

TESIS

**IMPLEMENTASI RIGID BODY PADA RIGGING TERHADAP ANIMASI
DINAMIS TIGA DIMENSI**



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

2018

TESIS

**IMPLEMENTASI RIGID BODY PADA RIGGING TERHADAP ANIMASI
DINAMIS TIGA DIMENSI**

**RIGID BODY IMPLEMENTATION ON RIGGING TO THREE
DIMENSIONAL DYNAMIC ANIMATION**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh derajat Magister



Disusun oleh:

Nama : Salam Aryanto
NIM : 16.51.0833
Konsentrasi : Teknologi Media Digital

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

2018

HALAMAN PENGESAHAN

IMPLEMENTASI RIGID BODY PADA RIGGING TERHADAP ANIMASI DINAMIS TIGA DIMENSI

RIGID BODY IMPLEMENTATION ON RIGGING TO THREE DIMENSIONAL DYNAMIC ANIMATION

Dipetsiapkan dan Disusun oleh

Salam Aryanto

16.51.0833

Telah Dibacakan dan Dipertahankan dalam Sidang Ujian Teses
Program Studi S2 Teknik Informatika
Program Pascasarjana Universitas AMIKOM Yogyakarta
pada hari Kamis, 5 April 2018

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

Yogyakarta, 5 April 2018

Rektor



Prof. Dr. M. Suvanto, M.M.

NIK. 190302001

HALAMAN PERSETUJUAN

IMPLEMENTASI RIGID BODY PADA RIGGING TERHADAP ANIMASI DINAMIS TIGA DIMENSI

RIGID BODY IMPLEMENTATION ON RIGGING TO THREE DIMENSIONAL DYNAMIC ANIMATION

Dipersiapkan dan Disusun oleh

Salam Aryanto


16.51.0833

Telah Ditujikan dan Dipertahankan dalam Sidang Ujian Tesis
Program Studi S2 Teknik Informatika
Program Pascasarjana Universitas AMIKOM Yogyakarta
pada hari Kamis, 5 April 2018

Pembimbing Utama


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


Anggota Tim Penguji


Prof. Dr. Bambang Soedjono WA,
NIK. 555126

Pembimbing Pendamping


Amir Fatah Sofyan, S.T., M.Kom.
NIK. 190302047


Dr. Kusriani, M.Kom.
NIK. 190302106


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

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

Yogyakarta, 5 April 2018

Direktur Program Pascasarjana


Dr. Kusriani, M.Kom.
NIK. 190302106

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertandatangan di bawah ini,

Nama mahasiswa : Salam Aryanto
NIM : 16.51.0833
Konsentrasi : Teknologi Media Digital

Menyatakan bahwa Tesis dengan judul berikut:

Implementasi *Rigid Body* Pada *Rigging* Terhadap Animasi Dinamis Tiga Dimensi

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

Dosen Pembimbing Pendamping : Amir Fatah Sofyan, S.T., 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 April 2018

Yang Menyatakan,



Salam Aryanto

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah kupersembahkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan kesempatan untuk menyelesaikan tesis dengan segala kekuranganku. Segala syukur ku ucapkan kepadaMu karena telah menghadirkan mereka yang selalu memberi semangat dan do'a disaat kutertatih. KarenaMu lah mereka ada, dan karenaMu lah tesis ini terselesaikan.

Kepada Bapak dan Ibu tersayang tesis ini kupersembahkan. Tiada kata yang bisa menggantikan segala sayang, usaha, dan semangat, yang telah dicurahkan untuk penyelesaian tesis putra sulungnya ini. Untuk adikku yang tercinta, terima kasih untuk dukungannya. Tesis ini kakak persembahkan untuk jadi motivasi dan pengingat semangatmu. Luluslah lebih cepat dan lebih baik dari kakakmu ini.

Kepada Bapak dan Ibu Dosen pembimbing, penguji dan pengajar saya ucapkan terima kasih atas bimbingannya, yang selama ini telah tulus dan ikhlas meluangkan waktunya untuk menuntun dan mengarahkan saya, memberikan bimbingan dan pelajaran yang tiada ternilai harganya, agar saya menjadi lebih baik.

Untuk Sri Martini, yang singgah dihatiku dan sangat jarang berjumpa, terima kasih untuk semuanya yang pernah tercurah untukku. Untuk seseorang di relung hati percayalah bahwa hanya ada satu namamu yang selalu kusebut-sebut dalam benih-benih doaku, semoga keyakinan dan takdir ini terwujud, InsyaAllah jodohnya kita bertemu atas ridho dan izin Allah S.W.T.

Serta kepada seluruh keluarga besarku, sahabat dan teman seperjuangan yang tak mungkin disebutkan satu persatu, terima kasih atas motivasinya selama ini.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala karunia dan ridho-NYA, sehingga tesis dengan judul “Implementasi *Rigid Body* Pada *Rigging* Terhadap Animasi Dinamis Tiga Dimensi” ini dapat diselesaikan. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister dalam bidang keahlian Teknik Informatika pada program studi Teknik Informatika Universitas Amikom Yogyakarta.

Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada :

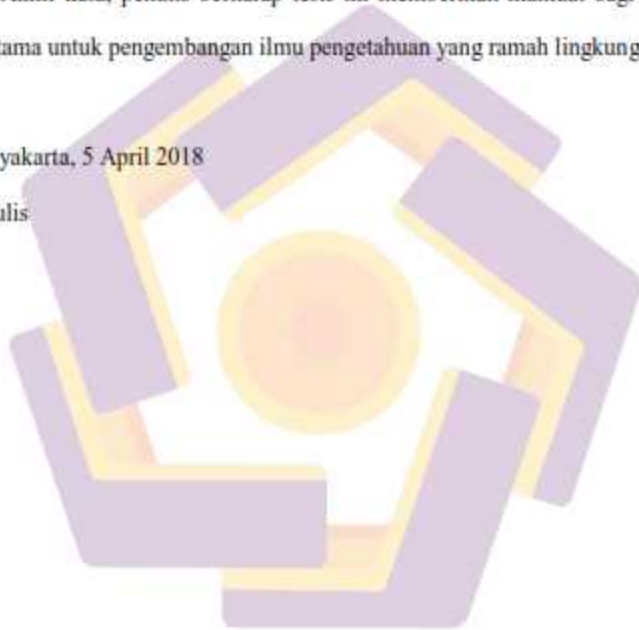
1. Kepada Bapak Maryanto dan Ibu Suparmi. Terimakasih atas segala do'a, kepercayaan kepada penulis.
2. Bapak Prof. Dr. M. Suyanto, M.M. Selaku Rektor Universitas Amikom Yogyakarta.
3. Ibu Prof. Dr. Ema Utami, S. Si., M. Kom. atas bimbingan, arahan dan waktu yang telah diluangkan kepada penulis untuk berdiskusi selama menjadi dosen pembimbing dan perkuliahan.
4. Bapak Amir Fatah Sofyan, S.T., M. Kom. yang telah memberikan masukan dan saran pada saat seminar proposal dan seminar hasil tesis.
5. Direktur Program Pascasarjana dan Ketua Program Studi S2 Teknik Informatika. Ibu Dr. Kusriani, M.Kom.
6. Seluruh Dosen program Pascasarja Teknik Informatika yang telah memberikan arahan dan bimbingan untuk mendalami ilmu Informatika.

Dengan keterbatasan pengalaman, ilmu maupun pustaka yang ditinjau, penulis menyadari bahwa tesis ini masih banyak kekurangan dan pengembangan lanjut agar benar benar bermanfaat. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran agar tesis ini lebih sempurna serta sebagai masukan bagi penulis untuk penelitian dan penulisan karya ilmiah di masa yang akan datang.

Akhir kata, penulis berharap tesis ini memberikan manfaat bagi kita semua terutama untuk pengembangan ilmu pengetahuan yang ramah lingkungan.

Yogyakarta, 5 April 2018

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
INTISARI.....	xviii
<i>ABSTRACT</i>	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Tinjauan Pustaka.....	7
2.2. Keaslian Penelitian.....	11
2.3. Landasan Teori.....	15

BAB III METODE PENELITIAN.....	18
3.1. Jenis, Sifat, dan Pendekatan Penelitian.....	18
3.2. Metode Pengumpulan Data.....	18
3.3. Metode Analisis Data.....	19
3.4. Alur Penelitian.....	19
3.5. Visual Olah Animasi.....	24
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1. Replication.....	26
4.1.1 <i>Rigging</i> Kendali Roda Depan.....	28
4.1.2 <i>Rigging</i> Kendali Roda Belakang.....	30
4.1.3 <i>Rigging</i> Badan Kendaraan.....	30
4.2. Randomization.....	31
4.2.1 <i>Rigid Body</i> Kendali Roda Depan.....	31
4.2.2 <i>Rigid Body</i> Kendali Roda Belakang.....	32
4.2.3 <i>Rigid Body</i> Badan Kendaraan.....	34
4.3. Blocking.....	36
4.3.1 Skenario jalan Bergelombang.....	37
4.3.2 Skenario Tanjakan dan Turunan.....	44
4.3.3 Skenario Bidang Miring.....	47
4.3.4 Skenario Ramp to Ramp.....	50
4.3.5 Skenario Menabrak Dinding.....	53
4.4. Validation.....	56
4.5. Perbandingan Hasil Percobaan Tumbukan.....	72

4.5.1 Skenario jalan Bergelombang.....	74
4.5.2 Skenario Tanjakan dan Turunan	76
4.5.3 Skenario Bidang Miring.....	78
4.5.4 Skenario Ramp to Ramp	81
4.5.5 Skenario Menabrak Dinding.....	83
BAB V PENUTUP.....	89
5.1. Kesimpulan	89
5.2. Saran	90
DAFTAR PUSTAKA	91



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Matriks Literatur Review Dan Posisi Penelitian Implementasi <i>Rigid Body</i> Pada <i>Rigging</i> Terhadap Animasi Dinamis Model Kendaraan Tiga Dimensi.....	11
Tabel 4.1 Sebelum Implementasi Rigid Body	74
Tabel 4.2 Sesudah Implementasi Rigid Body	75
Tabel 4.3 Sebelum Implementasi Rigid Body	76
Tabel 4.4 Sesudah Implementasi Rigid Body	77
Tabel 4.5 Sebelum Implementasi Rigid Body	79
Tabel 4.6 Sesudah Implementasi Rigid Body	80
Tabel 4.7 Sebelum Implementasi Rigid Body	81
Tabel 4.8 Sesudah Implementasi Rigid Body	82
Tabel 4.9 Sebelum Implementasi Rigid Body	83
Tabel 4.10 Sesudah Implementasi Rigid Body	84
Tabel 4.11 Rata – Rata Jarak Tumbukan Lintasan dengan Kendaraan.....	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Alur Penelitian.....	21
Gambar 3.2 Alur Penelitian <i>Validation</i>	23
Gambar 3.3 Visual Olah Animasi	24
Gambar 4.1 <i>Blueprint Toyota FJ Cruiser</i>	26
Gambar 4.2 Model <i>FJ Cruiser</i> Tiga Dimensi	27
Gambar 4.3 Model <i>FJ Cruiser</i> Tiga Dimensi	28
Gambar 4.4 Model <i>Rig</i> Kendaraan.....	29
Gambar 4.5 <i>Rigging</i> Roda Depan	29
Gambar 4.6 <i>Rigging</i> Roda Belakang.....	30
Gambar 4.7 <i>Rigging</i> Badan Kendaraan.....	30
Gambar 4.8 Implementasi <i>Rigid Body</i> Roda Depan kanan.....	31
Gambar 4.9 Implementasi <i>Rigid Body</i> Roda Depan kiri.....	32
Gambar 4.10 Implementasi <i>Rigid Body</i> Roda Belakang kanan	33
Gambar 4.11 Implementasi <i>Rigid Body</i> Roda Belakang Kiri	33
Gambar 4.12 Implementasi <i>Rigid Body</i> Poros Depan.....	34
Gambar 4.13 Implementasi <i>Rigid Body</i> Poros Belakang	34
Gambar 4.14 Implementasi <i>Rigid Body</i> Badan Kendaraan	35
Gambar 4.15 Implementasi <i>Rigid Body</i> Model Kendaraan.....	35
Gambar 4.16 Parameter Gravitasi, Massa, dan Toleransi Tumbukan.....	36
Gambar 4.17 Perspektif Skenario Jalan Bergelombang.....	37
Gambar 4.18 Skenario Jalan Bergelombang <i>frame 60</i>	38

Gambar 4.19 Skenario Jalan Bergelombang <i>frame</i> 75.....	38
Gambar 4.20 Skenario Jalan Bergelombang <i>frame</i> 85.....	39
Gambar 4.21 Skenario Jalan Bergelombang <i>frame</i> 100.....	49
Gambar 4.22 Skenario Jalan Bergelombang <i>frame</i> 105.....	40
Gambar 4.23 Skenario Jalan Bergelombang <i>frame</i> 125.....	40
Gambar 4.24 Skenario Jalan Bergelombang <i>frame</i> 147.....	41
Gambar 4.25 Skenario Jalan Bergelombang <i>frame</i> 158.....	41
Gambar 4.26 Skenario Jalan Bergelombang <i>frame</i> 175.....	42
Gambar 4.27 Skenario Jalan Bergelombang <i>frame</i> 185.....	42
Gambar 4.28 Skenario Jalan Bergelombang <i>frame</i> 193.....	43
Gambar 4.29 Skenario Jalan Bergelombang <i>frame</i> 210.....	43
Gambar 4.30 Perspektif Skenario Tanjakan dan Turunan	44
Gambar 4.31 Skenario Tanjakan dan Turunan <i>frame</i> 20.....	45
Gambar 4.32 Skenario Tanjakan dan Turunan <i>frame</i> 55.....	45
Gambar 4.33 Skenario Tanjakan dan Turunan <i>frame</i> 100.....	46
Gambar 4.34 Skenario Tanjakan dan Turunan <i>frame</i> 175.....	46
Gambar 4.35 Skenario Tanjakan dan Turunan <i>frame</i> 250.....	47
Gambar 4.36 Perspektif Skenario Bidang Miring.....	47
Gambar 4.37 Skenario Bidang Miring <i>frame</i> 15.....	48
Gambar 4.38 Skenario Bidang Miring <i>frame</i> 27.....	48
Gambar 4.39 Skenario Bidang Miring <i>frame</i> 42.....	49
Gambar 4.40 Skenario Bidang Miring <i>frame</i> 47.....	49
Gambar 4.41 Perspektif Skenario Ramp to Ramp	50

Gambar 4.42 Skenario Ramp to Ramp <i>frame</i> 10	50
Gambar 4.43 Skenario Ramp to Ramp <i>frame</i> 25	51
Gambar 4.44 Skenario Ramp to Ramp <i>frame</i> 45	52
Gambar 4.45 Skenario Ramp to Ramp <i>frame</i> 55	52
Gambar 4.46 Skenario Ramp to Ramp <i>frame</i> 65	53
Gambar 4.47 Perspektif Skenario Menabrak Dinding	53
Gambar 4.48 Skenario Menabrak Dinding <i>frame</i> 20	54
Gambar 4.49 Skenario Menabrak Dinding <i>frame</i> 50	54
Gambar 4.50 Skenario Menabrak Dinding <i>frame</i> 55	55
Gambar 4.51 Skenario Menabrak Dinding <i>frame</i> 90	55
Gambar 4.52 Skenario Menabrak Dinding <i>frame</i> 110	56
Gambar 4.53 Kerangka Kendali Pada <i>Driver Master</i>	57
Gambar 4.54 Pemasangan kerangka kendali	57
Gambar 4.55 Pengaturan Jalur Kendaraan	58
Gambar 4.56 Skenario Jalan Bergelombang <i>frame</i> 20	59
Gambar 4.57 Skenario Jalan Bergelombang <i>frame</i> 49	59
Gambar 4.58 Skenario Jalan Bergelombang <i>frame</i> 62	60
Gambar 4.59 Skenario Jalan Bergelombang <i>frame</i> 66	60
Gambar 4.60 Skenario Jalan Bergelombang <i>frame</i> 77	61
Gambar 4.61 Skenario Jalan Bergelombang <i>frame</i> 97	61
Gambar 4.62 Skenario Tanjakan dan Turunan <i>frame</i> 40	62
Gambar 4.63 Skenario Tanjakan dan Turunan <i>frame</i> 85	62
Gambar 4.64 Skenario Tanjakan dan Turunan <i>frame</i> 120	63

