gerakan keyframe dan selanjutnya adalah menambahkan gerakan sisip (*inbetween*) di antara keyframe-keyframe tersebut agar gerakan terlihat halus. Dalam proses pembuatan gerakan animasi ini menggunakan software Autodesk Maya 2017. Animasi ini akan mulai dikerjakan oleh tim animator yang kemudian akan dilakukan perhitungan setiap waktu yang dibutuhkan dalam pengerjaan masing-masing metode.



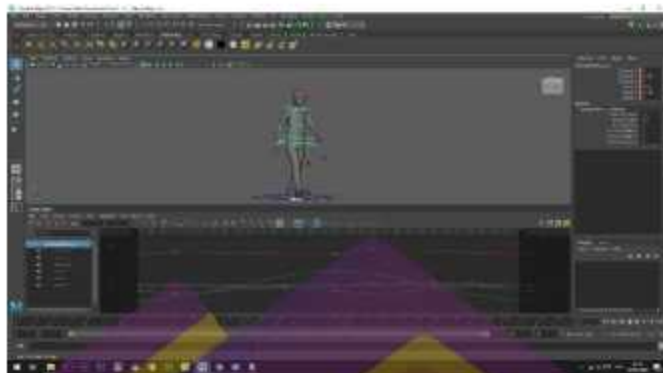
Gambar 4.41. Alur pengujian gerakan animasi 3D



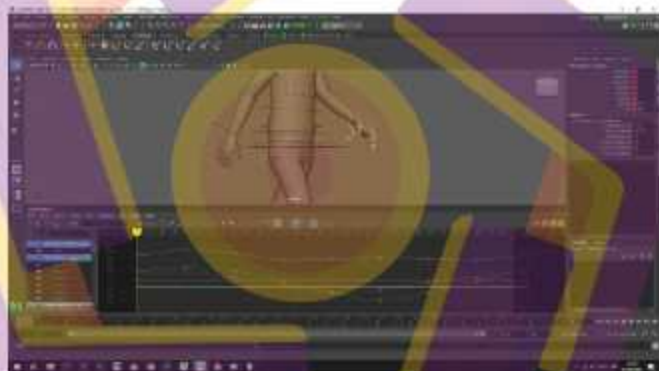
Gambar 4.42. Pose *Keyframe* Karakter 3D Tangan IK



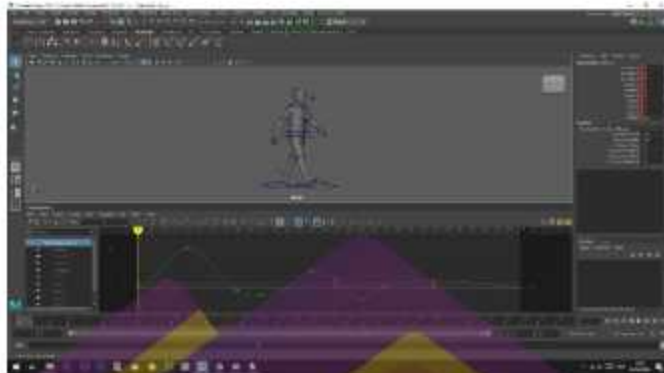
Gambar 4.43. Pose *Keyframe* Karakter 3D kaki IK



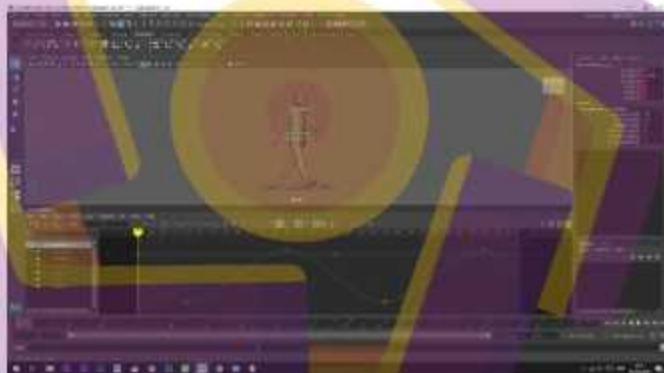
Gambar 4.44.Pose *Keyframe* Karakter 3D Badan IK



Gambar 4.45.Pose *Keyframe* Karakter 3D Tangan FK



Gambar 4.46. Pose *Keyframe* Karakter 3D Kaki FK



Gambar 4.47. Pose *Keyframe* Karakter 3D Badan FK

Animasi 3D gerakan *walk cycle* yang telah selesai dibuat kemudian akan dirender dan diekspor ke dalam bentuk video yang pada penelitian ini menggunakan format video .mp4 untuk nantinya akan dijustifikasi oleh ahli, supervisor animator di MSV Studi untuk hasil akhir animasinya.

4.4 Testing Gerakan Animasi

Pengujian/testing model gerakan dilakukan dengan lima tahap pengujian dari masing-masing metode baik Inverse Kinematics maupun Forward Kinematics, yaitu pengujian pada animasi badan, animasi kaki, animasi tangan, animasi kepala dan finishing gerakan animasi menggunakan prinsip animasi yang terkait. Berikut adalah spesifikasi hardware yang digunakan dalam pengujian ini.

Tabel 4.3. Hardware Pengujian Animasi

No	Perangkat
1	Processor Intel Core i7-2600k
2	Motherboard Intel
3	RAM 16GB dual channel
4	HDD Seagate 1TB
5	VGA GeForce GTX 650 TI

4.5 Skenario Pengujian Kelayakan

Skenario dalam pengujian ini adalah dengan menguji apakah hasil animasi 3D telah memenuhi prinsip-prinsip animasi terutama lima prinsip animasi. Berikut adalah prinsip animasi yang dinilai oleh supervisor pada kelayakan animasi walk cycle.



Gambar 4.48. Penilaian Kelayakan Prinsip Animasi

Selama pengujian berlangsung pengujian masing-masing bagian maka akan selalu di monitoring oleh supervisor sehingga data yang akan dihitung dalam perhitungan waktu pengujian adalah animasi baik yang belum layak hingga animasi yang sudah layak. Layak atau tidaknya animasi tersebut, supervisor memiliki bobot penilaian sebagai berikut:

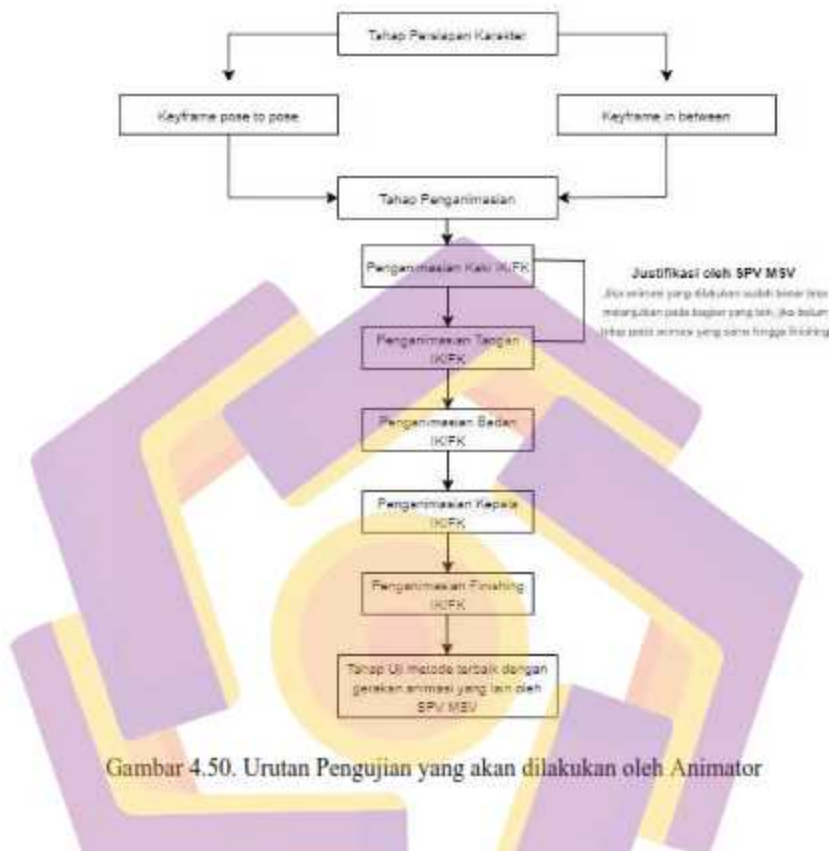
Tabel 4.4. Hardware Pengujian Animasi

Penilaian	Scoring
Sangat Baik	9-10
Baik	7-8
Netral	5-6
Tidak Baik	3-4
Sangat Tidak Baik	0-2

Berikut adalah mekanisme pengujian pada animasi badan, animasi kaki, animasi tangan, animasi kepala dan finishing gerakan animasi yang akan dilakukan oleh animator.



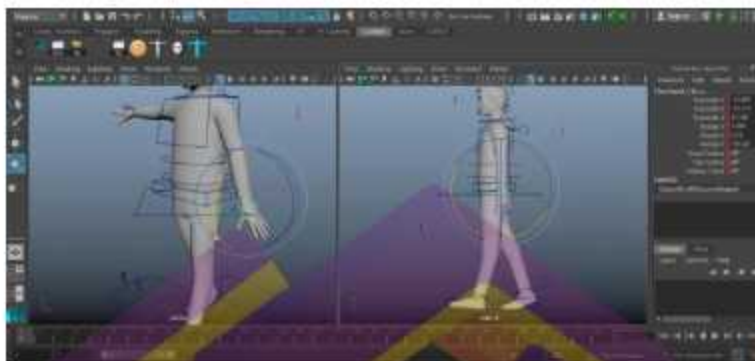
Gambar 4.49. Urutan Pengujian yang akan dilakukan oleh Animator
Berikut adalah skenario pengujian pada animasi badan, animasi kaki, animasi tangan, animasi kepala dan finishing gerakan animasi yang akan dilakukan oleh animator dari tahap persiapan hingga finishing.



Gambar 4.50. Urutan Pengujian yang akan dilakukan oleh Animator



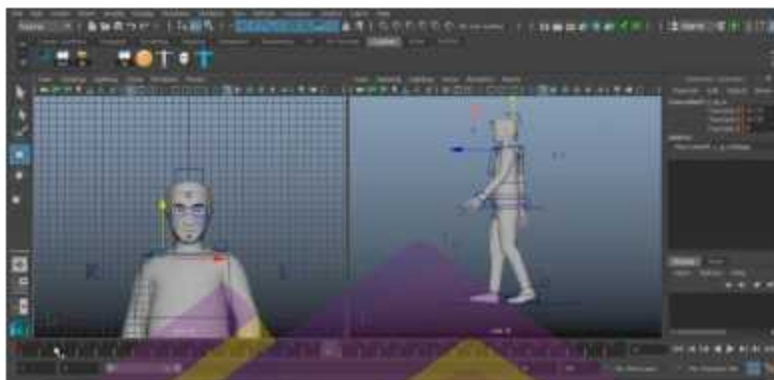
Gambar 4.51. Proses Pengujian Gerakan Animasi Kaki *Inverse Kinematics*



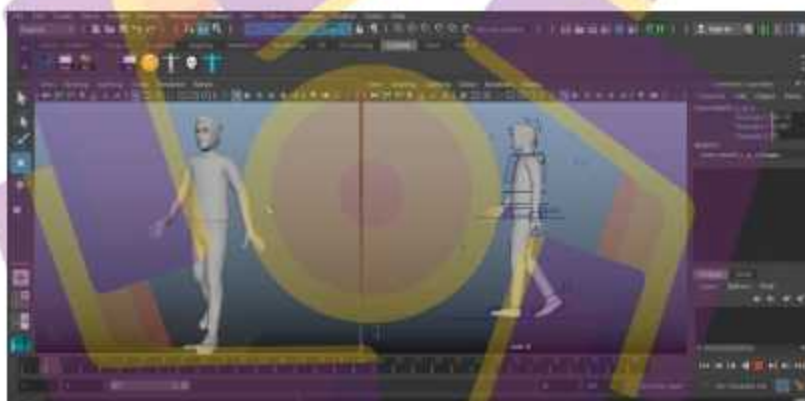
Gambar 4.52. Proses Pengujian Gerakan Animasi Tangan *Inverse Kinematics*



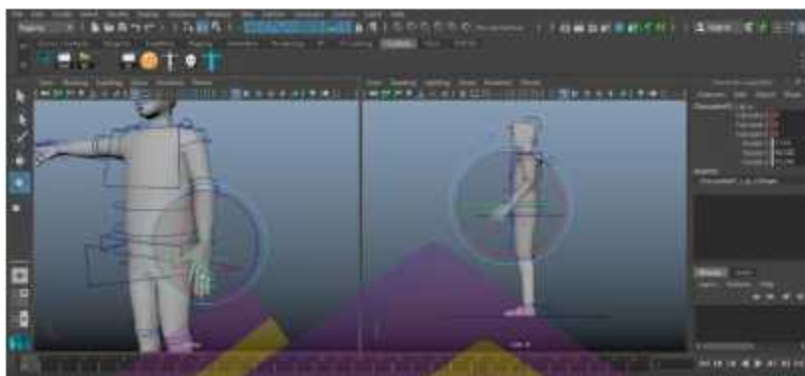
Gambar 4.53. Proses Pengujian Gerakan Animasi Badan *Inverse Kinematics*



Gambar 4.54. Proses Pengujian Gerakan Animasi Kepala *Inverse Kinematics*



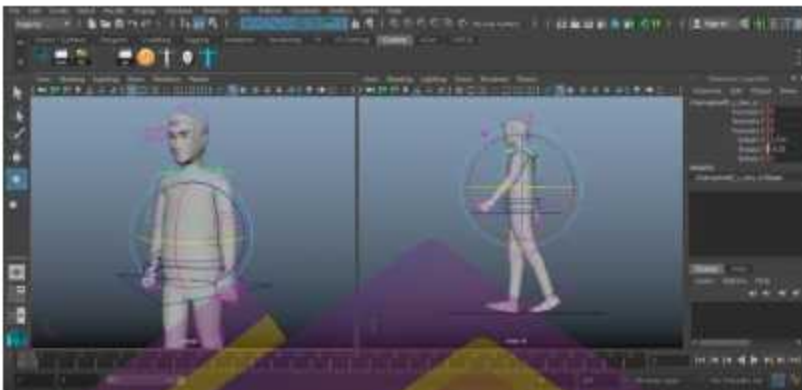
Gambar 4.55. Proses Pengujian Finishing Gerakan *Inverse Kinematics*



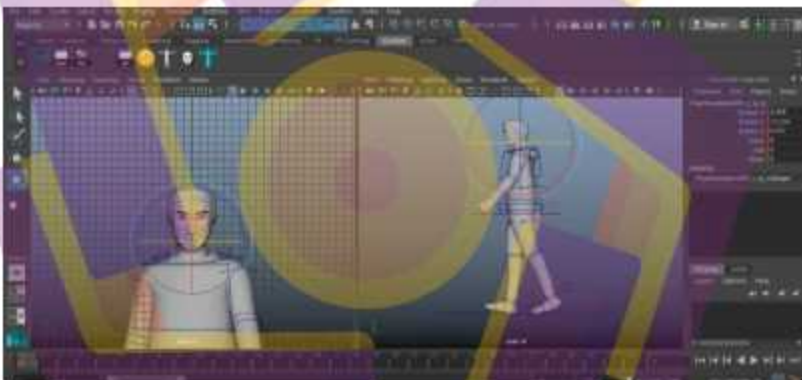
Gambar 4.56. Proses Pengujian Gerakan Animasi Tangan *Forward Kinematics*



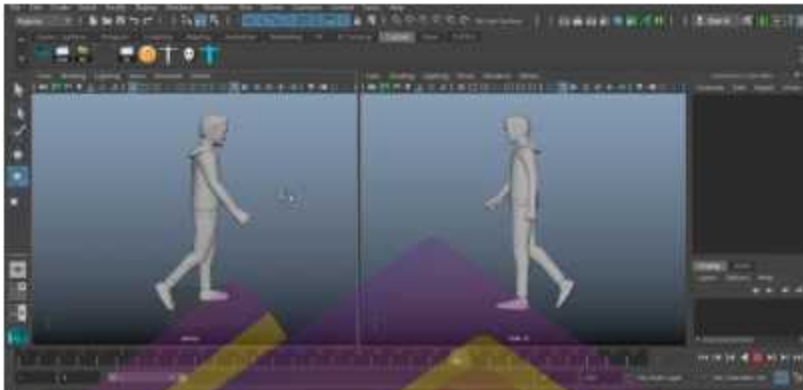
Gambar 4.57. Proses Pengujian Gerakan Animasi Kaki *Forward Kinematics*



Gambar 4.58. Proses Pengujian Gerakan Animasi Badan *Forward Kinematics*



Gambar 4.59. Proses Pengujian Gerakan Animasi Kepala *Forward Kinematics*



Gambar 4.60. Proses Pengujian Gerakan Animasi *Finishing Forward Kinematics*
 Hasil yang didapatkan dari kelima 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 Animator

Setelah perhitungan masing-masing dilakukan, didapatkan hasil yang disajikan dalam bentuk pada tabel dan grafik hasil pengujian gerakan video referensi. Berikut ini adalah hasil dari waktu masing-masing bagian tubuh yang diuji oleh animator dengan kedua metode dalam hitungan menit. Pengujian ini akan dilakukan oleh kelima animator 3D senior pada MSV Studio yaitu:

1. Muhammad Yusuf Anshari
2. Rudi Siwoyo
3. Wahyu Kristanto
4. Fathoni
5. Safaru

Pengujian juga akan di monitoring oleh justifikasi animasi, supervisor 3D Animasi pada MSV Studios, Harifikri.