Gambar 4.65 Skenario Tanjakan dan Turunan <i>frame</i> 155.....	63
Gambar 4.66 Skenario Tanjakan dan Turunan <i>frame</i> 185.....	64
Gambar 4.67 Skenario Bidang Miring <i>frame</i> 20.....	64
Gambar 4.68 Skenario Bidang Miring <i>frame</i> 30.....	65
Gambar 4.69 Skenario Bidang Miring <i>frame</i> 45.....	66
Gambar 4.70 Skenario Bidang Miring <i>frame</i> 80.....	66
Gambar 4.71 Skenario Ramp To Ramp <i>frame</i> 15.....	67
Gambar 4.72 Skenario Ramp To Ramp <i>frame</i> 32.....	67
Gambar 4.73 Skenario Ramp To Ramp <i>frame</i> 39.....	68
Gambar 4.74 Skenario Ramp To Ramp <i>frame</i> 48.....	68
Gambar 4.75 Skenario Ramp To Ramp <i>frame</i> 55.....	69
Gambar 4.76 Skenario Ramp To Ramp <i>frame</i> 60.....	69
Gambar 4.77 Skenario Ramp To Ramp <i>frame</i> 78.....	70
Gambar 4.78 Skenario Menabrak Dinding <i>frame</i> 20.....	71
Gambar 4.79 Skenario Menabrak Dinding <i>frame</i> 46.....	71
Gambar 4.80 Skenario Menabrak Dinding <i>frame</i> 72.....	72
Gambar 4.81 Skenario Menabrak Dinding <i>frame</i> 90.....	72
Gambar 4.82 Parameter Gravitasi, Massa, dan Toleransi Tumbukan.....	73
Gambar 4.83 Hasil Animasi dan Kurva Gerakan Model Kendaraan.....	74
Gambar 4.84 Hasil Animasi dan Kurva Gerakan Model Kendaraan.....	75
Gambar 4.85 Hasil Animasi dan Kurva Gerakan Model Kendaraan.....	76
Gambar 4.86 Hasil Animasi dan Kurva Gerakan Model Kendaraan.....	77
Gambar 4.87 Hasil Animasi dan Kurva Gerakan Model Kendaraan.....	78

Gambar 4.88 Hasil Animasi dan Kurva Gerakan Model Kendaraan.....	79
Gambar 4.89 Hasil Animasi dan Kurva Gerakan Model Kendaraan.....	81
Gambar 4.90 Hasil Animasi dan Kurva Gerakan Model Kendaraan.....	82
Gambar 4.91 Hasil Animasi dan Kurva Gerakan Model Kendaraan.....	83
Gambar 4.92 Hasil Animasi dan Kurva Gerakan Model Kendaraan.....	84
Gambar 4.93 Hasil objek rigid masih tembus, tumbukan objek rigid (kanan)	86



INTISARI

Semakin berkembangnya teknologi, proses pemodelan dalam tiga dimensi saat ini menjadi jauh lebih mudah dari sebelumnya. Namun sebelum menganimasikan sebuah objek tiga dimensi memerlukan *rigging* secara manual untuk menentukan struktur kerangka internalnya. Peneliti akan melakukan eksperimen dengan beberapa skenario percobaan terhadap proses *rigging* untuk menghasilkan animasi kendaraan yang dinamis dengan memanfaatkan *rigid body*. Dalam hal ini implementasi *rigid body* pada *rigging* dilakukan karena *rigid body* sangat mirip dengan objek di dunia nyata. Memiliki gaya gravitasi dan gaya lainnya, seperti bisa bertumbukan dengan objek lain dan bisa saling mendorong antar objek. Pendekatan ini berfokus untuk meminimalkan kerangka kendali animasi model kendaraan tiga dimensi. Secara khusus sistem *rigging* dengan implementasi *rigid body* pada model kendaraan tiga dimensi yang digunakan sebagai masukan akan menghasilkan *rigging* yang dapat digunakan untuk menciptakan massa dan gaya sehingga gerakan animasi kendaraan tiga dimensi lebih dinamis.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Implementasi *rigid body* pada *rigging* model kendaraan tiga dimensi menghasilkan animasi yang dinamis karena *rigid body* dapat disimulasikan secara dinamis berkaitan dengan kontak dan tumbukan, serta objek yang dikendalikan secara dinamis merespon gerakan dan tumbukan dengan benda lain. Proses kombinasi ini menghasilkan keluaran yang sangat berarti dan benar secara fisik. Selain itu dengan cara tersebut juga dapat secara dramatis meningkatkan kinerja tugas efek animasi kendaraan yang dinamis.

Kata kunci : *rigid body*, *rigging*, animasi, kendaraan, dinamis

ABSTRACT

As technology grows, modeling process in three dimensions now becomes much easier than ever. But before animate a three dimensional object requires manual rigging to determine its internal frame structure. The researcher will experiment with several experimental scenarios of rigging process to produce dynamic vehicle animation by utilizing rigid body. In this case the implementation of rigid body on rigging done because rigid body very similar to object in real world. It has the force of gravity and other forces, as can collide with other objects and can push each other between objects. This approach focuses on minimizing the three dimensional vehicle animation control framework. In particular rigging system by implementing rigid body on three dimensional vehicle model used as input will produce rigging that can be used to create mass and force so that three dimensional motion animation movement more dynamic.

The results of this research indicate that the Implementation of rigid body on rigging of three dimensional vehicle model produces dynamic animation because the rigid body can be dynamically simulated with regard to contact and collision, as well as dynamically controlled objects responding to movements and collisions with other objects. This combination process produces a very significant and physically correct output. In addition, in such a way can also dramatically improve the performance of dynamic vehicle animation effects tasks.

Keyword: rigid body, rigging, animation, vehicle, dynamic

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Dewasa ini perkembangan teknologi sangat cepat sehingga menuntut kita untuk memperoleh informasi secara cepat dan mudah. Dengan begitu akan mempermudah seseorang untuk mengakses informasi. Informasi merupakan hasil dari pengolahan data sehingga menjadi bentuk yang penting bagi penerimanya dan mempunyai kegunaan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan yang dapat dirasakan akibatnya secara langsung saat itu juga atau secara tidak langsung pada saat mendatang (Muslihudin & Oktafianto, 2016). Suatu bentuk informasi yang mudah untuk disajikan salah satunya yaitu dalam bentuk animasi.

Animasi merupakan suatu media yang lahir dari dua hal atau disiplin yaitu video dan gambar. Penggunaan animasi sebagai suatu bentuk perantara cukup berperan penting dalam menyebarkan pesan atau gagasan yang ingin disampaikan ke masyarakat luas. Semua pesan yang disampaikan baik itu film, iklan, maupun *game*, hampir semua dikerjakan menggunakan media digital. Pada animasi digital hampir seluruh proses produksi dikerjakan menggunakan perangkat komputer, seperti membuat model, memberikan material, *rigging* atau penulangan, menganimasikan objek, dan lain lain.

Pemodelan dalam tiga dimensi saat ini menjadi jauh lebih mudah dari sebelumnya. Namun sebelum menganimasikan sebuah objek tiga dimensi memerlukan *rigging* secara manual untuk menentukan struktur kerangka

internalnya dan untuk menentukan bagaimana menghasilkan gerakan objek yang dinamis. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yu, Yang, Zan, Huang, & Zhang, (2017) Menjelaskan bahwa dalam simulasi gerakan animasi, metode dinamis pertama-tama memberi objek pada sifat fisik dan menggunakan berbagai gaya kemudian menggunakan hukum *Newton* untuk melakukan kalkulasi terhadap karakteristiknya. Kegunaan metode ini adalah untuk menghitung percepatan suatu benda berdasarkan gaya yang muncul.

Selain gaya, tumbukan juga merupakan faktor penting yang mempengaruhi pergerakan objek. Di dunia nyata, ketika dua benda bertabrakan, mereka bertumbukan, namun keduanya tidak saling menembus. Ketika tumbukan terjadi, gaya interaksi akan mengubah keadaan semula dari dua benda, seperti posisi, lintasan, dan arah. Oleh karena itu, dalam simulasi animasi, jika tumbukan antar objek terjadi, keadaan gerakan asli sebuah objek akan berubah karena kekuatan interaksi (Yang, J. Yu, 2017)

Berdasarkan uraian diatas peneliti akan melakukan eksperimen dengan beberapa skenario percobaan terhadap proses *rigging* untuk menimbulkan tumbukan, gaya, dan massa pada model kendaraan sehingga menghasilkan animasi kendaraan yang dinamis dengan memanfaatkan *rigid body*. Karena hasil identifikasi parameter inersia dan gaya pada objek *rigid body* dapat berinteraksi dengan lingkungan melalui kontak fisik. selain itu juga menunjukkan bahwa gaya (selain gaya gravitasi) dapat bekerja pada objek selama fase kontak fisik (Fazeli, Tedrake, & Rodriguez, 2018).

Implementasi *rigid body* pada *rigging* model kendaraan tiga dimensi ini dilakukan untuk mengetahui apakah dengan adanya *rigid body* akan menghasilkan animasi yang dinamis untuk model kendaraan tiga dimensi. Karena dari hasil pengujian dengan gaya gravitasi, ada simulasi suspensi di kendaraan. Melalui simulasi mobil dan lingkungan sekitarnya dari berbagai parameter yang ditetapkan, dapat dilakukan berbagai gerakan animasi berbasis simulasi fisika (Yang,J.Yu, 2017). Artinya animator hanya perlu menggerakkan model kendaraan ke arah yang diinginkan, sisanya kendaraan tersebut akan bergerak secara dinamis mengikuti permukaan jalan yang dilalui. Seperti saat model kendaraan tersebut berjalan pada jalan yang permukaannya bergelombang maka gerakan model kendaraan tersebut akan mengikuti permukaan jalan yang bergelombang secara dinamis tanpa di animasikan secara manual.

Oleh karena itu penelitian ini berfokus untuk mengimplementasikan *rigid body* pada *rigging* terhadap animasi dinamis model kendaraan tiga dimensi. Pendekatan ini berfokus untuk meminimalkan kerangka kendali animasi model kendaraan tiga dimensi. Secara khusus sistem *rigging* dengan mengimplementasikan *rigid body* pada model kendaraan tiga dimensi yang digunakan sebagai masukan akan menghasilkan *rigging* yang dapat digunakan untuk menciptakan tumbukan, massa dan gaya sehingga gerakan animasi kendaraan tiga dimensi lebih dinamis.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut, dapat diambil beberapa rumusan masalah yang timbul dalam implementasi *rigid body* pada *rigging* terhadap animasi dinamis tiga dimensi adalah sebagai berikut :

- a. Proses apa saja yang harus dilakukan dalam proses *rigging* untuk menghasilkan animasi tiga dimensi yang dinamis?
- b. Bagaimana hasil dari setiap skenario percobaan pada *rigging* terhadap model tiga dimensi?
- c. Bagaimana hasil implementasi *rigid body* pada *rigging* terhadap animasi dinamis tiga dimensi?

1.3. Batasan Masalah

Sebagai acuan dalam penyusunan proposal tesis ini ada beberapa variabel yang dijadikan batasan agar bahasan terfokus sesuai dengan yang dimaksudkan penulis yaitu :

- a. Penelitian ini berfokus pada *rigging* model kendaraan tiga dimensi yang diutamakan pada implementasi *rigid body* pada *rigging* model kendaraan tiga dimensi.
- b. Penelitian ini menggunakan indikator keberhasilan berdasarkan tiga aspek penilaian pada interaksi antara objek *rigid* yaitu tumbukan, massa, dan gaya.
- c. Penelitian ini memberikan hasil *rigging* dan gerakan animasi dinamis berdasarkan skenario percobaan implementasi *rigid body* pada *rigging* model kendaraan tiga dimensi tanpa adanya simulasi berdasarkan ukuran dan perhitungan matematis.
- d. Penelitian ini menggunakan model tiga dimensi kendaraan *Toyota FJ Cruiser 2007*

- e. Implementasi *rigid body* pada *rigging* terhadap animasi dinamis model kendaraan tiga dimensi dilakukan menggunakan perangkat lunak *3D Studio Max*.
- f. Pembeding hasil implementasi *rigid body* pada *rigging* menggunakan *tool* tambahan yaitu *Driver Master* yang dipasang pada perangkat lunak *3D Studio Max*.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian tentang implementasi *rigid body* pada *rigging* terhadap animasi dinamis tiga dimensi ini sebagai berikut :

- a. Penelitian ini memberikan penjelasan tentang proses yang harus dilakukan dalam *rigging* untuk menghasilkan animasi tiga dimensi yang dinamis.
- b. Penelitian ini memberikan hasil dari setiap skenario percobaan pada *rigging* terhadap model kendaraan tiga dimensi.
- c. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan *rigid body* pada *rigging* agar menghasilkan visualisasi animasi yang dinamis pada model tiga dimensi.
- d. Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi program pascasarjana di Universitas AMIKOM Yogyakarta

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai sumbangan pemikiran dan media edukasi dibidang animasi, multimedia, periklanan, film dan game.

b. Manfaat Praktis

1.) Bagi Penulis

Menambah pengetahuan dan wawasan penulis mengenai dunia animasi serta dapat mengaplikasikan teori yang telah diperoleh selama perkuliahan.

2.) Bagi Lembaga Pendidikan

Dapat menjadi pertimbangan untuk diterapkan dalam dunia pendidikan sebagai solusi terhadap permasalahan pendidikan di bidang animasi, khususnya dalam proses *rigging*.

3.) Bagi Peneliti Selanjutnya

Dengan penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem ataupun tool baru yang mendukung perkembangan animasi.

4.) Bagi Ilmu Pengetahuan

Menambah pengetahuan dan wawasan mengenai perkembangan bidang ilmu animasi yang selalu bisa dikaitkan dengan bidang ilmu yang lain.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian yang dilakukan oleh de Belen & Atienza (2016) menyajikan sebuah konsep otomatis untuk memperkirakan struktur kerangka karakter tiga dimensi humanoid dan menunjukkan teknik skinning yang halus untuk animasi berbasis skeletal pada model karakter tiga dimensi. Hasil percobaan menunjukkan bahwa teknik ini lebih kuat dibandingkan dengan teknik yang ada sebelumnya bila diaplikasikan pada input mesh yang kompleks. Selain itu, Algoritma ini menyajikan hasil segmentasi mesh pose-invariant. Sehingga masukan dari model yang sama namun dengan pose berbeda mengarah pada struktur kerangka yang sama. Mengingat informasi yang paling tepat diperlukan perbaikan pada teknik pencatatan data yang ada sekarang, sehingga dapat dilakukan dengan mudah untuk menangkap data yang digunakan dengan cepat dan tanpa susah payah.

Sebuah metode baru dirancang untuk membangun rig tulang pembantu dari contoh model tiga dimensi. Serta menggunakan beberapa pasang pose kerangka dan bentuk kulit yang diinginkan untuk sistem *rigging*. Hasil ini menunjukkan bahwa pendekatan regresi telah membatalkan penyempurnaan implikasi pada penyisipan tulang. Hal ini berkaitan dengan akurasi rekonstruksi, yang terkonvergensi sesuai dengan jumlah tulang penolong yang dibuat. Dari sini, terakumulasi kesalahan model regresi, meningkat hampir sebanding dengan jumlah yang sama. Kita mungkin bisa meminimalkan masalah ini dengan memperkenalkan model regresi

tingkat lanjut, seperti model proses Gaussian, untuk membangun pengendali tulang yang akurat (Mukai, 2015).

Selain itu sebuah penelitian yang dilakukan oleh Mukai & Kuriyama (2016) mengusulkan sebuah metode praktis untuk mensintesis deformasi kulit yang masuk akal dan dinamis berdasarkan rig tulang pembantu. Metode ini membangun pengendali tulang pembantu untuk deformasi yang disebabkan tidak hanya oleh tonjolan kerangka tetapi juga efek dinamika sekunder. Penelitian ini telah menemukan bahwa peningkatan jumlah tulang penolong seringkali menurunkan rekonstruksi, karena kesalahan numerik dikumpulkan secara terpisah saat menyelesaikan pengoptimalan penguraian dekomposisi dan pengontrol tulang. Algoritma yang lebih canggih harus diselidiki untuk sekaligus memecahkan masalah ini. Pengontrol berbasis SSM (State Space Model) kami hanya dapat dipelajari dari satu urutan gerakan kerangka yang kontinu dan deformasi kulit yang sesuai karena N2SID (Nuclear Norm Optimization for System Identification) tidak dapat secara bersamaan menganalisis urutan yang berbeda.