4.5.1.1 Hasil Uji Animator Pertama

Tampilan dari hasil tabel pengujian animator pertama dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut ini yang kemudian akan dibuat tabel untuk hasil uji yang sudah layak pada tabel 4.6.

Tabel 4.5. Hasil Uji Animator Pertama

Nama Animator : MUHAMMAD YUSUF ANSHARI
Jabatan, Instansi : 3D Animator & Simulation MSVStudio

Uji dalam hitungan waktu (N:Nilai Supervisor)

No	M	Animating Walkcycle	Uji 1		Uji 2		Uji 3		Uji 4		Uji 5		Uji 6		Uji 7		N
			N	Uji	N	Uji	N	Uji	N	Uji	N	Uji	N	Uji			
1	FK	Animasi Body	01.57	8	01.44	7	01.30	5	01.55	5	01.56	8	01.36	7	01.29	7	
		Animasi Kaki	03.10	8	03.45	7	03.20	8	03.33	7	03.20	5	03.36	8			
		Tangan	02.00	8	02.36	9	02.20	8	02.25	7	02.15	8	02.50	8			
		Kepala	01.02	8	01.05	7	01.03	8	01.08	8	01.05	6	01.04	6	01.01	7	
		Finishing	13.15	7	12.49	8	14.50	8	14.13	7	12.40	8					
2	IK	Animasi Body	01.22	8	01.42	7	01.12	9	01.15	8	01.46	8					
		Animasi Kaki	02.44	9	02.22	7	02.05	5	02.12	8	02.43	9	02.54	9			
		Tangan	04.12	7	03.44	9	03.54	7	03.34	8	03.49	6	03.40	5	04.15	8	
		Kepala	01.03	7	01.04	8	01.05	8	01.02	6	01.01	8					
		Finishing	19.34	8	15.50	7	18.39	8	16.42	9	15.21	7					

Tabel 4.6. Hasil Uji Animator Pertama

Nama Animator : MUHAMMAD YUSUF ANSHARI
Jabatan, Instansi : 3D Animator & Simulation MSVStudio

dalam hitungan waktu

No	Metode	Animating Walkcycle	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Uji 4	Uji 5
1	Forward Kinematics (FK)	Animasi Body	01.57	01.44	01.56	01.36	01.29
		Animasi Kaki	03.10	03.45	03.20	03.33	03.36
		Animasi Tangan	02.36	02.20	02.25	02.15	02.50
		Animasi Kepala	01.02	01.05	01.03	01.08	01.01
		Finishing Animasi Walkcycle	13.15	12.49	14.50	14.13	12.40
2	Inverse Kinematics (IK)	Animasi Body	01.22	01.42	01.12	01.15	01.46
		Animasi Kaki	02.44	02.22	02.12	02.43	02.54
		Animasi Tangan	04.12	03.44	03.54	03.34	04.15
		Secondary Action (Animasi Head)	01.03	01.04	01.05	01.02	01.01
		Finishing Animasi Walkcycle	19.34	15.50	18.39	16.42	15.21

4.5.1.2 Hasil Uji Animator Kedua

Tampilan dari hasil tabel pengujian animator pertama dapat dilihat pada tabel 4.7 dan 4.8 dibawah ini

Tabel 4.7. Hasil Uji Animator Kedua

Nama Animator : RUDI SISWOYO

Jabatan, Instansi : 3D Animator MSV Studio

Uji dalam hitungan waktu (N:Nilai Supervisor)

No	M	Animating Walkcycle	Uji 1	N	Uji 2	N	Uji 3	N	Uji 4	N	Uji 5	N	Uji 6	N	Uji 7	N	
1	FK	Animasi Body	03.03	7	03.10	7	03.20	5	03.14	0	03.22	5	03.25	0	03.31	7	
		Animasi Kaki	05.43	8	04.01	7	03.13	7	02.17	8	01.44	7					
		Tangan	04.39	8	05.41	7	05.00	8	05.44	8	06.05	7					
		Kepala	01.57	8	01.18	8	01.45	8	01.20	7	01.05	5	01.20	0	01.30	5	
		Finishing	08.43	7	04.45	8	05.10	9	04.35	7	03.44	8					
2	IK	Animasi Body	11.00	8	04.10	9	03.05	8	03.02	7	02.39	8					
		Animasi Kaki	07.45	9	04.19	8	02.57	8	02.30	7	02.58	0	03.18	9			
		Tangan	10.18	8	05.05	7	04.04	9	04.37	8	04.41	8					
		Kepala	03.03	7	02.06	8	01.21	7	02.03	0	01.22	0	01.04	9	01.09	8	
		Finishing	9.54	9	04.49	8	02.44	7	04.09	8	03.30	7					

Tabel 4.8. Hasil Uji Layak Animator Kedua

Nama Animator : RUDI SISWOYO

Jabatan, Instansi : 3D Animator MSV Studio

dalam hitungan waktu (s)

No	Metode	Animating Walkcycle	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Uji 4	Uji 5
1	Forward Kinematics (FK)	Animasi Body	03.03	03.10	03.31	02.03	02.37
		Animasi Kaki	05.43	04.01	03.13	02.17	01.44
		Animasi Tangan	04.39	05.41	05.00	05.44	06.05
		Animasi Kepala	01.57	01.18	01.45	01.20	01.01
		Finishing Animasi Walkcycle	08.43	04.45	05.10	04.35	03.44
2	Inverse Kinematics (IK)	Animasi Body	11.00	04.10	03.05	03.02	02.39
		Animasi Kaki	07.45	04.19	02.57	02.30	03.18
		Animasi Tangan	10.18	05.05	04.04	04.37	04.41
		Secondary Action (Animasi Head)	03.03	02.06	01.21	01.04	01.09
		Finishing Animasi Walkcycle	9.54	04.49	02.44	04.09	03.30

4.5.1.3 Hasil Uji Animator Ketiga

Tampilan dari hasil tabel gerakan sudut kaki kanan pada video referensi dapat dilihat pada gambar 4.9 dan 4.10 berikut ini.

Tabel 4.9. Hasil Uji Animator Ketiga

Nama Animator : WAHYU KRISTANTO
Jabatan, Instansi : 3D Animator MSVStudio

Uji dalam hitungan waktu (N:Nilai Supervisor)

No	M	Animating Walkcycle	Uji 1	N	Uji 2	N	Uji 3	N	Uji 4	N	Uji 5	N	Uji 6	N	Uji 7	N	
1	FK	Animasi Body	01.45	8	01.55	8	01.25	8	01.38	6	01.20	9	01.23	8	01.30	7	
		Animasi Kaki	11.05	7	10.34	7	10.13	7	10.22	8	09.40	8	10.08	7	11.20	6	
		Tangan	04.39	7	03.43	8	03.21	7	04.06	7	03.17	7					
		Kepala	02.18	7	02.20	5	02.44	6	01.49	7	01.36	8	02.01	9	01.03	8	
		Finishing	08.50	8	09.15	7	08.50	5	08.31	7	08.00	6	07.48	7	08.34	8	
2	IK	Animasi Body	01.20	9	02.00	8	01.50	8	00.53	7	00.55	8	01.01	6	00.49	7	
		Animasi Kaki	03.00	8	03.08	8	02.43	9	02.11	5	03.52	7	04.30	7			
		Tangan	03.00	8	03.03	8	03.21	8	03.57	7	04.03	8	01.03	7			
		Kepala	00.59	8	01.03	8	01.07	7	01.25	7	00.47	9	00.50	6	00.54	9	
		Finishing	08.05	9	04.08	9	05.58	8	05.20	6	06.19	8	04.22	8			

Tabel 4.10. Hasil Uji Animator Ketiga

Nama Animator : WAHYU KRISTANTO
Jabatan, Instansi : 3D Animator MSVStudio

dalam hitungan waktu (s)

No	Metode	Animating Walkcycle	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Uji 4	Uji 5
1	Forward Kinematics (FK)	Animasi Body	01.45	01.25	01.20	01.23	01.30
		Animasi Kaki	10.14	10.13	10.22	09.40	10.08
		Animasi Tangan	04.39	03.43	03.21	04.06	03.17
		Animasi Kepala	02.18	01.49	01.36	02.01	01.03
		Finishing Animasi Walkcycle	08.50	09.15	08.31	07.48	08.34
2	Inverse Kinematics (IK)	Animasi Body	01.20	01.50	00.53	00.55	00.49
		Animasi Kaki	03.00	03.08	02.43	03.52	04.30
		Animasi Tangan	03.03	03.21	03.57	04.03	01.03
		Secondary Action (Animasi Head)	00.59	01.03	01.07	00.47	00.54
		Finishing Animasi Walkcycle	08.05	04.08	05.58	06.19	04.22

4.5.1.4 Hasil Uji Animator Keempat

Tampilan dari hasil tabel pengujian animator pertama dapat dilihat pada tabel 4.11 dan 4.12 berikut ini.

Tabel 4.11. Hasil Uji Animator Keempat

Nama Animator : FATHONI

Jabatan, Instansi : 3D Animator MSV Studio

Uji dalam hitungan waktu (N:Nilai Supervisor)

No	M	Animating Walkcycle	Uji 1	N	Uji 2	N	Uji 3	N	Uji 4	N	Uji 5	N	Uji 6	N	Uji 7	N	
1	FK	Animasi Body	00.22	8	00.30	8	00.31	7	00.33	8	00.27	7					
		Animasi Kaki	05.00	6	05.38	7	05.48	7	04.20	8	03.34	7	02.40	8	03.25	7	
		Tangan	01.51	8	01.59	6	02.06	8	02.15	9	02.04	9	01.54	9			
		Kepala	00.39	8	00.30	8	00.26	8	00.30	9	00.28	9					
		Finishing	02.09	8	02.14	7	03.40	8	03.00	8	01.56	8	01.00	8			
2	IK	Animasi Body	04.10	7	03.11	8	01.45	7	00.58	9	00.37	9	00.46	9			
		Animasi Kaki	02.29	8	02.45	7	02.08	8	02.11	5	02.21	8	01.55	7			
		Tangan	04.31	7	03.25	7	02.25	7	02.11	7	02.09	8					
		Kepala	01.00	5	01.13	5	01.34	8	01.02	8	01.28	8	00.43	7	00.42	8	
		Finishing	07.19	7	03.03	7	02.43	5	02.40	7	02.30	4	01.34	8	00.34	8	

Tabel 4.12. Hasil Uji Animator Keempat

Nama Animator : FATHONI

Jabatan, Instansi : 3D Animator MSV Studio

dalam hitungan waktu (s)

No	Metode	Animating Walkcycle	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Uji 4	Uji 5
1	Forward Kinematics (FK)	Animasi Body	00.22	00.30	00.31	00.33	00.27
		Animasi Kaki	05.38	05.48	03.34	02.40	03.25
		Animasi Tangan	01.51	02.06	02.15	02.04	01.54
		Animasi Kepala	00.39	00.30	00.26	00.30	00.28
		Finishing Animasi Walkcycle	02.09	02.14	03.00	01.56	01.00
2	Inverse Kinematics (IK)	Animasi Body	03.11	01.45	00.58	00.37	00.46
		Animasi Kaki	02.29	02.45	02.08	02.21	01.55
		Animasi Tangan	04.31	03.25	02.25	02.11	02.09
		Secondary Action (Animasi Head)	01.34	01.02	01.28	00.43	00.42
		Finishing Animasi Walkcycle	07.19	03.03	02.40	01.34	00.34

4.5.1.5 Hasil Uji Animator Kelima

Tampilan dari hasil tabel pengujian animator pertama dapat dilihat pada tabel 4.13 dan 4.14 berikut ini.

Tabel 4.13. Hasil Uji Animator Kelima

Nama Animator : SAFARU
 Jabatan, Instansi : 3D Animator MSV Studio

Uji dalam hitungan waktu (N:Nilai Supervisor)

No	M	Animating Walkcycle	Uji 1	N	Uji 2	N	Uji 3	N	Uji 4	N	Uji 5	N	Uji 6	N	Uji 7	N
1	FK	Animasi Body	00.48	8	00.42	7	00.37	7	00.37	5	00.41	8	00.52	6	00.25	8
		Animasi Kaki	04.25	7	04.48	7	03.14	8	03.12	5	02.42	8	04.20	4	03.25	7
		Tangan	02.11	8	02.26	8	02.15	7	02.45	4	02.04	7	01.24	8		
		Kepala	01.39	7	01.36	8	00.26	8	00.15	5	00.38	9	00.26	5	00.28	8
		Finishing	02.09	7	02.18	7	02.00	8	02.00	6	02.48	6	01.43	9	01.02	8
72	IK	Animasi Body	04.11	7	01.42	8	00.48	8	01.00	5	01.21	4	00.35	9	00.46	7
		Animasi Kaki	02.38	9	02.21	8	02.40	8	02.28	8	02.19	5	02.21	7	01.48	7
		Tangan	04.11	8	03.11	7	02.15	7	02.10	5	02.18	8	02.05	7		
		Kepala	01.24	7	01.02	8	01.18	7	00.52	5	00.43	7	00.39	8		
		Finishing	05.19	8	03.02	9	02.26	9	01.18	6	01.34	9	00.58	8		

Tabel 4.14. Hasil Uji Animator Kelima

Nama Animator : SAFARU
 Jabatan, Instansi : 3D Animator MSV Studio

dalam hitungan waktu (s)

No	Metode	Animating Walkcycle	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Uji 4	Uji 5
1	Forward Kinematics (FK)	Animasi Body	00.48	00.42	00.37	00.41	00.25
		Animasi Kaki	04.25	04.48	03.14	02.42	03.25
		Animasi Tangan	02.11	02.26	02.15	02.04	01.24
		Animasi Kepala	01.39	01.36	00.26	00.38	00.28
		Finishing Animasi Walkcycle	02.09	02.18	02.00	01.43	01.02
2	Inverse Kinematics (IK)	Animasi Body	04.11	01.42	00.48	00.35	00.46
		Animasi Kaki	02.38	02.21	02.28	02.21	01.48
		Animasi Tangan	04.11	03.11	02.15	02.18	02.05
		Secondary Action (Animasi Head)	01.24	01.02	01.18	00.43	00.39
		Finishing Animasi Walkcycle	05.19	03.02	02.26	01.34	00.58

4.5.2 Pengujian Pada Gerakan Animasi 3D Yang Menerapkan Forward Kinematics

Setelah pengukuran waktu masing-masing pengujian oleh animator dilakukan, kemudian didapatkan hasil yang disajikan dalam bentuk tabel hasil pengujian gerakan animasi 3D menggunakan waktu perdetik (s), untuk masing-masing bagian animasi dan rata-ratanya.

4.5.2.1 Hasil Pengujian pada Animasi Badan dengan Teknik Forward

Kinematics

Tampilan dari hasil tabel pengujian seluruh animator dengan lima kali uji pada pengujian masing-masing dapat dilihat pada tabel 4.9 berikut ini.

Tabel 4.15. Hasil Pengujian Kelima Animator Animasi Badan

Pengujian pada Animasi Badan *Forward Kinematics*

dalam hitungan waktu (s)

No		Uji 1	Uji 2	Uji 3	Uji 4	Uji 5	Rata-rata
1	Animator 1	117	104	116	96	89	104,4
2	Animator 2	183	190	201	123	157	172
3	Animator 3	105	83	80	83	90	88,6
4	Animator 4	22	36	31	33	27	29,8
5	Animator 5	48	42	37	41	25	38,6
Rata-rata Pengujian Badan <i>Forward Kinematics</i>							86,68

Berdasarkan tabel hasil pada gambar 4.15 di atas, gerakan animasi walk cycle pada animasi bagian badan menggunakan Forward Kinematics dari lima hasil uji mendapatkan rata-rata waktu pengerjaan 86,68 detik atau 1 menit 4 detik.

4.5.2.2 Hasil Pengujian pada Animasi Kaki dengan Teknik Forward

Kinematics

Tampilan dari hasil tabel pengujian seluruh animator dengan lima kali uji pada pengujian masing-masing dapat dilihat pada tabel 4.16 berikut ini.