Penelitian yang dilakukan oleh Holden, Saito, & Komura (2015) mengusulkan solusi umum real-time untuk inversi fungsi rig. Fungsi yang memetakan data animasi dari rig karakter ke kerangkanya. Menggunakan regresi non linier pada contoh animasi sederhana yang dibangun oleh para animator, untuk mempelajari pemetaan tersebut. Kemampuan yang dihasilkan untuk membalikkan fungsi rig dengan cepat dan efektif ini memiliki aplikasi yang luas di lingkungan animasi karena memungkinkan adanya umpan balik yang ketat antara animator, dan alat animasi yang bekerja di tempat posisi bersama. Teknik animasi berbasis data dapat

digabungkan secara efektif dengan seni animator untuk menghemat waktu dan biaya dalam produksi hiburan animasi. setra memungkinkan para animator untuk menggunakan teknik motion capture, motion warping, dan motion editing pada gerakan yang mereka bangun untuk karakter.

Salah satu penelitian yang mendekati tentang *rigging* dan *rigid body* yaitu Dong Joo Byun (2015) membuat *rig* yang dapat direplikasi dan sangat efisien untuk efek dinamis pada karakter dan partikel. Penelitian ini menggunakan persamaan gerak untuk menghitung dan mengendalikan gerakan dinamis setiap potongan geometri tanpa menggunakan kendali manual. Proses kombinasi *rigging* dan *rigid body* menghasilkan keluaran yang sangat berarti dan benar secara fisik. Selain itu dengan cara tersebut juga dapat secara dramatis meningkatkan kinerja tugas efek animasi yang dinamis dalam produksi *Big Hero 6*. Menghubungkan *rigging* dengan *rigid body* dengan masing-masing bagian geometri ditambahkan kedalam simulasi *rigid body* yang berisi posisi, kecepatan, dan kecepatan sudut yang berasal dari *rig* agar menghasilkan keluaran yang sangat berarti dan benar secara fisik.

Penelitian dari Müller Chentanez Macklin & Jeschke (2017) bertujuan agar secara signifikan dapat meningkatkan kecepatan proses untuk menganalisa rangkaian *rigging* dan secara otomatis memperoleh rangkaian jarak, seperti tinggi rendahnya jarak diantara objek yang berpotensi untuk memisahkan jarak topologi kedua objek tersebut. Gagasan tentang batasan jarak untuk simulasi *rigid body*, khususnya pada tingkat yang lebih rendah dan tekanan yang diturunkan, hambatan untuk engsel dan rantai mengalami perbedaan pada kendali gerak untuk pengguna yang mempertimbangkan keadaan darurat. Modifikasi pada kendali *rigid body*

lebih sering terjadi daripada penggunaan kendali yang utama selama penelitian berlangsung. Kendati demikian, identifikasi yang mendukung penelitian ini menghasilkan pengeluaran biaya yang lebih rendah.



2.2. Keaslian Penelitian

Tabel 1.1 Matriks Literatur Review Dan Posisi Penelitian
Implementasi *Rigid Body* Pada *Rigging* Terhadap Animasi Dinamis Model Kendaraan Tiga Dimensi

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
1	Automatic Skeleton Generation Using Hierarchical Mesh Segmentation	Ryan Anthony, J. de Belen, Rowel O. Atienza, ACM, 2016	Menyajikan sebuah konsep otomatis untuk memperkirakan struktur kerangka karakter tiga dimensi humanoid dan menunjukkan teknik <i>skinning</i> yang halus untuk animasi berbasis skeletal pada model karakter tiga dimensi.	Hasil percobaan menunjukkan bahwa teknik ini lebih kuat dibandingkan dengan teknik yang ada sebelumnya bila diaplikasikan pada input mesh yang kompleks. Selain itu, Algoritma ini menyajikan hasil segmentasi <i>mesh pose-invariant</i> . Sehingga masukan dari model yang sama namun dengan pose berbeda mengarah pada struktur kerangka yang sama.	Mengingat informasi yang paling tepat diperlukan perbaikan pada teknik pencatatan data yang ada sekarang, sehingga dapat dilakukan dengan mudah untuk menangkap data yang akan digunakan dengan cepat dan tanpa susah payah.	Peneliti sebelumnya menunjukkan teknik <i>skinning</i> yang halus untuk animasi berbasis skeletal pada model karakter tiga dimensi., sedangkan penelitian yang dilakukan menunjukkan teknik <i>rigging</i> dengan memanfaatkan <i>rigid body</i> untuk animasi dinamis pada model kendaraan tiga dimensi.
2	Building Helper Bone Rigs from Examples	Tomohiko Mukai, ACM 2015	Mengusulkan sebuah metode baru untuk membangun <i>rig</i> tulang pembantu dari contoh model	Hasil ini menunjukkan bahwa pendekatan regresi telah membatalkan penyempurnaan	Dari sini, terakumulasi kesalahan model regresi, meningkat hampir sebanding dengan jumlah yang sama. Kita mungkin bisa	Peneliti sebelumnya mengusulkan sebuah metode baru untuk membangun <i>rig</i> tulang pembantu dari contoh model tiga dimensi.,

Tabel 1.1 Matriks Literatur Review Dan Posisi Penelitian
Implementasi *Rigid Body* Pada *Rigging* Terhadap Animasi Dinamis Model Kendaraan Tiga Dimensi (lanjutan)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
			tiga dimensi. Serta menggunakan beberapa pasang pose kerangka dan bentuk kulit yang diinginkan untuk sistem <i>rigging</i> .	implikasi pada penyisipan tulang. Hal ini berkaitan dengan akurasi rekonstruksi, yang terkonvergensi sesuai dengan jumlah tulang penolong yang dibuat.	meminimalkan masalah ini dengan memperkenalkan model regresi tingkat lanjut, seperti model proses <i>Gaussian</i> , untuk membangun pengendali tulang yang akurat.	sedangkan penelitian yang dilakukan mengusulkan sebuah metode <i>rigging</i> dengan mengimplementasikan <i>rigid body</i> di dalam model kendaraan tiga dimensi.
3	Efficient Dynamic Skinning with Low-Rank Helper Bone Controllers	Tomohiko Mukai, Shigeru Kuriyama, ACM, 2016	Mengusulkan sebuah metode untuk mensintesis deformasi kulit yang masuk akal dan dinamis berdasarkan <i>rig</i> tulang pembantu. Metode ini membangun pengendali tulang pembantu untuk deformasi yang disebabkan tidak hanya oleh tonjolan kerangka tetapi juga efek dinamika sekunder.	Penelitian ini telah menemukan bahwa peningkatan jumlah tulang penolong seringkali menurunkan rekonstruksi, karena kesalahan numerik dikumpulkan secara terpisah saat menyelesaikan pengoptimalan pengukuran dekomposisi dan pengontrol tulang.	Algoritma yang lebih canggih harus diselidiki untuk sekaligus memecahkan masalah ini. Pengontrol berbasis SSM kami hanya dapat dipelajari dari satu urutan gerakan kerangka yang kontinu dan deformasi kulit yang sesuai karena N2SID tidak dapat secara bersamaan menganalisis urutan yang berbeda.	Peneliti sebelumnya membangun pengendali tulang pembantu untuk deformasi yang disebabkan tidak hanya oleh tonjolan kerangka tetapi juga efek dinamika sekunder, sedangkan penelitian yang dilakukan yaitu membangun pengendali dengan mengimplementasikan <i>rigid body</i> sebagai pembantu untuk setiap <i>rig</i> bagian model kendaraan tiga dimensi.

Tabel 1.1 Matriks Literatur Review Dan Posisi Penelitian
Implementasi *Rigid Body* Pada *Rigging* Terhadap Animasi Dinamis Model Kendaraan Tiga Dimensi (lanjutan)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
4	Learning an Inverse Rig Mapping for Character Animation	Daniel Holden, Jun Saito, Taku Komura, ACM, 2015	Mengusulkan solusi umum <i>real-time</i> untuk inversi fungsi <i>rig</i> - fungsi yang memetakan data animasi dari <i>rig</i> karakter ke kerangkanya. Menggunakan regresi non linier pada contoh animasi sederhana.	Kemampuan yang dihasilkan untuk membalikkan fungsi <i>rig</i> dengan cepat dan efektif ini memiliki aplikasi yang luas di lingkungan animasi karena memungkinkan adanya umpan balik yang ketat antara animator, dan alat animasi yang bekerja di tempat posisi bersama.	Teknik animasi berbasis data dapat digabungkan secara efektif dengan seni animator untuk menghemat waktu dan biaya dalam produksi hiburan animasi. setra memungkinkan para animator untuk menggunakan teknik motion capture, motion warping, dan motion editing pada gerakan yang mereka bangun untuk karakter.	Peneliti sebelumnya mengusulkan solusi umum <i>real-time</i> untuk inversi fungsi <i>rig</i> - fungsi yang memetakan data animasi dari <i>rig</i> karakter ke kerangkanya. Sedangkan penelitian yang dilakukan yaitu mengusulkan solusi implementasi <i>rigid body</i> pada <i>rig</i> model kendaraan tiga dimensi agar menghasilkan animasi yang dinamis.
5	Interactive Script Based Dynamics in Big Hero 6	Dong Joo Byun, Zubin Wadia, Michael Kaschak, ACM, 2015	Membuat <i>rig</i> yang dapat direplikasi untuk efek dinamis pada karakter dan partikel. Penelitian ini menggunakan persamaan gerak untuk menghitung dan mengendalikan gerakan dinamis setiap potongan geometri tanpa kendali manual.	Proses kombinasi <i>rigging</i> dan <i>rigid body</i> menghasilkan keluaran yang sangat berarti dan benar secara fisik. Selain itu dengan cara tersebut juga dapat secara dramatis meningkatkan kinerja tugas efek animasi yang dinamis dalam produksi <i>Big Hero 6</i> .	Menghubungkan <i>rigging</i> dengan <i>rigid body</i> dengan masing-masing bagian geometri ditambahkan kedalam simulasi <i>rigid body</i> yang berisi posisi, kecepatan, dan kecepatan sudut yang berasal dari <i>rig</i> agar menghasilkan keluaran yang sangat berarti dan benar secara fisik.	Peneliti sebelumnya membuat <i>rig</i> yang dapat direplikasi dan sangat efisien untuk efek dinamis pada karakter dan partikel. Sedangkan penelitian yang dilakukan yaitu membuat <i>rig</i> yang dapat diterapkan untuk efek dinamis pada model kendaraan tiga dimensi.

Tabel 1.1 Matriks Literatur Review Dan Posisi Penelitian
Implementasi *Rigid Body* Pada *Rigging* Terhadap Animasi Dinamis Model Kendaraan Tiga Dimensi (lanjutan)

No	Judul	Peneliti, Media Publikasi, dan Tahun	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Saran atau Kelemahan	Perbandingan
6	Long Range Constraints for Rigid Body Simulations	Matthias Müller, Nuttapon Chentanez, Miles Macklin, Stefan Jesckhe, ACM, 2017	Secara signifikan dapat meningkatkan kecepatan proses untuk menganalisa rangkaian <i>rigging</i> dan secara otomatis memperoleh rangkaian jarak, seperti tinggi rendahnya jarak diantara objek yang berpotensi untuk memisahkan jarak topologi kedua objek tersebut.	Gagasan tentang batasan jarak untuk simulasi <i>rigid body</i> , khususnya pada tingkat yang lebih rendah dan tekanan yang diturunkan, hambatan untuk engsel dan rantai mengalami perbedaan pada kendali gerak untuk pengguna yang mempertimbangkan keadaan darurat.	Modifikasi pada kendali <i>rigid body</i> lebih sering terjadi daripada penggunaan kendali yang utama selama penelitian berlangsung. Kendati demikian, identifikasi yang mendukung penelitian ini menghasilkan pengeluaran biaya yang lebih rendah.	Peneliti sebelumnya dapat meningkatkan kecepatan proses untuk menganalisa rangkaian <i>rigging</i> dengan rangkaian jarak disetiap objeknya. Sedangkan penelitian yang dilakukan yaitu dapat menganalisa hasil <i>rigging</i> dengan melakukan beberapa skenario percobaan animasi model kendaraan tiga dimensi.

2.3. Landasan Teori

a. *Rigging*

Rigging merupakan sebuah proses di dalam sebuah animasi dimana sebuah geometri statis ditanamkan dengan berbagai mekanisme untuk bergerak, seperti struktur kerangka yang kemudian dibungkus dengan kontrol untuk animator (Holden, Saito, & Komura, 2015). *Rigging* adalah proses yang digunakan dalam komputer grafis sebagai penghubung antara *modeling* dan animasi. Biasanya, objek animasi dibangun dengan menggunakan serangkaian alat untuk memanipulasi geometri virtual menjadi bentuk tertentu. Ini yang umumnya dikenal sebagai *modeling*. Selanjutnya, tahap *rigging* dilakukan dan dihubungkan dengan objek geometri. Unsur-unsur ini memungkinkan animator untuk memanipulasi bentuk dan posisi objek geometri (Griffin, 2010).

b. *Rigid body*

Rigid body merupakan sebuah sifat material (padat, kaku, keras) dalam tiga dimensi. *Rigid body* yang ideal memiliki aturan yang jelas dan terdefinisi dengan baik untuk bagaimana sebuah objek bergerak di bawah aksi kekuatan dan momen, serta bagaimana batasan ideal seperti bergulir dengan sempurna, bergeser, dalam sistem pergerakan sebuah objek. Dalam hukum tumbukan inkremental, percepatan gaya *rigid body* dan persamaan keseimbangan momentum digunakan untuk menggambarkan dinamika selama tumbukan (Chatterjee & Ruina, 1998). *Rigid body* dapat disimulasikan secara dinamis berkaitan dengan kontak dan tumbukan, serta badan yang dikendalikan secara dinamis merespon gerakan sendi dan tumbukan dengan benda lain (Weinstein, Teran, & Fedkiw, 2006). Objek *rigid body*

dapat berinteraksi dengan lingkungan melalui kontak fisik. selain itu juga menunjukkan bahwa gaya (selain gaya gravitasi) dapat bekerja pada objek selama fase kontak fisik (Fazeli, Tedrake, & Rodriguez, 2018).

Dengan adanya *rigid body* maka menimbulkan gerakan setelah terjadi tumbukan antar objek. Maka bisa digambarkan momen tumbukan tersebut dengan perhitungan hukum momentum yaitu hasil kali antara massa dan kecepatan. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut $P = mv$ (Sheth, Lu, Yu, & Fedkiw, 2015). Dalam peristiwa tumbukan, momentum total sistem sesaat sebelum tumbukan sama dengan momentum total sistem sesaat sesudah tumbukan.

P sebelum = P Sesudah

$$P_A + P_B = P'_A + P'_B$$

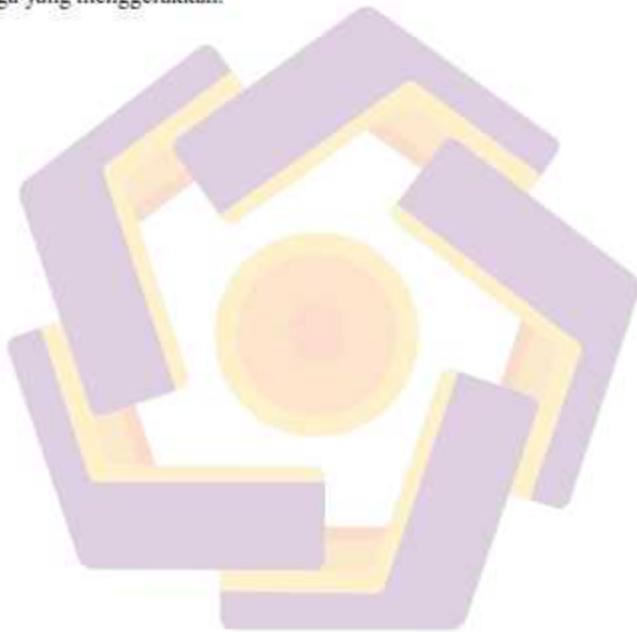
$$m_A v_B + m_B v_B = m'_A v'_B + m'_B v'_B$$

c. Animasi kendaraan

Implementasi *rigid body* pada *rigging* model kendaraan tiga dimensi ini dilakukan untuk mengetahui apakah dengan adanya *rigid body* akan menghasilkan animasi yang dinamis untuk model kendaraan tiga dimensi. Karena dari hasil pengujian dengan gaya gravitasi, ada simulasi suspensi di kendaraan. Melalui simulasi mobil dan lingkungan sekitarnya dari berbagai parameter yang ditetapkan, dapat dilakukan berbagai gerakan animasi berbasis simulasi fisika (Yang,J.Yu, 2017).

d. Dinamis

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (2017) Dinamis adalah penuh semangat dan tenaga sehingga cepat bergerak dan mudah menyesuaikan diri dengan keadaan dan sebagainya; mengandung dinamika. Selanjutnya dinamika sendiri merupakan bagian ilmu fisika yang berhubungan dengan benda yang bergerak dan tenaga yang menggerakkan.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Jenis, Sifat, dan Pendekatan Penelitian

Metode penelitian yang penulis gunakan adalah eksperimental. terdapat empat prinsip dasar yang terdapat dalam desain eksperimen ini, antara lain sebagai berikut: Replication, yang merupakan pengulangan dari metode *rigging* dasar pada model kendaraan tiga dimensi tanpa implementasi *rigid body*. Selanjutnya yaitu *randomization*, prinsip ini digunakan pada pengujian hasil *rigging* yang sudah diimplementasikan *rigid body* dengan beberapa skenario percobaan. Pengujian ini valid bila pengamatan didistribusikan secara bebas yang dilakukan dengan pengambilan sampel secara random atau acak. Berikutnya *blocking*, merupakan prinsip yang digunakan untuk mengisolasi hasil yang sudah baik dan sesuai dengan indikator yang ada dari pengaruh faktor lain supaya hasil eksperimen menjadi lebih akurat. Selanjutnya yang terakhir adalah *validation*, merupakan suatu tindakan untuk membuktikan bahwa metode implementasi *rigid body* pada *rigging* dapat memberikan hasil yang sesuai dengan indikator keberhasilan serta memiliki keunggulan dibandingkan dengan metode lain.

3.2. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang dilakukan dengan studi dari video, website, buku, jurnal nasional dan internasional. Data yang digunakan adalah model kendaraan tiga dimensi. Model kendaraan tiga dimensi tersebut disesuaikan dengan data jenis, model, dan ukuran kendaraan yang sebenarnya.

3.3. Metode Analisis Data

Analisis yang dilakukan penulis melalui tiga tahap yaitu *rigging*, mengaplikasikan *rigid body*, selanjutnya melakukan percobaan animasi kendaraan tiga dimensi. Pada tahapan uji coba menggunakan tiga indikator keberhasilan implementasi *rigid body* pada *rigging* model kendaraan tiga dimensi, antara lain : tumbukan, massa, dan gaya. Hal tersebut dilakukan untuk menyelidiki ada tidaknya hubungan sebab akibat penerapan *rigid body* pada *rigging* terhadap animasi dinamis model kendaraan tiga dimensi serta berapa besar hubungan sebab akibat tersebut dengan cara memberikan perlakuan-perlakuan tertentu pada beberapa kelompok eksperimen dan mendokumentasikan gerakan animasi yang dihasilkan.

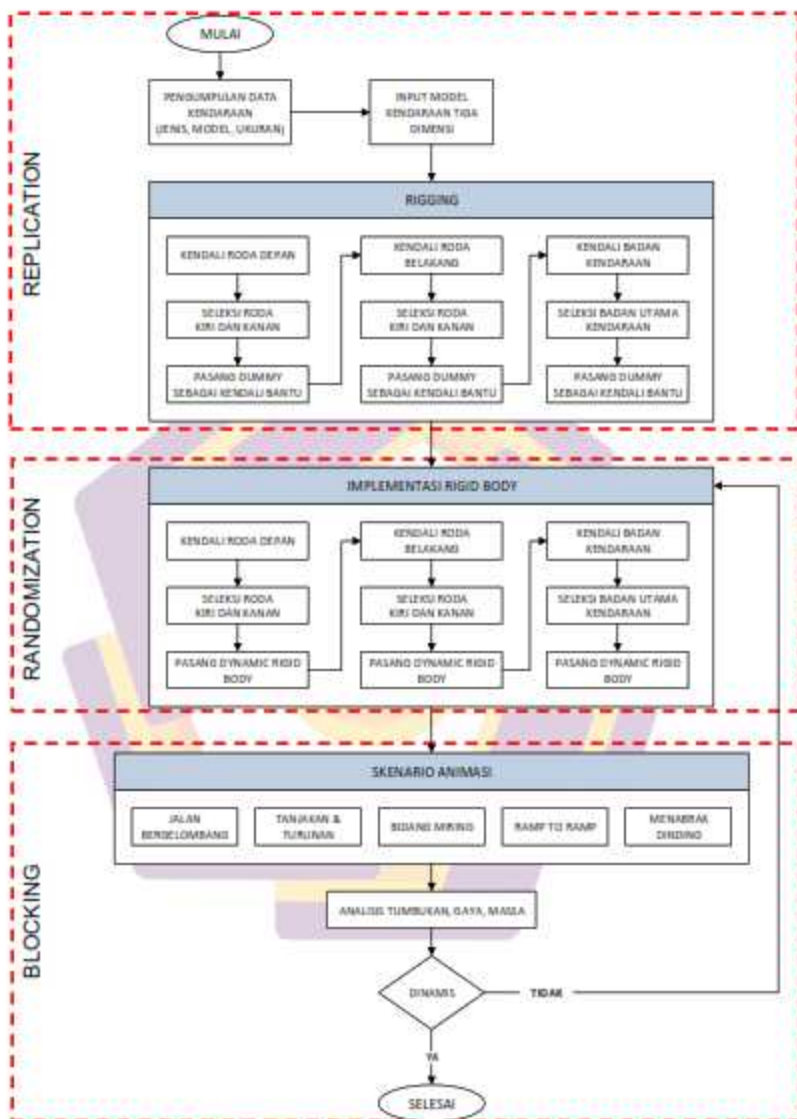
3.4. Alur Penelitian

Tahapan pertama dalam mengumpulkan data yang dilakukan dengan studi dari video, website, buku, jurnal nasional dan internasional. Data yang digunakan adalah model kendaraan tiga dimensi *Toyota FJ Cruiser 2007*. Model kendaraan tiga dimensi tersebut disesuaikan dengan data jenis, model, dan ukuran kendaraan yang sebenarnya.

Tahap selanjutnya adalah *replication* dimana dilakukan proses *rigging* model kendaraan tiga dimensi. Pada tahap ini dilakukan pemasangan kerangka dan kendali untuk menggerakkan model kendaraan. Kendali dipasang pada bagian-bagian kendali utama model kendaraan, seperti pada roda depan, roda belakang, dan badan kendaraan. Semua kerangka dan kendali tersebut dihubungkan agar saling berkaitan fungsinya pada saat dianimasikan. Hal ini dilakukan untuk memudahkan dalam mengendalikan gerakan model kendaraan saat menjalankan skenario percobaan.

Pada tahap *randomization* dilakukan implementasi *rigid body*, yang pertama dilakukan adalah menentukan bagian-bagian model kendaraan yang bertumbukan langsung dengan lingkungan saat dilakukan uji coba. Bagian-bagian tersebut meliputi roda depan, roda belakang, dan badan kendaraan. Dimana roda depan dan belakang bertumbukan langsung dengan permukaan landasan tempat model kendaraan berjalan. Selanjutnya badan model kendaraan bertumbukan dengan dinding saat proses uji coba.

Untuk *blocking* dilakukan analisis terhadap gerakan animasi dinamis model kendaraan tiga dimensi dilakukan beberapa skenario percobaan. Skenario tersebut dipilih berdasarkan penelitian tentang simulasi kendaraan dinamis oleh McHenry (2014). Di dalam penelitiannya dijelaskan bahwa ada beberapa uji coba untuk mengetahui suatu kendaraan dikatakan dinamis yaitu : *single vehicle accident*; misalnya bergerak di jalan bergelombang, *ramp to ramp*, berjalan di bidang miring, tanjakan dan turunan, dan menabrak dinding. fokus utama yang diperhatikan disesuaikan dengan latar belakang masalah dalam penelitian ini yaitu massa dan gaya yang ditimbulkan model kendaraan tiga dimensi tersebut saat dianimasikan. Artinya dengan adanya perbedaan massa yang dimasukkan ke dalam *rigid body* pada model kendaraan maka menghasilkan gaya yang berbeda. Dengan adanya massa maka deteksi tumbukan antar objek mempengaruhi dinamika gerakan animasi pada model kendaraan tiga dimensi. Oleh karena itu dilakukan berbagai percobaan pengaturan secara random pada *rigid body* agar setiap gerakan bisa memenuhi indikator keberhasilan animasi dinamis. Berikut gambar 3.1 menunjukkan alur penelitian yang akan dilakukan.

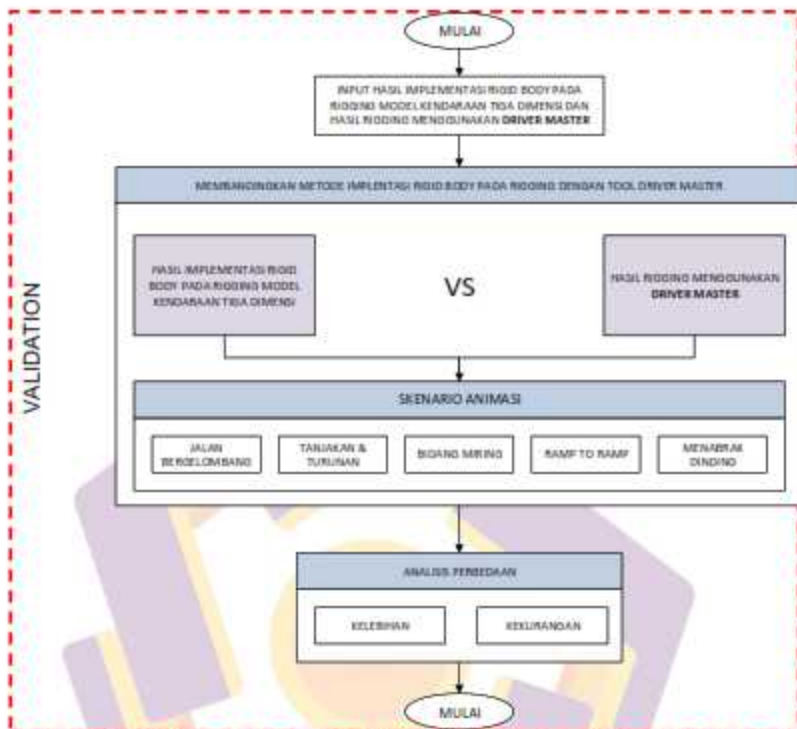


Gambar 3.1 Alur Penelitian

Analisis mengenai massa dan gaya agar menghasilkan animasi yang dinamis pada model kendaraan tiga dimensi dilakukan untuk setiap skenario percobaan animasi. Untuk setiap skenario percobaan dimasukkan massa sesuai dengan model kendaraan, lalu dilihat posisi dan orientasi model kendaraan berdasarkan gerakan dinamis yang dihasilkan. Setiap gerakan atau gaya yang muncul didokumentasikan ke dalam visualisasi gerakan animasi untuk melihat pengaruh dari implementasi *rigid body* pada *rigging*.

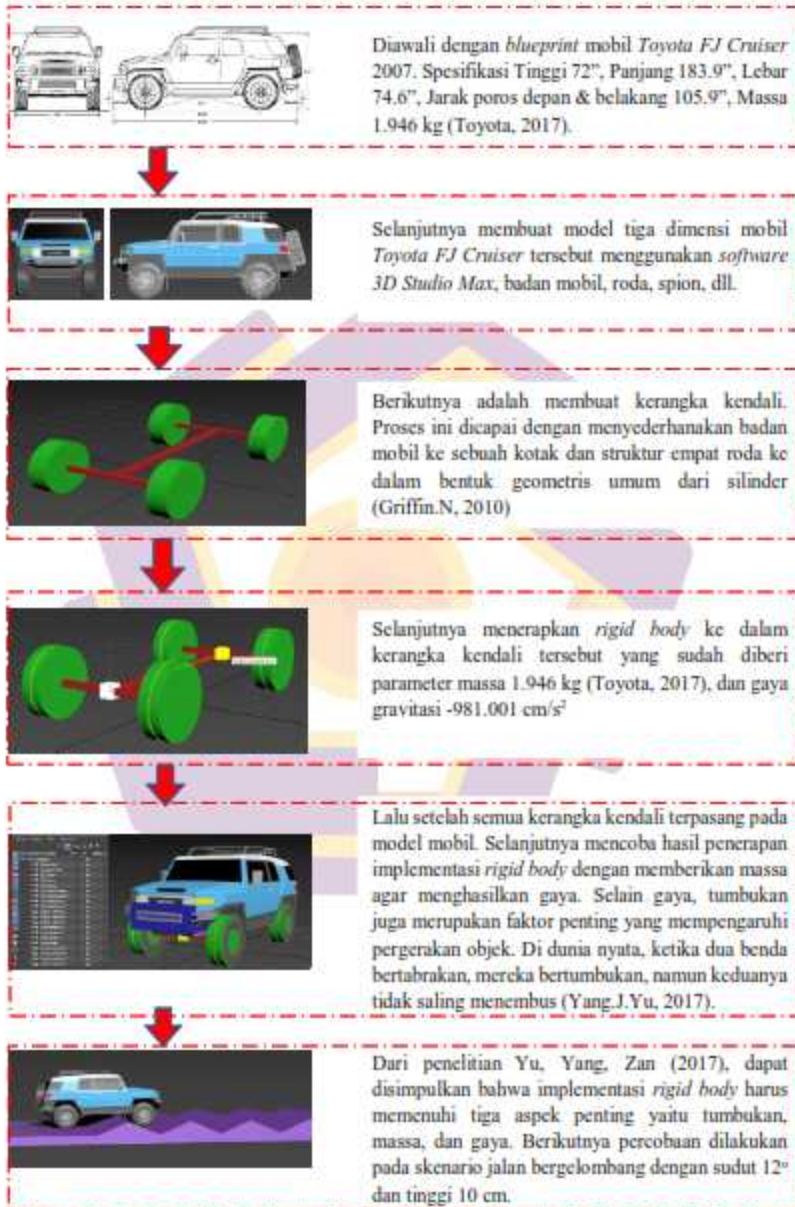
Untuk membuktikan bahwa metode implementasi *rigid body* pada *rigging* dapat memberikan hasil yang sesuai dengan indikator keberhasilan, maka pada tahap *validation* membandingkan hasil *rigging* yang sudah diimplementasikan *rigid body* di dalamnya dengan hasil *rigging* menggunakan tool *driver master*. Dimana *driver master* merupakan sebuah tool tambahan untuk software 3D Studio Max yang mampu memberikan proses pengaturan yang cepat, suspensi yang dinamis, *ground detection*, dan atribut untuk menggerakkan mobil untuk animasi yang dihasilkan (e-armand, 2018).

Pada perbandingan ini menggunakan model kendaraan tiga dimensi yang sama yaitu *Toyota FJ Cruiser 2007*, perlakuan yang sama (jalan bergelombang, *ramp to ramp*, bidang miring, tanjakan dan turunan, menabrak dinding), dan indikator keberhasilan yang sama (tumbukan, gaya, massa). Perbandingan ini ditujukan untuk memperoleh hasil berupa kelebihan dan kelemahan dari masing-masing metode *rigging* dalam menghasilkan gerakan animasi yang dinamis. Berikut gambar 3.2 menunjukkan alur penelitian pada tahap *validation*.