Tabel 4.16. Hasil Pengujian Kelima Animator Animasi Kaki

Pengujian pada Animasi Kaki *Forward Kinematics*

dalam hitungan waktu (s)

No		Uji 1	Uji 2	Uji 3	Uji 4	Uji 5	Rata-rata Masing Uji
1	Animator 1	190	225	200	213	216	208,8
2	Animator 2	343	241	193	137	104	203,6
3	Animator 3	614	613	622	580	608	607,4
4	Animator 4	358	348	214	164	205	257,8
5	Animator 5	263	288	194	162	205	222,8
Rata-rata Pengujian Kaki <i>Forward Kinematics</i>							300,08

Berdasarkan tabel hasil pada gambar 4.16 di atas, gerakan animasi walk cycle pada animasi bagian badan menggunakan Forward Kinematics dari lima hasil uji mendapatkan rata-rata waktu pengerjaan 300.08 detik atau rata-rata pengerjaan adalah 5 menit dikarenakan lebih banyaknya controller yang dikerjakan daripada animasi pada badan.

4.5.2.3 Hasil Pengujian pada Animasi Tangan dengan Teknik Forward Kinematics

Tampilan dari hasil tabel pengujian seluruh animator dengan lima kali uji pada pengujian masing-masing dapat dilihat pada tabel 4.17 berikut ini.

Tabel 4.17. Hasil Pengujian Kelima Animator Animasi Tangan

Pengujian pada Animasi Tangan Forward Kinematics dalam hitungan waktu (s)

No		Uji 1	Uji 2	Uji 3	Uji 4	Uji 5	Rata-rata Masing Uji
1	Animator 1	156	140	145	135	170	149,2
2	Animator 2	299	341	306	344	305	331
3	Animator 3	279	223	201	246	197	229,2
4	Animator 4	111	128	135	124	114	122
5	Animator 5	131	146	135	124	84	124
Rata-rata Pengujian Kaki Forward Kinematics							191,08

4.5.2.4 Hasil Pengujian pada Animasi Kepala dengan Teknik Forward

Kinematics

Tampilan dari hasil tabel pengujian seluruh animator dengan lima kali uji pada pengujian kepala masing-masing dapat dilihat pada tabel 4.18 berikut ini

Tabel 4.18. Hasil Pengujian Kelima Animator Animasi Kepala

Pengujian pada Animasi Kepala Forward Kinematics
dalam hitungan waktu (s)

No		Uji 1	Uji 2	Uji 3	Uji 4	Uji 5	Rata-rata Masing Uji
1	Animator 1	62	65	63	68	61	63,8
2	Animator 2	117	78	105	80	61	89,4
3	Animator 3	138	109	96	121	63	105,4
4	Animator 4	39	36	26	36	28	33
5	Animator 5	99	90	26	38	28	57,4
Rata-rata Pengujian Kaki Forward Kinematics							69,8

Berdasarkan tabel hasil pada gambar 4.18 di atas, gerakan animasi walk cycle pada animasi bagian tangan menggunakan Forward Kinematics dari lima hasil uji mendapatkan rata-rata waktu pengerjaan 69,8 detik atau rata-rata pengerjaan adalah 1 menit 16 detik. Dari kelima pengujian, waktu yang digunakan dari pengujian pertama hingga terakhir mengalami pada masing-masing animator peningkatan kecepatan dan jarak waktu pengerjaan antar animator tidak cukup banyak.

4.5.2.5 Hasil Pengujian pada Animasi Finishing dengan Teknik Forward Kinematics

Tampilan dari hasil tabel pengujian seluruh animator dengan lima kali uji pada pengujian masing-masing dapat dilihat pada tabel 4.19 berikut ini.

Tabel 4.19. Hasil Pengujian Kelima Animator Animasi Finishing

Pengujian pada Animasi Finishing Forward Kinematics
dalam hitungan waktu (s)

No		Uji 1	Uji 2	Uji 3	Uji 4	Uji 5	Rata-rata Masing Uji
1	Animator 1	798	769	890	853	700	814
2	Animator 2	523	285	316	275	224	324,6
3	Animator 3	530	555	511	468	514	515,6
4	Animator 4	129	134	180	116	66	125
5	Animator 5	129	138	120	103	62	110,4
Rata-rata Pengujian Kaki Forward Kinematics							377,92

Berdasarkan tabel hasil pada gambar 4.19 di atas, gerakan animasi walk cycle pada animasi bagian finishing menggunakan Forward Kinematics dari lima hasil uji mendapatkan rata-rata waktu pengerjaan 377,92 detik atau rata-rata pengerjaan adalah 6 menit 30 detik.

4.5.3 Pengujian Pada Gerakan Animasi 3D Yang Menerapkan Inverse Kinematics

Setelah pengukuran waktu masing-masing pengujian dengan metode Forward Kinematics oleh animator, untuk menghasilkan tingkat efektif pada animasi walk cycle, maka dilakukan juga pengujian dengan metode Inverse Kinematics oleh animator kemudian didapatkan hasil yang disajikan dalam bentuk tabel hasil pengujian gerakan animasi 3D menggunakan waktu perdetik (s), untuk masing-masing bagian animasi dan rata-ratanya.

4.5.3.1 Hasil Pengujian pada Animasi Badan dengan Teknik Inverse Kinematics

Tampilan dari hasil tabel pengujian seluruh animator dengan lima kali uji pada pengujian masing-masing dapat dilihat pada tabel 4.20 berikut ini.

Tabel 4.20. Hasil Pengujian Kelima Animator Animasi Badan

Pengujian pada Animasi Badan Inverse Kinematics
dalam hitungan waktu (s)

No		Uji 1	Uji 2	Uji 3	Uji 4	Uji 5	Rata-rata
1	Animator 1	82	102	72	75	104	87
2	Animator 2	600	250	185	182	159	289,6
3	Animator 3	80	110	53	55	49	69,4
4	Animator 4	191	105	58	37	40	87,4
5	Animator 5	251	102	48	35	40	96,4

Rata-rata Pengujian Badan Inverse Kinematics

125,96

Berdasarkan tabel hasil pada gambar 4.20 di atas, gerakan animasi walk cycle pada animasi bagian badan menggunakan Inverse Kinematics dari lima hasil uji mendapatkan rata-rata waktu pengerjaan 125,96 detik atau 2 menit 1 detik.

4.5.3.2 Hasil Pengujian pada Animasi Kaki dengan Teknik Inverse Kinematics

Tampilan dari hasil tabel pengujian seluruh animator dengan lima kali uji pada pengujian masing-masing dapat dilihat pada tabel 4.21 berikut ini.

Tabel 4.21. Hasil Pengujian Kelima Animator Animasi Kaki

Pengujian pada Animasi Kaki Inverse Kinematics
dalam hitungan waktu (s)

No		Uji 1	Uji 2	Uji 3	Uji 4	Uji 5	Rata-rata Masing Uji
1	Animator 1	164	144	132	103	174	155,4
2	Animator 2	405	259	177	156	198	251
3	Animator 3	186	188	163	232	270	207,8
4	Animator 4	149	165	128	141	115	139,6
5	Animator 5	159	141	148	141	108	139,4
Rata-rata Pengujian Kaki Inverse Kinematics							178,64

Berdasarkan tabel hasil pada gambar 4.21 di atas, gerakan animasi walk cycle pada animasi bagian badan menggunakan Inverse Kinematics dari lima hasil uji mendapatkan rata-rata waktu pengerjaan 178,64 detik atau rata-rata pengerjaan adalah 2,9 menit dikarenakan lebih banyaknya controller yang dikerjakan daripada animasi pada badan.

4.5.3.3 Hasil Pengujian pada Animasi Tangan dengan Teknik Forward

Kinematics

Tampilan dari hasil tabel pengujian seluruh animator dengan lima kali uji pada pengujian masing-masing dapat dilihat pada tabel 4.22 berikut ini.

Tabel 4.22. Hasil Pengujian Kelima Animator Animasi Tangan

Pengujian pada Animasi Tangan Inverse Kinematics
dalam hitungan waktu (s)

No		Uji 1	Uji 2	Uji 3	Uji 4	Uji 5	Rata-rata Masing Uji
1	Animator 1	222	224	233	214	255	235,6
2	Animator 2	618	305	244	277	281	345
3	Animator 3	183	201	237	243	63	185,4
4	Animator 4	271	205	145	131	129	176,2
5	Animator 5	251	191	135	138	125	168
Rata-rata Pengujian Kaki Inverse Kinematics							222,04

Berdasarkan tabel hasil pada gambar 4.22 di atas, gerakan animasi walk cycle pada animasi bagian tangan menggunakan Inverse Kinematics dari lima hasil uji mendapatkan rata-rata waktu pengerjaan 222.04 detik atau rata-rata pengerjaan adalah 3 menit 42 detik.