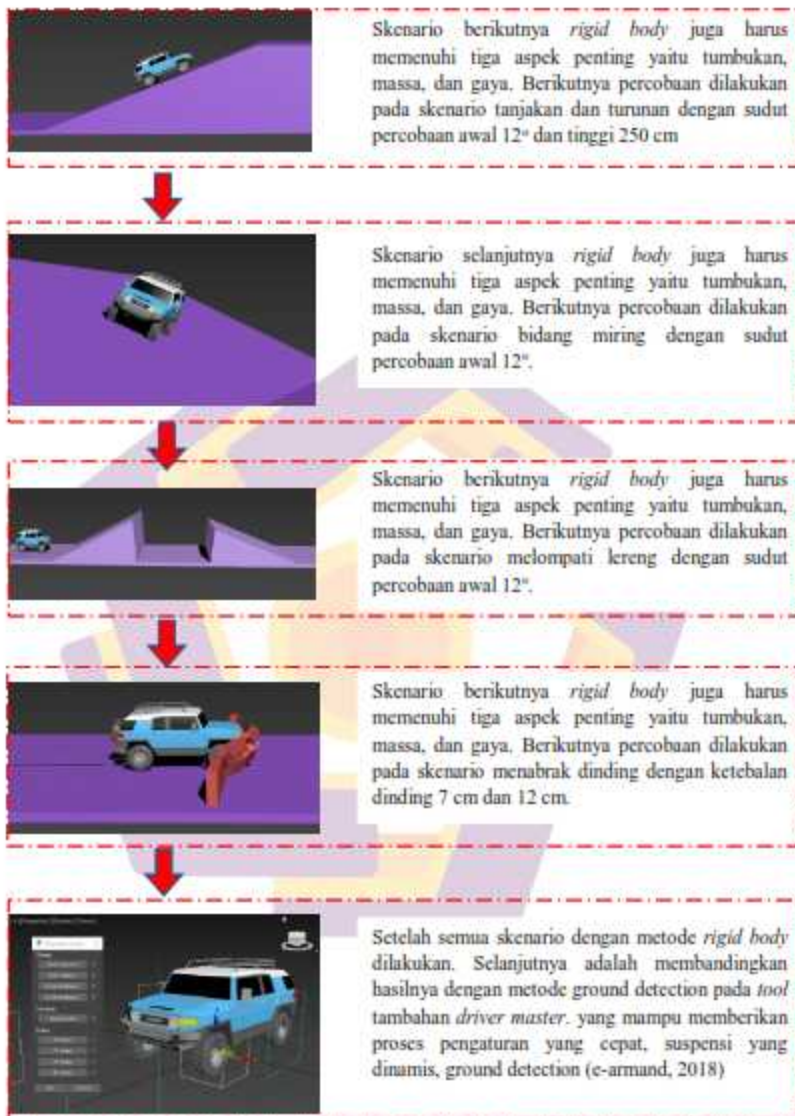


Gambar 3.2 Alur Penelitian *Validation*

3.5. Visual Olah Animasi



Gambar 3.3 Visual Olah Animasi



Gambar 3.3 Visual Olah Animasi (lanjutan)

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Replication

Pada tahap awal membuat model kendaraan yang dilakukan adalah dengan studi dari video, *website*, buku, jurnal nasional dan internasional. Data yang digunakan adalah model kendaraan tiga dimensi. Model kendaraan tiga dimensi tersebut disesuaikan dengan data jenis, model, dan ukuran kendaraan yang sebenarnya. Selanjutnya dengan menggunakan *blueprint* sebuah mobil *Toyota FJ Cruiser* dibentuk model kendaraan tiga dimensi sesuai dengan dimensi dan bagian-bagian yang ada pada pada *blueprint* kendaraan tersebut. Berikut gambar 4.1 yang menunjukkan *blueprint Toyota FJ Cruiser 2007*.



Gambar 4.1 *Blueprint Toyota FJ Cruiser*

Selanjutnya membuat model tiga dimensi mobil *Toyota FJ Cruiser* tersebut menggunakan software *3D Studio Max*, badan mobil, roda, spion, dll. *3D Studio Max* adalah program komputer yang hebat yang dirancang khusus untuk membantu seniman 3D, arsitek, insinyur dan desainer di berbagai disiplin ilmu dalam

pelaksanaan proyek mereka. Memodelkan mobil dengan *3D Studio Max* adalah tugas yang rumit dan untuk alasan ini, langkah yang paling penting adalah membuat gambar referensi dari setidaknya dua tampilan (Stojanov, Ristevski, Kotevski, & Savoska, 2016).

Untuk proses pembuatan model secara detail tidak dijelaskan dalam laporan ini, karena fokus utama penelitian ini ada pada proses implementasi *rigid body* pada *rigging* kendaraan. Berikut gambar 4.2 hasil akhir model tiga dimensi kendaraan *Toyota FJ Cruiser* tampak dari depan dan tampak dari samping kiri.



Gambar 4.2 Model *FJ Cruiser* Tiga Dimensi

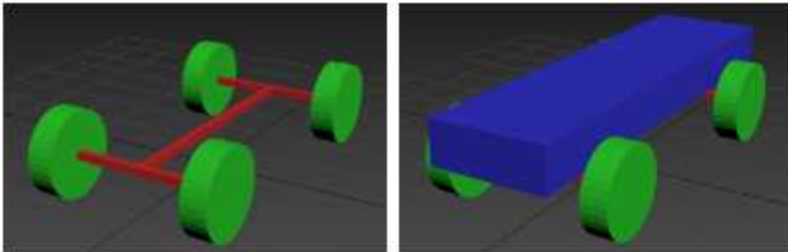
Berikut adalah gambar 4.3 yang menunjukkan hasil model kendaraan *Toyota FJ Cruiser* dilihat dari sudut perspektif lengkap dengan empat roda utama, dan satu roda cadangan dibagian belakang. Untuk 4WD, daya mesin akan ditransmisikan ke empat roda dengan memindahkan daya pada poros roda depan dan roda belakang. Namun biasanya 4WD hanya bersifat parsial atau sementara (*part time*). Fungsi kerja roda dirancang untuk mampu menghadapi segala jenis permukaan jalan.



Gambar 4.3 Model *FJ Cruiser* Tiga Dimensi

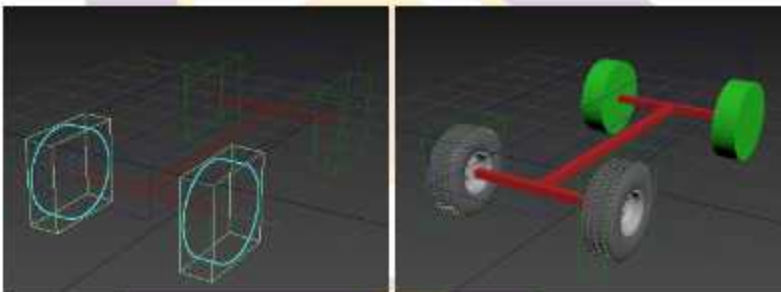
4.1.1. *Rigging* Kendali Roda Depan

Tahap selanjutnya adalah pemasangan kerangka kendali atau yang biasa disebut dengan istilah *rigging*. Diawali dengan membuat kerangka kendali pada bagian roda depan kanan, roda depan kiri, roda belakang kanan, dan roda belakang bagian kiri. Untuk kerangka kendali berikutnya dibuat penghubung antara roda kanan dan roda kiri yaitu poros depan dan poros bagian belakang. Kedua poros ini juga harus diberi penghubung, dalam hal ini penulis memberi nama *rig center*. Langkah terakhir membuat kerangka kendali untuk bagian badan mobil. Pada gambar 4.4 ditunjukkan kotak berwarna biru.



Gambar 4.4 Model *Rig* Kendaraan

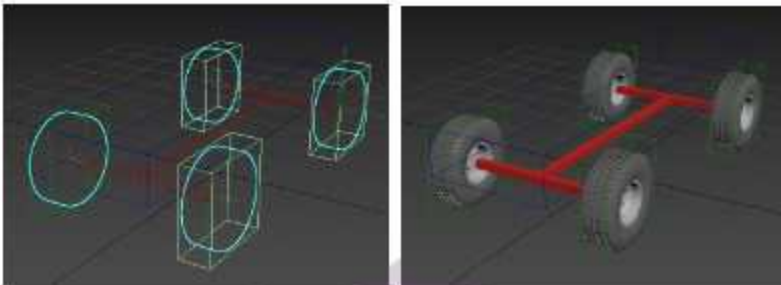
Setelah semua persiapan kerangka kendali selesai dibuat, maka selanjutnya adalah menggabungkan kerangka kendali tersebut dengan model kendaraan tiga dimensi agar setiap bagian kendaraan seperti roda dan badan mobil dapat digerakkan.



Gambar 4.5 *Rigging* Roda Depan

Gambar 4.5 di atas menunjukkan proses pemasangan kerangka kendali roda depan bagian kanan dan kiri. Pada gambar tersebut posisi kendali roda tepat berada di tengah model roda kendaraan. Hal tersebut bertujuan agar model roda dapat berputar pada porosnya.

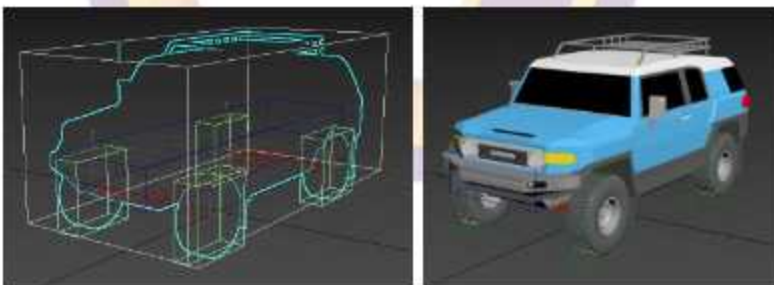
4.1.2. Rigging Kendali Roda Belakang



Gambar 4.6 *Rigging* Roda Belakang

Gambar 4.6 di atas juga menunjukkan proses pemasangan kerangka kendali. Namun kali ini dipasang pada roda belakang bagian kanan dan kiri. Pada gambar tersebut posisi kendali roda tepat berada di tengah model roda kendaraan. Hal tersebut bertujuan agar model roda dapat berputar pada porosnya seperti pada roda bagian depan.

4.1.3. Rigging Kendali Badan Kendaraan



Gambar 4.7 *Rigging* Badan Kendaraan

Gambar 4.7 merupakan pemasangan kerangka kendali yang terakhir yaitu pada model badan mobil. Badan mobil dipasang pada kotak berwarna biru yang sebelumnya sudah dibahas pada proses pembuatan kerangka kendali. Hal ini

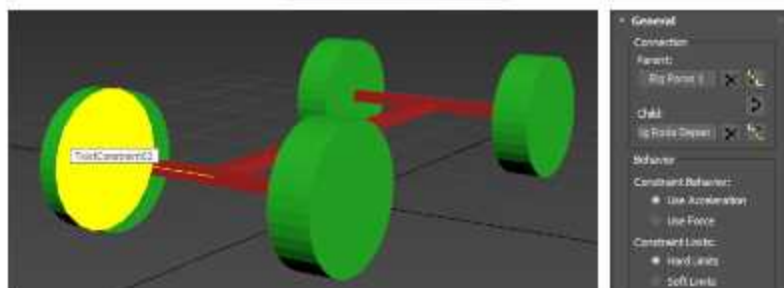
dilakukan agar posisi badan kendaraan selalu berada di atas roda. Artinya badan kendaraan tidak menempel ataupun berada diantara roda-roda.

4.2. Randomization

Pada tahap *randomization* dilakukan implementasi *rigid body*, yang pertama dilakukan adalah menentukan bagian-bagian model kendaraan yang bertumbukan langsung dengan lingkungan saat dilakukan uji coba. Bagian-bagian tersebut meliputi roda depan, roda belakang, dan badan kendaraan. Dimana roda depan dan belakang bertumbukan langsung dengan permukaan landasan tempat model kendaraan berjalan. Selanjutnya badan model kendaraan bertumbukan dengan dinding saat proses uji coba.

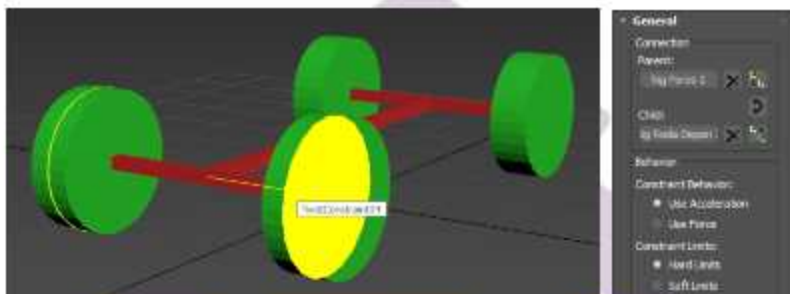
4.2.1. Rigid Body Roda Depan

Diawali dengan pemasangan *rigid body* pada roda depan bagian kanan. Ditunjukkan pada objek berbentuk lingkaran berwarna kuning. Selanjutnya *rigid body* tersebut dihubungkan dengan poros bagian depan agar tidak bergeser dan selalu berada pada posisi di tengah kerangka kendali roda bagian kiri ditunjukkan silinder berwarna hijau. Berikut gambar 4.8 yang menunjukkan pemasangan *rigid body* pada roda depan bagian kanan.



Gambar 4.8 Implementasi *Rigid Body* Roda Depan kanan

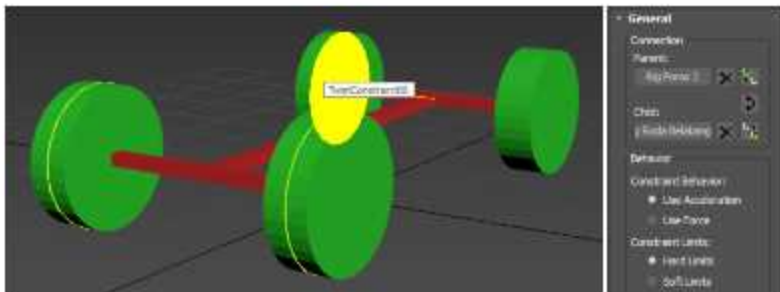
Selanjutnya pemasangan *rigid body* pada roda depan bagian kiri. Ditunjukkan pada objek berbentuk lingkaran berwarna kuning. Selanjutnya *rigid body* tersebut dihubungkan dengan poros bagian depan agar tidak bergeser dan selalu berada pada posisi di tengah kerangka kendali roda bagian kiri ditunjukkan silinder berwarna hijau. Berikut gambar 4.9 yang menunjukkan pemasangan *rigid body* pada roda depan bagian kiri.



Gambar 4.9 Implementasi *Rigid Body* Roda Depan kiri

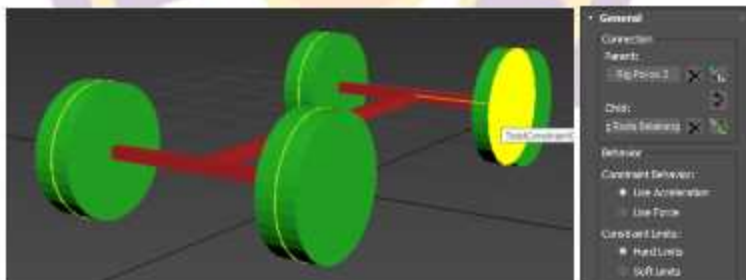
4.2.2. *Rigid Body* Roda Belakang

Diawali dengan pemasangan *rigid body* pada roda belakang bagian kanan. Ditunjukkan pada objek berbentuk lingkaran berwarna kuning. Selanjutnya *rigid body* tersebut dihubungkan dengan poros bagian belakang agar tidak bergeser dan selalu berada pada posisi di tengah kerangka kendali roda bagian kiri ditunjukkan silinder berwarna hijau. Berikut gambar 4.10 yang menunjukkan pemasangan *rigid body* pada roda belakang bagian kanan.



Gambar 4.10 Implementasi *Rigid Body* Roda Belakang kanan

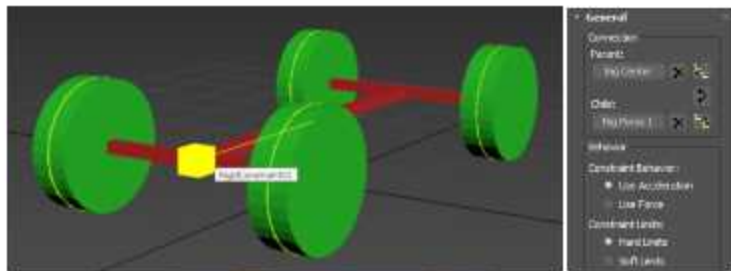
Terakhir untuk bagian roda yaitu pemasangan *rigid body* pada roda depan bagian kiri. Ditunjukkan pada objek berbentuk lingkaran berwarna kuning. Selanjutnya *rigid body* tersebut dihubungkan dengan poros bagian depan agar tidak bergeser dan selalu berada pada posisi di tengah kerangka kendali roda bagian kiri ditunjukkan silinder berwarna hijau. Berikut gambar 4.11 yang menunjukkan pemasangan *rigid body* pada roda depan bagian kiri.



Gambar 4.11 Implementasi *Rigid Body* Roda Belakang Kiri

Pada bagian poros depan juga diberikan penghubung agar saat terjadi pergerakan pada model kendaraan, setiap bagian dari kendaraan tersebut tidak terpisah. Dalam hal ini antara poros dengan *rig center* harus diberi penghubung

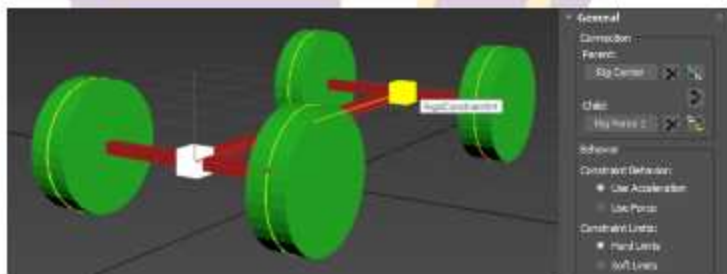
diantara objek *rigid*. Berikut gambar 4.12 yang menunjukkan proses menghubungkan poros depan dengan *rig center*.



Gambar 4.12 Implementasi *Rigid Body* Poros Depan

Hal yang sama juga dilakukan pada poros bagian belakang. Pada bagian poros belakang diberikan penghubung agar saat terjadi pergerakan pada model kendaraan, setiap bagian dari kendaraan tersebut tidak terpisah. Dalam hal ini antara poros dengan *rig center* harus diberi penghubung diantara objek *rigid*. Berikut gambar 4.13 yang menunjukkan proses menghubungkan poros belakang dengan *rig center*.

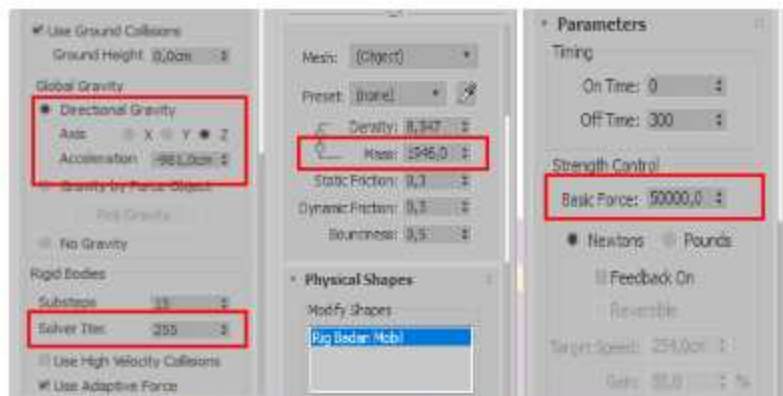
4.2.3. *Rigid Body* Badan Kendaraan



Gambar 4.13 Implementasi *Rigid Body* Poros Belakang

Hal terakhir dilakukan pada *rig* badan kendaraan. Pada bagian *rig* badan kendaraan juga diberikan penghubung agar saat terjadi pergerakan pada model kendaraan, setiap bagian dari kendaraan tersebut tidak terpisah. Dalam hal ini antara

pengaturan toleransi jarak tumbukan yang terjadi di antara dua buah objek rigid. Angka yang semakin besar akan sangat berguna pada objek dengan rangkaian yang saling terhubung.



Gambar 4.16 Parameter Gravitasi, Massa, dan Toleransi Tumbukan

4.3. Blocking

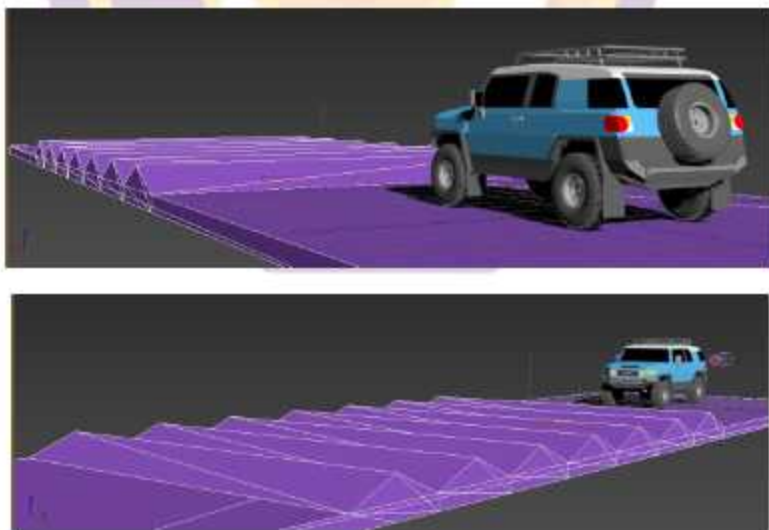
Pada tahap *blocking* dilakukan analisis terhadap gerakan animasi dinamis model kendaraan tiga dimensi dilakukan beberapa skenario percobaan. Skenario tersebut dipilih berdasarkan penelitian tentang simulasi kendaraan dinamis oleh McHenry (2014). Di dalam penelitiannya dijelaskan bahwa ada beberapa uji coba untuk mengetahui suatu kendaraan dikatakan dinamis yaitu : *single vehicle accident*; misalnya bergerak di jalan bergelombang, *ramp to ramp*, berjalan di bidang miring, tanjakan dan turunan, dan menabrak dinding.

Namun sebelum memulai percobaan pada setiap skenario. Model kendaraan harus diberikan parameter (massa = 1946 kg serta gaya gravitasi = -981.001 cm/s^2) agar menghasilkan gerakan yang dinamis. Fokus utama yang diperhatikan disesuaikan dengan latar belakang masalah dalam penelitian ini yaitu massa dan

gaya yang ditimbulkan model kendaraan tiga dimensi tersebut saat dianimasikan. Artinya dengan adanya perbedaan massa yang dimasukkan ke dalam *rigid body* pada model kendaraan maka menghasilkan gaya yang berbeda. Dengan adanya massa maka deteksi tumbukan antar objek mempengaruhi dinamika gerakan animasi pada model kendaraan tiga dimensi. Oleh karena itu dilakukan berbagai percobaan pengaturan secara random pada *rigid body* agar setiap gerakan bisa memenuhi indikator keberhasilan animasi dinamis.

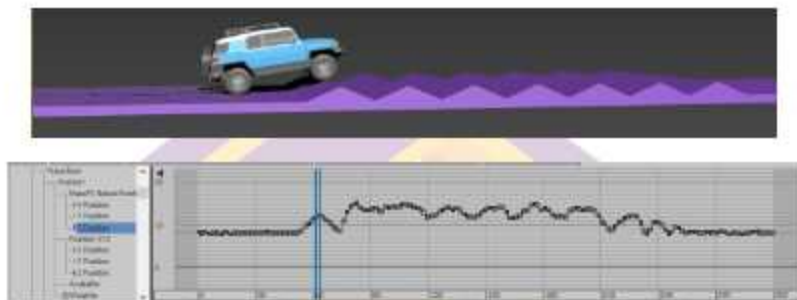
4.3.1. Skenario Jalan Bergelombang

Berikut gambar 4.17 yang menunjukkan posisi pada pandangan perspektif model kendaraan pada skenario percobaan model kendaraan berjalan pada jalan bergelombang. Parameter untuk percobaan ini yaitu massa = 1946 kg, gaya gravitasi = -981.001 cm/s^2 , gaya dorong = 50.000 Newton.



Gambar 4.17 Perspektif Skenario Jalan Bergelombang

Pada gambar 4.18 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 60 dan kurva menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z ke arah atas. Artinya perubahan tersebut terjadi karena adanya tumbukan pada *frame* ke 60, sehingga model kendaraan bergerak melewati jalan yang bergelombang tersebut sesuai dengan kontur jalan tersebut.



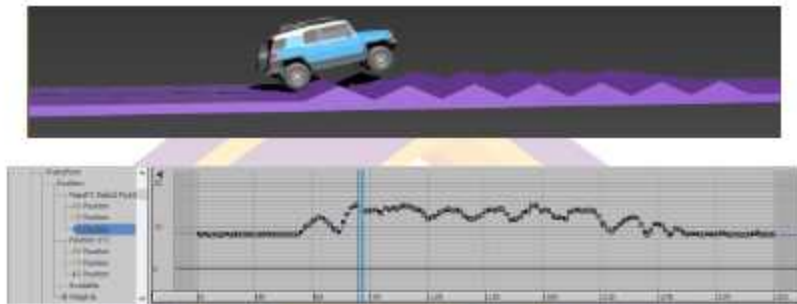
Gambar 4.18 Skenario Jalan Bergelombang *frame* 60

Pada gambar 4.19 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 75 dan kurva menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z ke arah bawah. Artinya perubahan tersebut terjadi karena adanya tumbukan pada *frame* ke 75, sehingga model kendaraan bergerak melewati jalan yang bergelombang tersebut sesuai dengan kontur jalan tersebut.



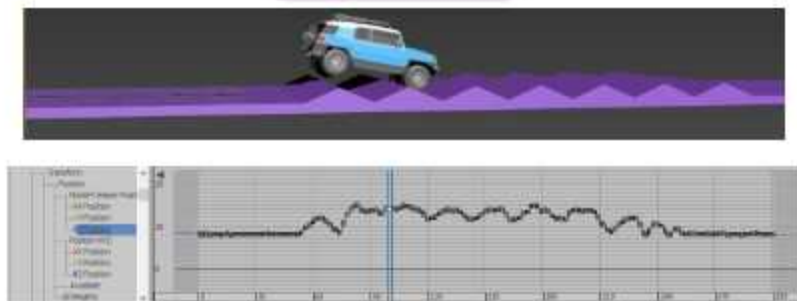
Gambar 4.19 Skenario Jalan Bergelombang *frame* 75

Pada gambar 4.20 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 85 dan kurva menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z ke arah atas. Artinya perubahan tersebut terjadi karena adanya tumbukan pada *frame* ke 85, sehingga model kendaraan bergerak melayang melewati jalan yang bergelombang tersebut sesuai dengan kontur jalan tersebut.



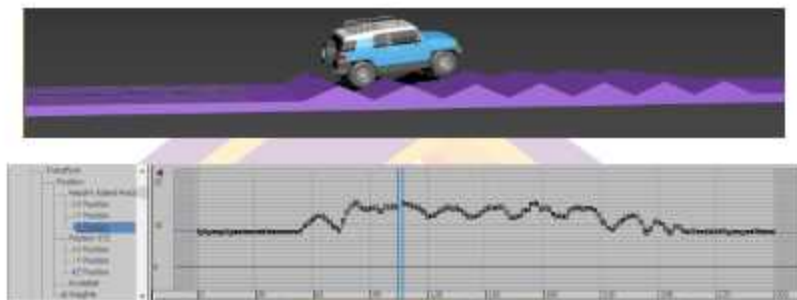
Gambar 4.20 Skenario Jalan Bergelombang *frame* 85

Pada gambar 4.21 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 100 dan kurva menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z ke arah bawah. Artinya perubahan tersebut terjadi karena adanya tumbukan pada *frame* ke 100, sehingga model kendaraan bergerak melewati jalan yang bergelombang tersebut sesuai dengan kontur jalan tersebut.



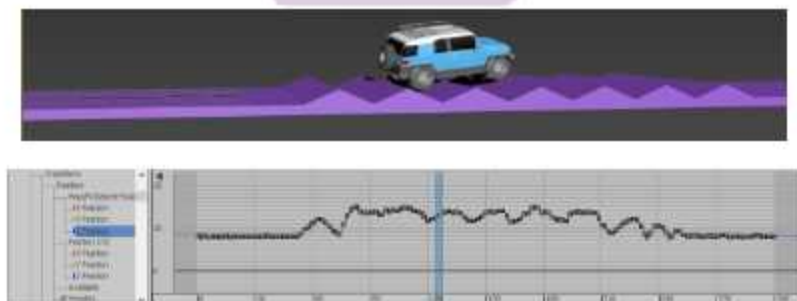
Gambar 4.21 Skenario Jalan Bergelombang *frame* 100

Pada gambar 4.22 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 105 dan kurva menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z ke arah atas. Artinya perubahan tersebut terjadi karena adanya tumbukan pada *frame* ke 105, sehingga model kendaraan bergerak melewati jalan yang bergelombang tersebut sesuai dengan kontur jalan tersebut.



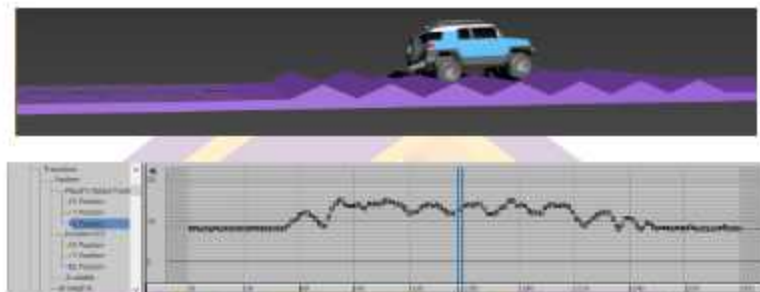
Gambar 4.22 Skenario Jalan Bergelombang *frame* 105

Pada gambar 4.23 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 125 dan kurva menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z ke arah bawah. Artinya perubahan tersebut terjadi karena adanya tumbukan pada *frame* ke 125, sehingga model kendaraan bergerak melewati jalan yang bergelombang tersebut sesuai dengan kontur jalan tersebut.



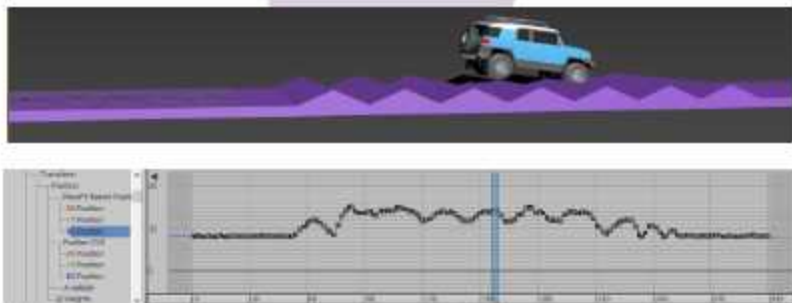
Gambar 4.23 Skenario Jalan Bergelombang *frame* 125

Pada gambar 4.24 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 147 dan kurva menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z ke arah atas. Artinya perubahan tersebut terjadi karena adanya tumbukan pada *frame* ke 147, sehingga model kendaraan bergerak melewati jalan yang bergelombang tersebut sesuai dengan kontur jalan tersebut.



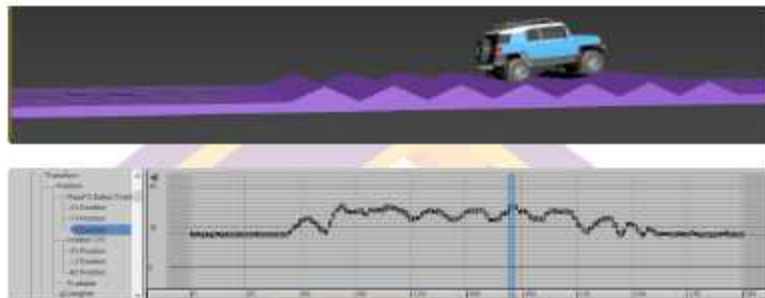
Gambar 4.24 Skenario Jalan Bergelombang *frame* 147

Pada gambar 4.25 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 158 dan kurva menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z ke arah bawah. Artinya perubahan tersebut terjadi karena adanya tumbukan pada *frame* ke 158, sehingga model kendaraan bergerak melewati jalan yang bergelombang tersebut sesuai dengan kontur jalan tersebut.



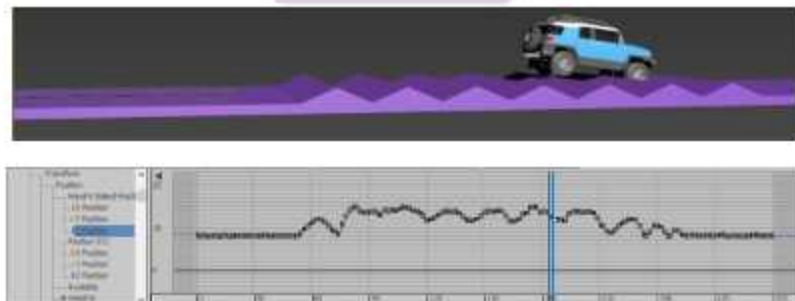
Gambar 4.25 Skenario Jalan Bergelombang *frame* 158

Pada gambar 4.26 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 175 dan kurva menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z ke arah bawah. Artinya perubahan tersebut terjadi karena adanya tumbukan pada *frame* ke 175, sehingga model kendaraan bergerak melewati jalan yang bergelombang tersebut sesuai dengan kontur jalan tersebut.