4.5.3.4 Hasil Pengujian pada Animasi Kepala dengan Teknik Inverse

Kinematics

Tampilan dari hasil tabel pengujian seluruh animator dengan lima kali uji pada pengujian kepala masing-masing dapat dilihat pada tabel 4.17 berikut ini

Tabel 4.23. Hasil Pengujian Kelima Animator Animasi Kepala

Pengujian pada Animasi Kepala *Inverse Kinematics* dalam hitungan waktu (s)

No		Uji 1	Uji 2	Uji 3	Uji 4	Uji 5	Rata-rata Masing Uji
1	Animator 1	63	64	65	62	61	63
2	Animator 2	183	126	81	64	69	104,6
3	Animator 3	39	63	67	47	34	58
4	Animator 4	94	62	88	43	42	65,8
5	Animator 5	24	62	78	43	39	49,2
Rata-rata Pengujian Kaki <i>Inverse Kinematics</i>							68,12

Berdasarkan tabel hasil pada gambar 4.23 di atas, gerakan animasi walk cycle pada animasi bagian tangan menggunakan *Inverse Kinematics* dari lima hasil uji mendapatkan rata-rata waktu pengerjaan 68,12 detik atau rata-rata pengerjaan adalah 1 menit 8 detik. Dari kelima pengujian, waktu yang digunakan dari pengujian pertama hingga terakhir mengalami peningkatan kecepatan pada masing-masing animator dan jarak waktu pengerjaan antar animator tidak cukup banyak.

4.5.3.5 Hasil Pengujian pada Animasi Finishing dengan Teknik *Inverse Kinematics*

Tampilan dari hasil tabel pengujian seluruh animator dengan lima kali uji pada pengujian masing-masing dapat dilihat pada tabel 4.24 berikut ini.

Tabel 4.24. Hasil Pengujian Kelima Animator Animasi Finishing

Pengujian pada Animasi Finishing *Inverse Kinematics* dalam hitungan waktu (s)

No		Uji 1	Uji 2	Uji 3	Uji 4	Uji 5	Rata-rata Masing Uji
1	Animator 1	1174	950	1119	1002	921	1033,2
2	Animator 2	594	289	164	249	216	302,4
3	Animator 3	485	248	338	379	262	346,4
4	Animator 4	439	183	166	194	34	203,2
5	Animator 5	319	182	148	94	58	160,2
Rata-rata Pengujian Kaki <i>Inverse Kinematics</i>							409,08

Berdasarkan tabel 4.24 di atas, gerakan animasi *walk cycle* pada animasi bagian finishing menggunakan Forward Kinematics dari lima hasil uji mendapatkan rata-rata waktu pengerjaan 409,08detik atau rata-rata pengerjaan adalah 6 menit 49 detik.

4.5.4 Perbandingan Pengujian Metode Forward Kinematics dan Inverse Kinematics

Berdasarkan hasil dari pengujian waktu pada gerakan animasi 3D *walk cycle* dari kelima animator, didapatkan hasil yang berbeda pada masing-masing penerapan animasi pada bagian badan, tangan, kaki, kepala dan finishing.

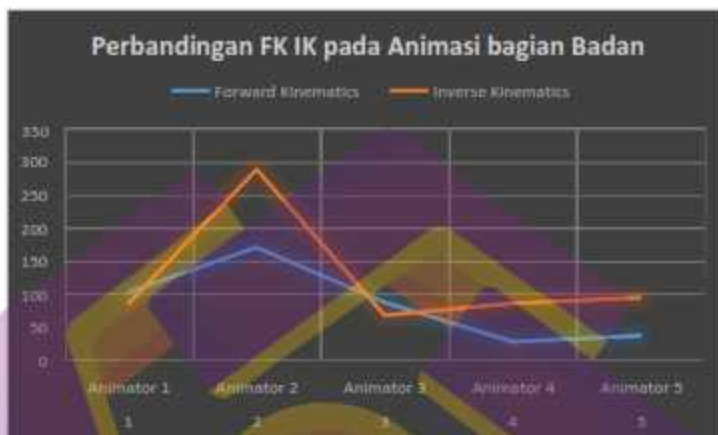
4.5.4.1 Perbandingan Forward Kinematics dan Inverse Kinematics pada bagian Animasi Badan

Tampilan dari hasil tabel pengujian seluruh animator dengan lima kali uji pada pengujian masing-masing dapat dilihat pada tabel 4.25 berikut ini.

Tabel 4.25. Perbandingan Pengujian Kelima Animator FK IK pada Badan

Rata rata IK dan FK			
No		Forward Kinematics	Inverse Kinematics
1	Animator 1	104,4	87
2	Animator 2	172	289,6
3	Animator 3	88,6	69,4
4	Animator 4	29,8	87,4
5	Animator 5	38,6	96,4
	Rata-rata	86,68	125,96

Grafik perbandingan forward kinematics dan inverse kinematics pada bagian animasi badan dapat dilihat pada gambar 4.59 berikut.



Gambar 4.61. Grafik perbandingan metode Forward dan Inverse Kinematics pada animasi bagian badan

Berdasarkan hasil pada tabel 4.19 dan gambar grafik 4.61 diatas yang dihasilkan dari pengerjaan animasi badan, waktu yang digunakan dalam penganimasian dari uji pertama hingga terakhir keduanya mengalami peningkatan kecepatan pengerjaan, akan tetapi waktu yang dibutuhkan pada Forward Kinematics untuk animasi badan lebih cepat. Hal tersebut ditunjukkan pada table dan grafik dimana dalam Forward Kinematics rata-rata waktu pengerjaan adalah 86.68s, sedangkan pada Inverse Kinematics waktu yang ditempuh dalam pengerjaan animasi badan adalah 125.96s. Selisih waktu dalam pengerjaan metode Forward Kinematics dan Inverse Kinematics dalam penganimasian walk cycle bagian badan adalah 39,28s.

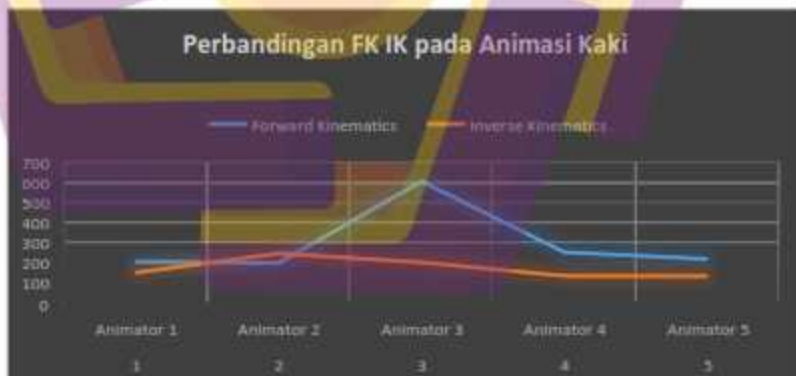
4.5.4.2 Perbandingan Forward Kinematics dan Inverse Kinematics pada bagian Animasi Kaki

Tampilan dari hasil tabel pengujian seluruh animator dengan lima kali uji pada pengujian masing-masing dapat dilihat pada tabel 4.26 berikut ini.

Tabel 4.26. Perbandingan Pengujian Kelima Animator FK IK pada Badan

Rata rata IK dan FK			
No		Forward Kinematics	Inverse Kinematics
1	Animator 1	208,8	155,4
2	Animator 2	203,6	251
3	Animator 3	607,4	207,8
4	Animator 4	257,8	139,6
5	Animator 5	222,8	139,4
Rata-rata		300,08	178,64

Grafik perbandingan forward kinematics dan inverse kinematics pada bagian animasi kaki dapat dilihat pada gambar 4.60 berikut.



Gambar 4.62. Grafik perbandingan metode Forward dan Inverse Kinematics pada animasi bagian kaki

Berdasarkan hasil pada tabel 4.26 dan gambar grafik 4.60 diatas yang dihasilkan dari pengerjaan animasi kaki, waktu yang digunakan dengan teknik Inverse Kinematics pada tiap animator tidak mengalami perubahan yang signifikan seperti teknik Forward Kinematics. Hal tersebut ditunjukkan pada table dan grafik dimana dalam Forward Kinematics rata-rata waktu pengerjaan adalah 300,08s, sedangkan pada Inverse Kinematics waktu yang ditempuh dalam pengerjaan animasi badan adalah 178,64s. Selisih waktu dalam pengerjaan metode Forward Kinematics dan Inverse Kinematics dalam penganimasian walk cycle bagian badan adalah 121,44s.

4.5.4.3 Perbandingan Forward Kinematics dan Inverse Kinematics pada bagian Animasi Tangan

Tampilan dari hasil tabel pengujian seluruh animator dengan lima kali uji pada pengujian masing-masing dapat dilihat pada tabel 4.27 berikut ini.

Tabel 4.27. Perbandingan Pengujian Kelima Animator FK IK pada Tangan

Rata rata IK dan FK			
No		Forward Kinematics	Inverse Kinematics
1	Animator 1	149,2	235,6
2	Animator 2	331	345
3	Animator 3	229,2	185,4
4	Animator 4	122	176,2
5	Animator 5	124	168
	Rata-rata	191,08	222,04

Grafik perbandingan forward kinematics dan inverse kinematics pada bagian animasi tangan dapat dilihat pada gambar 4.61 berikut.



Gambar 4.63. Grafik perbandingan metode Forward dan Inverse Kinematics pada animasi bagian tangan

Berdasarkan hasil pada table 4.27 dan gambar grafik 4.61 diatas yang dihasilkan dari pengerjaan animasi tangan,waktu yang digunakan kedua teknik tidak mengalami perbedaan yang signifikan. Akan tetapi pada animasi bagian tangan grafik menunjukkan bahwa Forward Kinematics lebih cepat. Hal tersebut ditunjukkan pada table dan grafik dimana dalam Forward Kinematics rata-rata waktu pengerjaan adalah 191,08s, sedangkan pada Inverse Kinematics waktu yang ditempuh dalam pengerjaan animasi badan adalah 222,04s. Selisih-waktu dalam pengerjaan metode Forward Kinematics dan Inverse Kinematics dalam penganimasian walk cycle bagian badan adalah 30,96s.

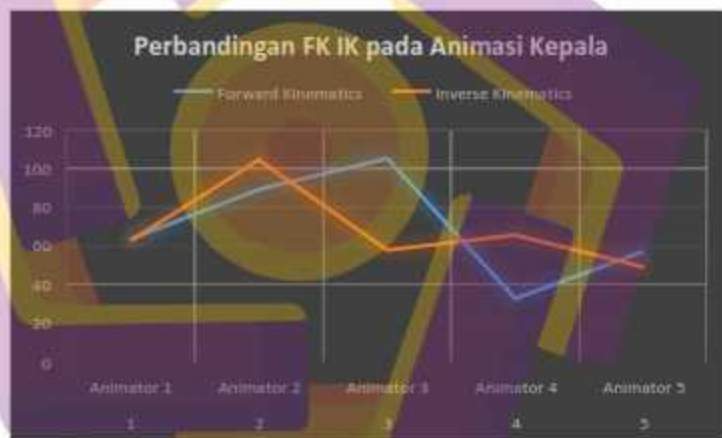
4.5.4.4 Perbandingan Forward Kinematics dan Inverse Kinematics pada bagian Animasi Kepala

Tampilan dari hasil tabel pengujian seluruh animator dengan lima kali uji pada pengujian masing-masing dapat dilihat pada tabel 4.28 berikut ini.

Tabel 4.28. Perbandingan Pengujian Kelima Animator FK IK pada Kepala

Rata rata IK dan FK			
No		Forward Kinematics	Inverse Kinematics
1	Animator 1	63,8	63
2	Animator 2	89,4	104,6
3	Animator 3	105,4	58
4	Animator 4	33	65,8
5	Animator 5	57,4	49,2
	Rata-rata	69,8	68,12

Grafik perbandingan forward kinematics dan inverse kinematics pada bagian animasi kepala dapat dilihat pada gambar 4.62 berikut.



Gambar 4.64. Grafik perbandingan metode Forward dan Inverse Kinematics pada animasi bagian tangan

Berdasarkan hasil pada table 4.28 dan gambar grafik 4.62 diatas yang dihasilkan dari pengerjaan animasi kepala, selisih waktu yang digunakan kedua teknik semakin kecil. Akan tetapi pada animasi bagian tangan grafik menunjukkan

bahwa Forward Kinematics lebih cepat sedikit. Hal tersebut ditunjukkan pada table dan grafik dimana dalam Forward Kinematics rata-rata waktu pengerjaan adalah 69,8s, sedangkan pada Inverse Kinematics waktu yang ditempuh dalam pengerjaan animasi badan adalah 68,12s. Selisih waktu dalam pengerjaan metode Forward Kinematics dan Inverse Kinematics dalam penganimasian walk cycle bagian kepala hanya 1,68s.

4.5.4.5 Perbandingan Forward Kinematics dan Inverse Kinematics pada bagian Finishing Animasi

Tampilan dari hasil tabel pengujian seluruh animator dengan lima kali uji pada pengujian masing-masing dapat dilihat pada tabel 4.29 berikut ini.

Tabel 4.29. Perbandingan Pengujian Kelima Animator FK IK pada Finishing Animasi

Rata rata IK dan FK

No		Forward Kinematics	Inverse Kinematics
1	Animator 1	814	1033,2
2	Animator 2	324,6	302,4
3	Animator 3	515,6	346,4
4	Animator 4	125	203,2
5	Animator 5	110,4	160,2
	Rata-rata	377,92	409,08

Grafik perbandingan forward kinematics dan inverse kinematics pada bagian animasi kepala dapat dilihat pada gambar 4.63 berikut.



Gambar 4.65. Grafik perbandingan metode Forward dan Inverse Kinematics pada animasi bagian Finishing Animasi

Berdasarkan hasil pada table 4.29 dan gambar grafik 4.63 diatas yang dihasilkan dari pengerjaan finishing animasi walk cycle, grafik menunjukkan bahwa Forward Kinematics lebih cepat. Hal tersebut ditunjukkan pada table dan grafik dimana dalam Forward Kinematics rata-rata waktu pengerjaan adalah 377,92s, sedangkan pada Inverse Kinematics waktu yang ditempuh dalam pengerjaan animasi badan adalah 409,08s.

Nilai selisih masing-masing teknik Forward Kinematics dan Inverse Kinematics pada konteks ini merupakan selisih perbedaan waktu pembuatan animasi walk cycle tiap bagian yang dinilai akan lebih efektif. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan persentase dari tingkat waktu animasi 3D, yaitu sebagai berikut:

a. Persentase Waktu Anlmasi Badan

$$\text{Persentase} = \frac{\text{selisih waktu pengerjaan}}{\sum \text{Total waktu pengerjaan}} \times 100$$

$$= \frac{39.28}{86.68} \times 100 = 31, 18 \%$$

b. Persentase Waktu Anmasi Kaki

$$\text{Persentase} = \frac{\text{selisih waktu pengerjaan}}{\Sigma \text{ Total waktu pengerjaan}} \times 100$$

$$= \frac{121.44}{300.08} \times 100 = 40, 46 \%$$

c. Persentase Waktu Anmasi Tangan

$$\text{Persentase} = \frac{\text{selisih waktu pengerjaan}}{\Sigma \text{ Total waktu pengerjaan}} \times 100$$

$$= \frac{30.96}{222.04} \times 100 = 13, 94 \%$$

d. Persentase Waktu Anmasi Kepala

$$\text{Persentase} = \frac{\text{selisih waktu pengerjaan}}{\Sigma \text{ Total waktu pengerjaan}} \times 100$$

$$= \frac{1.68}{69.8} \times 100 = 2, 40 \%$$

e. Persentase Waktu Finishing Anmasi

$$\text{Persentase} = \frac{\text{selisih waktu pengerjaan}}{\Sigma \text{ Total waktu pengerjaan}} \times 100$$

$$= \frac{31.16}{409.08} \times 100 = 7, 61 \%$$

4.5.5 Analisis Hasil

Berdasarkan hasil pengukuran/pengujian sudut dari masing-masing bagian tubuh, waktu yang digunakan dalam membuat walk cycle sangat beragam tergantung kepada controller dan gerakan pada bagian tubuh tersebut. sudut yang

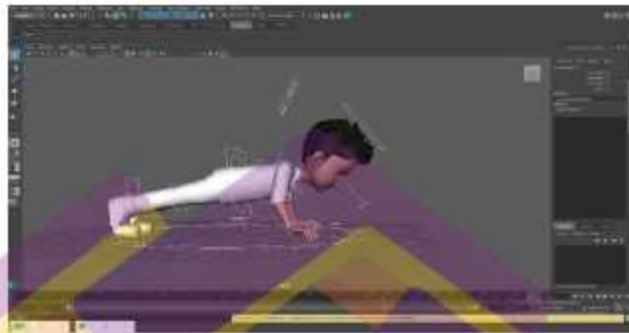
dihasilkan setiap sendi pada animasi 3 dimensi yang dibuat belum bisa sesuai dengan gerakan manusia secara nyata. Gerakan yang dihasilkan pada animasi 3D menghasilkan gerakan walk cycle yang sedikit berbeda dengan yang ada pada referensi, hal ini dikarenakan pada tahap pengujian gerak animasi menggunakan metode *pose to pose*, yang membuat jarak antar keyframe berbeda-beda ditiap *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 40%, dengan selisih rata-rata waktu pengujian animator dua menit dengan metode forward kinematics. Dengan metode ini, maka animasi kaki akan lebih cepat dilakukan, akan tetapi pada bagian tangan akan sedikit lebih lama jika menggunakan metode *inverse kinematics* dengan akurasi sekitar 13.94% dengan selisih waktu sekitar 30 detik.