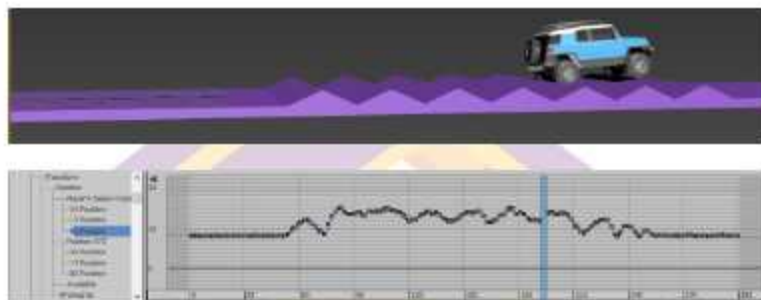
Gambar 4.26 Skenario Jalan Bergelombang *frame* 175

Pada gambar 4.27 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 185 dan kurva menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z ke arah atas. Artinya perubahan tersebut terjadi karena adanya tumbukan pada *frame* ke 185, sehingga model kendaraan bergerak melewati jalan yang bergelombang tersebut sesuai dengan kontur jalan tersebut.



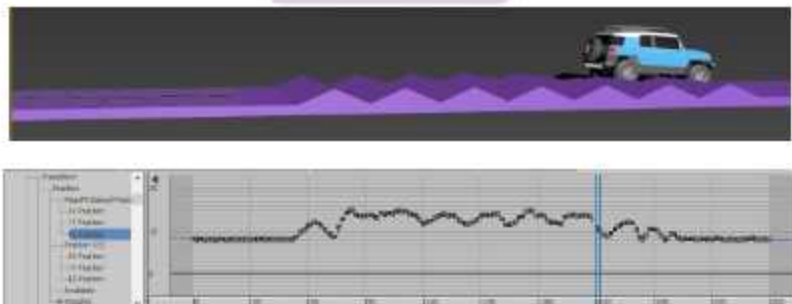
Gambar 4.27 Skenario Jalan Bergelombang *frame* 185

Pada gambar 4.28 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 193 dan kurva menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z ke arah atas. Artinya perubahan tersebut terjadi karena adanya tumbukan pada *frame* ke 193, sehingga model kendaraan bergerak melewati jalan yang bergelombang tersebut sesuai dengan kontur jalan tersebut.



Gambar 4.28 Skenario Jalan Bergelombang *frame* 193

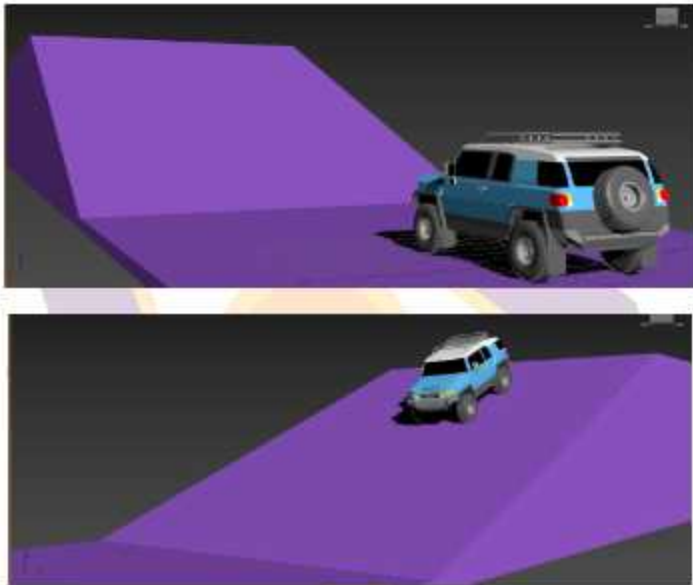
Pada gambar 4.29 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 210 dan kurva menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z ke arah bawah. Artinya perubahan tersebut terjadi karena adanya tumbukan pada *frame* ke 210, sehingga model kendaraan bergerak melewati jalan yang bergelombang tersebut sesuai dengan kontur jalan tersebut.



Gambar 4.29 Skenario Jalan Bergelombang *frame* 210

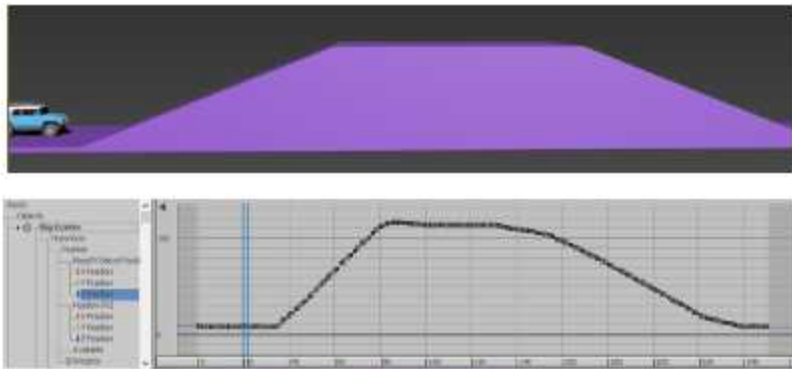
4.3.2. Skenario Tanjakan dan Turunan

Berikut gambar 4.30 yang menunjukkan posisi pada pandangan perspektif model kendaraan pada skenario percobaan model kendaraan berjalan pada jalan menanjak dan menurun. Parameter untuk percobaan ini yaitu massa = 1946 kg, gaya gravitasi = -981.001 cm/s^2 , gaya dorong = 250.000 Newton.



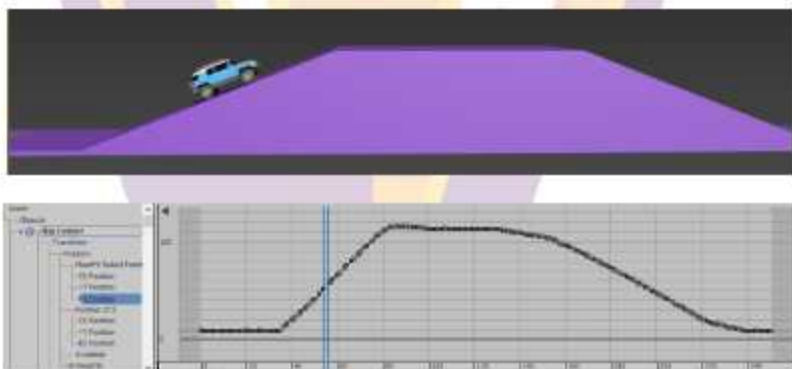
Gambar 4.30 Perspektif Skenario Tanjakan dan Turunan

Pada gambar 4.31 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 20 dan kurva tidak menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z. Artinya perubahan tersebut tidak terjadi karena belum adanya tumbukan pada *frame* ke 20, sehingga model kendaraan hanya bergerak biasa melewati jalan.



Gambar 4.31 Skenario Tanjakan dan Turunan *frame* 20

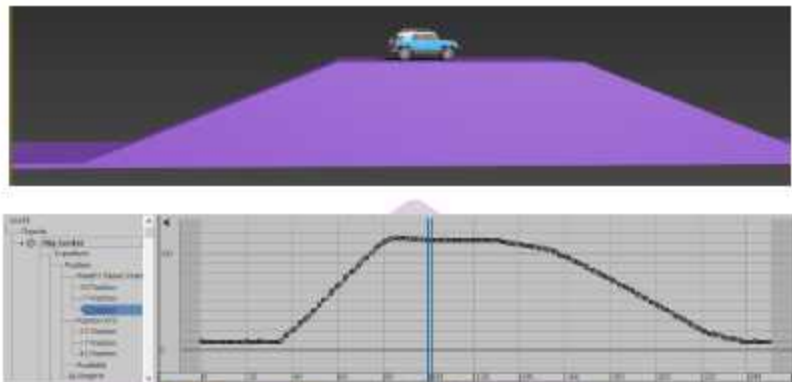
Pada gambar 4.32 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 55 dan kurva menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z ke arah atas. Artinya perubahan tersebut terjadi karena adanya tumbukan pada *frame* ke 55, sehingga model kendaraan bergerak melewati jalan yang menanjak tersebut.



Gambar 4.32 Skenario Tanjakan dan Turunan *frame* 55

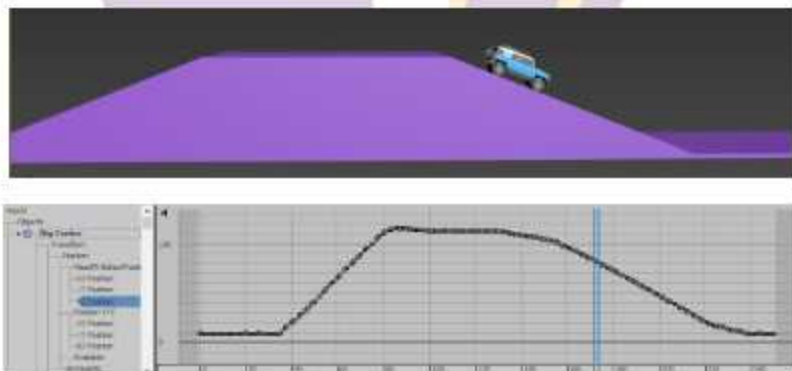
Pada gambar 4.33 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 100 dan kurva tidak menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z. Artinya perubahan tersebut tidak terjadi karena pada saat posisi model kendaraan di atas

keadaan jalan datar dan tidak ada tumbukan pada *frame* ke 100, sehingga model kendaraan hanya bergerak biasa melewati jalan.



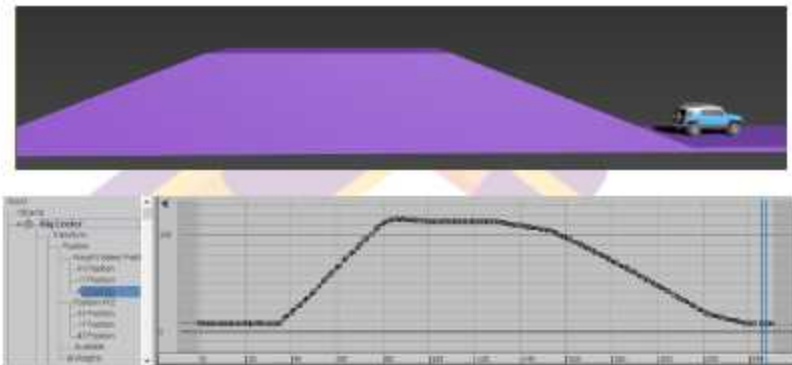
Gambar 4.33 Skenario Tanjakan dan Turunan *frame* 100

Pada gambar 4.34 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 175 dan kurva menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z ke arah bawah. Artinya perubahan tersebut terjadi karena adanya tumbukan pada *frame* ke 175, sehingga model kendaraan bergerak melewati jalan yang menurun tersebut.



Gambar 4.34 Skenario Tanjakan dan Turunan *frame* 175

Pada gambar 4.35 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 250 dan kurva tidak menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z. Artinya perubahan tersebut tidak terjadi karena pada saat posisi model kendaraan di bawah keadaan jalan datar dan tidak ada tumbukan pada *frame* ke 250, sehingga model kendaraan hanya bergerak biasa melewati jalan yang datar.



Gambar 4.35 Skenario Tanjakan dan Turunan *frame* 250

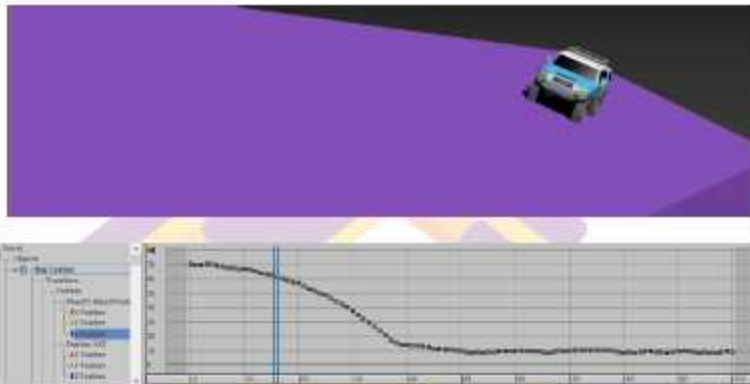
4.3.3. Skenario Bidang Miring

Berikut gambar 4.36 yang menunjukkan posisi pada pandangan perspektif model kendaraan pada skenario percobaan model kendaraan berjalan pada bidang miring. Parameter untuk percobaan ini yaitu massa = 1946 kg, gaya gravitasi = -981.001 cm/s^2 , gaya dorong = 500.000 Newton.



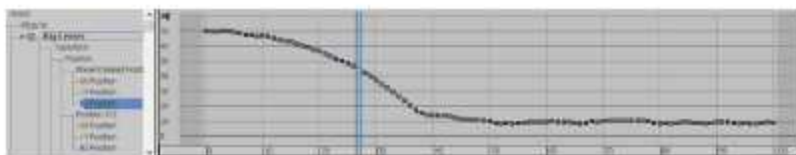
Gambar 4.36 Perspektif Skenario Bidang Miring

Pada gambar 4.37 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 15 dan kurva menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z ke arah bawah. Artinya perubahan tersebut terjadi karena adanya gravitasi pada *frame* ke 15, sehingga model kendaraan bergerak menuruni bidang miring tersebut.



Gambar 4.37 Skenario Bidang Miring *frame* 15

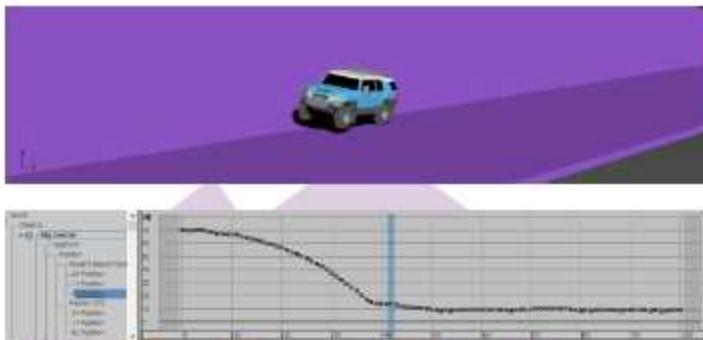
Pada gambar 4.38 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 27 dan kurva menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z ke arah bawah. Artinya perubahan tersebut terjadi karena adanya gravitasi pada *frame* ke 27, sehingga model kendaraan bergerak menuruni bidang miring tersebut sesuai dengan kontur jalan tersebut.



Gambar 4.38 Skenario Bidang Miring *frame* 27

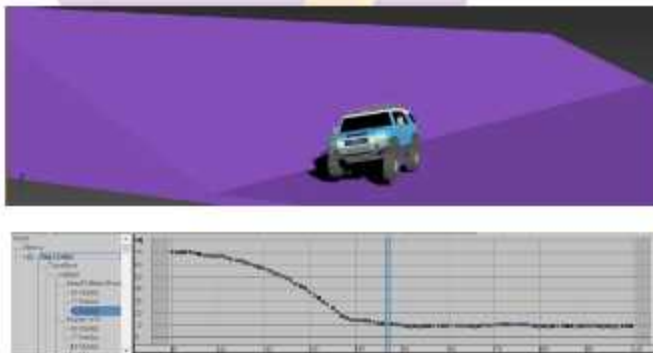
Pada gambar 4.39 tersebut menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 42 dan kurva menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z ke arah bawah.

Artinya perubahan tersebut terjadi karena adanya gravitasi pada *frame* ke 42, sehingga model kendaraan bergerak menuruni bidang miring tersebut sesuai dengan bentuk jalan tersebut.