Supervisor pada pengujian gerak animasi 3D ini juga memberikan komentar pada 2 teknik yang diujikan, yaitu pengujian kelima bagian tubuh dengan teknik Inverse Kinematics dan Forward Kinematics begitu banyak masalah yang menyebabkan cukup lama pengerjaan di masing-masing bagian tubuh seperti bagian tangan dengan metode Forward Kinematics 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 Inverse Kinematics.

Rule yang didapatkan dengan walkcycle jika Inverse Kinematics akan lebih cepat dan tepat saat digunakan jika objek tersebut mengunci dengan objek lain. Hal

ini tidak hanya untuk Walkcycle akan tetapi juga hal yang lain seperti yang diujikan oleh Supervisor MSV sebagai justifikasi sebagai berikut:



Gambar 4.66. Pengujian metode dengan gerakan lain oleh SPV MSV Pada animasi push up diuji cobakan Forward Kinematics untuk kaki dan tangan yang menempel pada lantai. Hasil dari metode forward kinematics akan tidak maksimal dikarenakan bagian tangan dan kaki tidak mengunci pada lantai, sehingga animasi akan terlihat mengapung.

Berbeda dengan Inverse Kinematics, objek tersebut akan push up dengan hasil yang lebih layak dikarenakan mengunci pada lantai, sehingga tangan dan kaki yang bergerak keatas dan kebawah dengan metode ini akan konsisten dan menempel dengan lantai.



Gambar 4.67. Pengujian metode dengan gerakan lain oleh SPV MSV Hasil pengujian pada penelitian ini menunjukkan bahwa dengan metode *inverse kinematics*, animasi 3 dimensi yang dibuat lebih cepat pengerjaannya pada jika diterapkan pada bagian kaki dan bagian kepala dibandingkan pada bagian tangan, badan dan finishing jika dilakukan pengujian pada gerak walk cycle. Hal ini dapat diartikan bahwa pembuatan animasi menggunakan metode *inverse kinematic* dapat menghasilkan animasi 3 dimensi yang dinilai layak pada bagian-bagian tertentu saja. Sedangkan Foward Kinematics akan lebih cepat dan tepat digunakan untuk bagian lain seperti bagian tangan, badan dan finishing. Hal tersebut sudah diujikan ke 2 jenis gerakan, walkcycle dan push up.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh saudara Ahmad Zaïd Rahman juga demikian, dimana 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 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 dikarenakan gerak

tangan yang menjadi terbatas dan kesulitan ketika melakukan pergerakan pada karakter animasi 3D yang akan digerakkan.

Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Rifai Ahmad Musthofa penelitian tersebut menunjukkan bahwa dengan metode forward kinematics, animasi 3 dimensi yang dibuat dapat memiliki akurasi cukup tinggi jika diterapkan pada bagian kaki dibandingkan bagian tangan. Akan tetapi, pada forward kinematics selisih tingkat akurasi bagian tangan lebih tinggi dibanding dengan Inverse Kinematics.

Hal ini dapat diartikan bahwa pembuatan animasi menggunakan metode forward kinematics dan Inverse Kinematics dapat dilakukan dengan catatan akan lebih efektif dimana metode tersebut akan lebih cepat dan lebih tepat digunakan pada tangan atau objek yang tidak mengunci dengan objek lainnya, sedangkan metode Inverse Kinematics akan lebih cepat dan tepat jika digunakan pada kaki atau objek yang mengharuskan mengunci dengan objek yang lain pada gerakan walkcycle dan jump kicks.

BAB V

PENUTUP

Bab penutup ini membahas kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian "Analisis Efektivitas Penerapan Metode Inverse Kinematics dan Forward Kinematics untuk Pemodelan Pergerakan pada Karakter Animasi 3D" beserta saran untuk pengembangan dan penelitian selanjutnya.

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan pada tesis ini, kesimpulan yang dapat diambil yaitu tingkat keefektifitasan waktu dalam gerakan animasi 3D karakter manusia menggunakan metode inverse kinematics yang dibandingkan dengan forward Kinematics yaitu sebesar 31,18% pada gerak animasi badan, 40,46% pada gerak animasi kaki, 13,94% pada gerak animasi tangan 2,04% pada gerak animasi kepala dan 7,61% untuk finishing gerakan walk cycle. Sehingga dapat disimpulkan penggunaan metode inverse kinematics dapat diterapkan pada pembuatan animasi 3D gerakan manusia dengan waktu pengerjaan yang lebih cepat pada bagian tubuh tertentu seperti kaki dan kepala. Gerakan animasi 3D manusia yang dibuat menggunakan metode Forward Kinematics akan lebih direkomendasikan untuk diterapkan pada bagian tangan, badan hingga finishing pada gerak walk cycle dikarenakan gerak kaki pada walk cycle akan terkunci dan lebih mudah digunakan dengan metode Inverse Kinematics sehingga waktu pengerjannya akan lebih cepat. Rule pada metode ini juga dapat digunakan untuk cycle lain seperti yang telah diujikan yaitu push up.

5.2.Saran

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

1. Model gerakan tidak hanya terbatas pada gerakan walk cycle, tetapi juga berbagai gerakan karakter manusia lainnya.
2. Pembuatan gerakan animasi dapat dikembangkan dengan menggunakan metode lainnyaseperti 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, Tjitjih, 2018, *Sistem Organ Manusia*, Deepublish, Yogyakarta
- Robert, Steve, 2013, *Character Animation: 2D Skills for Better 3D*, Taylor & Francis, London
- Santoso, Bambi Gunawan, 2013, *Nganimasi Bersama Mas Bel!*, PT Elex Media Komputindo, Jakarta
- Thomas, Frank dan Ollie Johnston, 1981, *The Illusion of Life: Disney Animation*, Walt Disney Production, New York
- Luis Bermudez, 2017, *Inverse Kinematics*, former Product Manager at The Walt Disney Company, San Francisco
- P., Fictor Ferdinand; Ariebowo, Moekti, 2009, *Praktis Belajar Biologi 2*, Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta
- Sujadi, 2003. *Metodologi Penelitian Pendidikan*. Jakarta. Rineka cipta

PUSTAKA MAJALAH, JURNAL ILMIAH ATAU PROSIDING

- Famukhit, Muga Linggar, 2016, *Simulasi Gerak Kepiting Menggunakan Metode Inverse Kinematics*, *Journal Sentra Penelitian Engineering dan Edukasi (Speed)* Vol.8 No.2
- Agung Dwi Saputro, M. Suyanto, Sukoco, 2018, *Simulasi Gerak Ular Menggunakan Metode Inverse Kinematics* *Jurnal Informasi Interaktif* Vol.3 No.2
- 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.

Duits, Roel & Egges, Arjan & van der Stappen, A. Frank. (2015). A closed-form solution for human finger positioning. 10.1145/2822013.2822041.

Liao, G. (2012). Creative animation design for inverse kinematics motions of shadowgraphs shadow puppets in Taiwan. In *DS 73-2 Proceedings of the 2nd International conference on Design Creativity Volume 2* (pp. 185-192)

PUSTAKA LAPORAN PENELITIAN

Ge, Kang Teresa, 2000, Solving Inverse Kinematics Constraint Problems for Highly Articulated Models, Thesis, Master of Mathematics in Computer Science, University of Waterloo, Canada

Pangesti, Annisa Rahayu, 2019, Analisis Penerapan Metode Inverse Kinematics Untuk Pemodelan Gerakan Karakter Manusia Pada Animasi 2 Dimensi , Tesis, S2 Teknik Informatika, Universitas AMIKOM, Yogyakarta

Syalabi, Lalu Agam Pramadaya, 2018, Analisis Fitur Pengembangan 'Quick Rig' Pada Autodesk Maya, Tesis, S2 Teknik Informatika, Universitas AMIKOM, Yogyakarta

Aryanto Yuniawan, 2014, Perancangan Alat Rigging Karakter Otomatis Pada Autodesk Maya Studi Kasus : Pt Mataram Surya Visi (Msv), Program Pasca Sarjana UNIVERSITAS AMIKOM Yogyakarta