Gambar 4.39 Skenario Bidang Miring *frame* 42

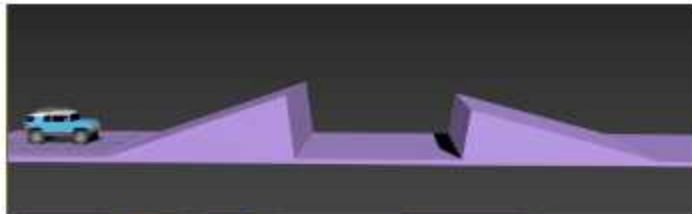
Pada gambar 4.40 tersebut menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 47 dan kurva tidak menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z. Artinya perubahan tersebut tidak terjadi karena pada saat posisi model kendaraan di bawah keadaan jalan datar dan tidak ada tumbukan pada *frame* ke 47, sehingga model kendaraan hanya bergerak biasa melewati jalan.



Gambar 4.40 Skenario Bidang Miring *frame* 47

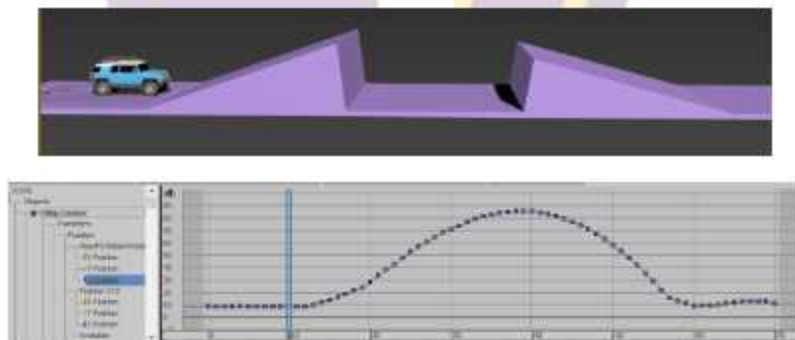
4.3.4. Skenario Ramp To Ramp

Berikut gambar 4.41 yang menunjukkan posisi pada pandangan perspektif model kendaraan pada skenario percobaan model kendaraan berjalan pada jalan menanjak dan menurun. Parameter untuk percobaan ini yaitu massa = 1946 kg, gaya gravitasi = -981.001 cm/s^2 , gaya dorong = 500.000 Newton.



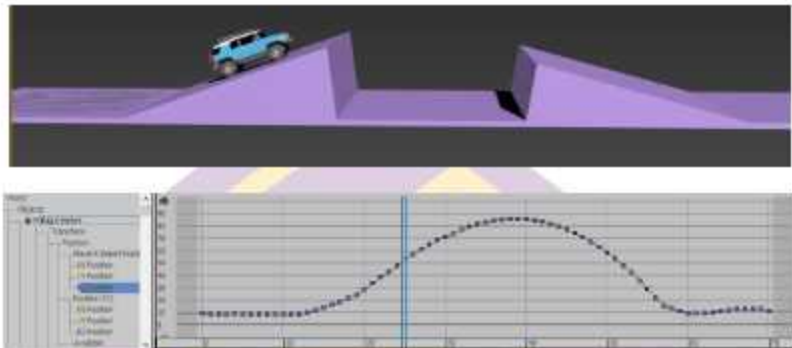
Gambar 4.41 Perspektif Skenario Ramp to Ramp

Pada gambar 4.42 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 10 dan kurva belum menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z. Artinya perubahan tersebut tidak terjadi karena belum adanya tumbukan pada *frame* ke 10, sehingga model kendaraan hanya bergerak biasa melewati jalan.



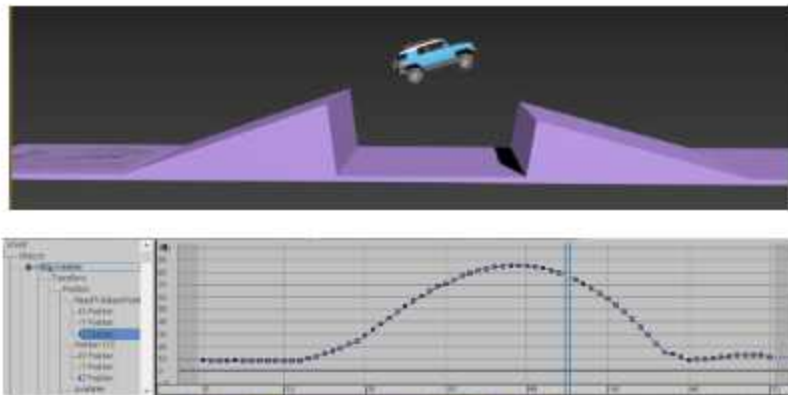
Gambar 4.42 Skenario Ramp to Ramp *frame* 10

Pada gambar 4.43 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 25 dan kurva menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z ke arah atas. Artinya perubahan tersebut terjadi karena adanya tumbukan pada *frame* ke 25, sehingga model kendaraan bergerak melewati jalan yang menanjak tersebut.



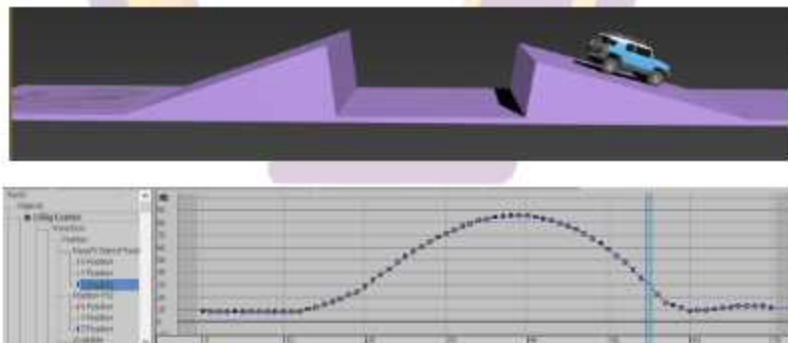
Gambar 4.43 Skenario Ramp to Ramp *frame* 25

Pada gambar 4.44 tersebut menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 45 dan kurva menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z ke arah atas. Artinya perubahan tersebut terjadi karena posisi model kendaraan sedang melayang pada *frame* ke 45, sehingga model kendaraan bergerak melompati lereng menuju ke lereng selanjutnya.



Gambar 4.44 Skenario Ramp to Ramp *frame* 45

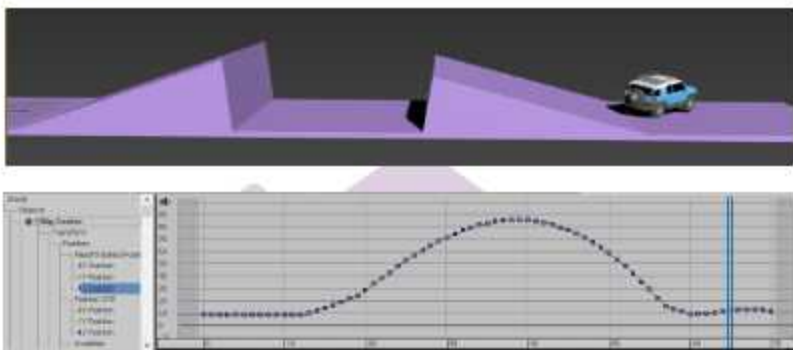
Pada gambar 4.45 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 55 dan kurva menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z ke arah bawah. Artinya perubahan tersebut terjadi karena adanya tumbukan pada *frame* ke 55, sehingga model kendaraan bergerak melewati jalan yang menurun tersebut sesuai dengan kontur jalan tersebut.



Gambar 4.45 Skenario Ramp to Ramp *frame* 55

Pada gambar 4.46 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 65 dan kurva tidak menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z. Artinya perubahan

tersebut tidak terjadi karena pada saat posisi model kendaraan di bawah keadaan jalan datar dan tidak ada tumbukan pada *frame* ke 65, sehingga model kendaraan hanya bergerak biasa melewati jalan yang datar.



Gambar 4.46 Skenario Ramp to Ramp *frame* 65

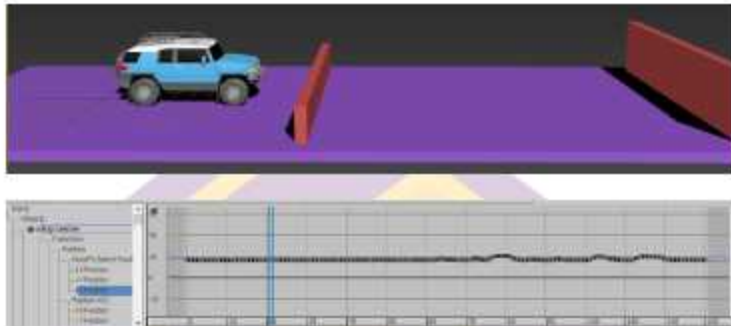
4.3.5. Skenario Menabrak Dinding

Berikut gambar 4.47 yang menunjukkan posisi pada pandangan perspektif model kendaraan pada skenario percobaan model kendaraan berjalan pada jalan menanjak dan menurun. Parameter untuk percobaan ini yaitu massa = 1946 kg, gaya gravitasi = -981.001 cm/s^2 , gaya dorong = 90.000 Newton.



Gambar 4.47 Perspektif Skenario Menabrak Dinding

Pada gambar 4.48 tersebut menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 20 dan kurva belum menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z. Artinya perubahan tersebut tidak terjadi karena belum adanya tumbukan pada *frame* ke 20, sehingga model kendaraan hanya bergerak biasa melewati jalan.



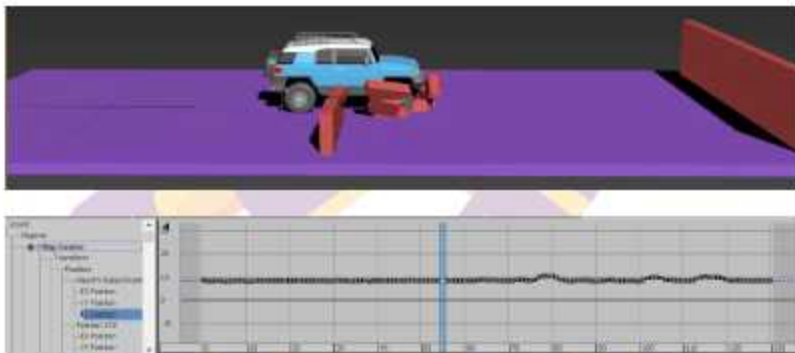
Gambar 4.48 Skenario Menabrak Dinding *frame* 20

Pada gambar 4.49 tersebut menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 50 dan kurva menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z ke arah bawah. Artinya perubahan tersebut terjadi karena adanya tumbukan dan penurunan kecepatan pada laju model kendaraan pada *frame* ke 50, sehingga model kendaraan bergerak menabrak dinding yang menghalangi jalannya.



Gambar 4.49 Skenario Menabrak Dinding *frame* 50

Pada gambar 4.50 tersebut menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 55 dan kurva menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z ke arah bawah. Artinya perubahan tersebut terjadi karena adanya tumbukan dan penurunan kecepatan pada laju model kendaraan pada *frame* ke 55, sehingga model kendaraan bergerak menabrak dinding yang menghalangi jalannya.



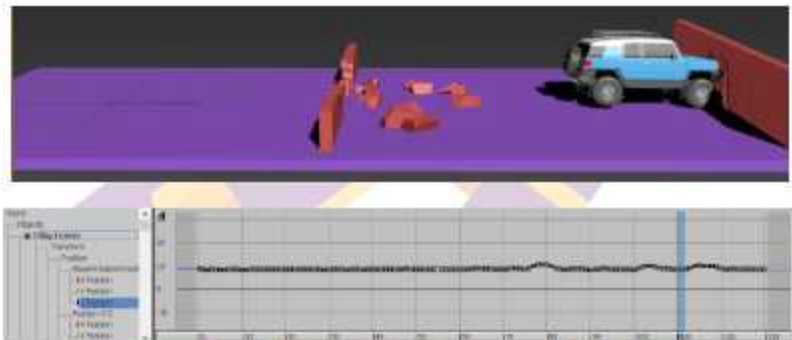
Gambar 4.50 Skenario Menabrak Dinding *frame* 55

Pada gambar 4.51 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 90 dan kurva menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z ke arah bawah. Artinya erubahan tersebut terjadi setelah adanya tumbukan dan menyebabkan penurunan kecepatan pada laju model kendaraan pada *frame* ke 90, sehingga model kendaraan bergerak melambat.



Gambar 4.51 Skenario Menabrak Dinding *frame* 90

Pada gambar 4.52 menunjukkan model kendaraan bergerak dan pada *frame* ke 110 dan kurva menunjukkan perubahan pada posisi sumbu Z ke arah bawah. Artinya perubahan tersebut terjadi karena adanya tumbukan dan penurunan kecepatan pada laju model kendaraan pada *frame* ke 110, sehingga model kendaraan bergerak menabrak dinding yang menghalangi jalannya.



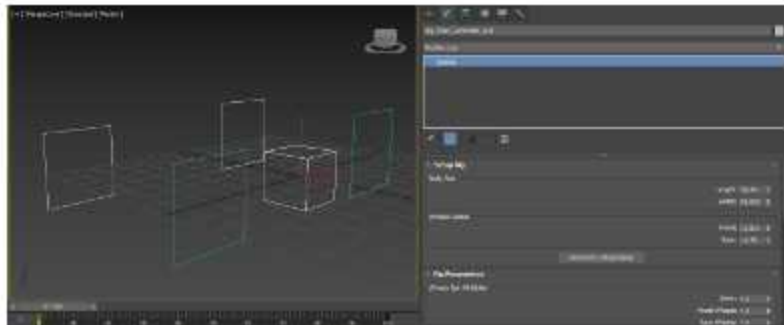
Gambar 4.52 Skenario Menabrak Dinding *frame* 110

4.4. Validation

Untuk membuktikan bahwa metode implementasi *rigid body* pada *rigging* dapat memberikan hasil yang sesuai dengan indikator keberhasilan, maka pada tahap *validation* akan membandingkan hasil *rigging* yang sudah diimplementasikan *rigid body* di dalamnya dengan hasil *rigging* menggunakan *tool driver master*. Dimana *driver master* merupakan sebuah *tool* tambahan untuk software *3D Studio Max* yang mampu memberikan proses pengaturan yang cepat, suspensi yang dinamis, *ground detection*, dan atribut untuk menggerakkan mobil untuk animasi yang dihasilkan (e-armand, 2018).

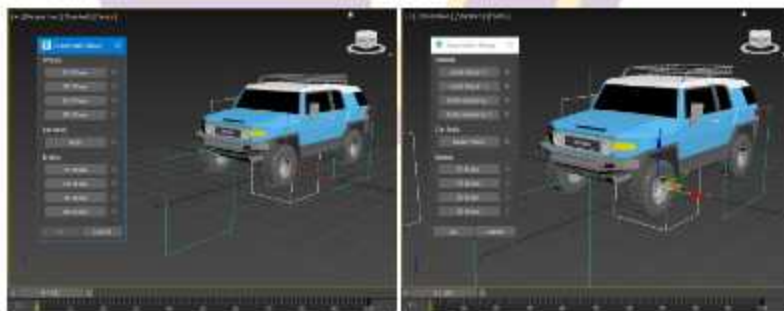
Pada perbandingan ini menggunakan model kendaraan tiga dimensi yang sama yaitu *Toyota FJ Cruiser 2007*, perlakuan yang sama (jalan bergelombang, *ramp to*

ramp, bidang miring, tanjakan dan turunan, menabrak dinding), dan indikator keberhasilan yang sama (tumbukan, gaya, massa). Perbandingan ini ditujukan untuk memperoleh hasil berupa kelebihan dan kelemahan dari masing-masing metode *rigging* dalam menghasilkan gerakan animasi yang dinamis.



Gambar 4.53 Kerangka Kendali Pada *Driver Master*

Pada gambar 4.53 menunjukkan kerangka kendali dan menu pada *tool driver master*. Di dalam viewport terdapat lima dummy yang nantinya dipasang pada setiap bagian model kendaraan tiga dimensi.



Gambar 4.54 Pemasangan kerangka kendali

Pada gambar 4.54 tersebut terdapat menu yang digunakan untuk memasang kerangka kendali pada model kendaraan. Menu tersebut diantaranya FL Wheel, FR

Wheel, BL Wheel, BR Wheel, dan Body. Dimana menu tadi dipilih sesuai dengan bagian-bagian pada model kendaraan tiga dimensi.

Hasil dari pemasangan kerangka kendali menggunakan driver master lebih cepat dibandingkan dengan cara manual. Selanjutnya untuk menggerakkan model kendaraan harus menggunakan *path* atau jalur yang harus dipersiapkan berupa garis. Serta pada tool ini tidak bisa menerapkan tumbukan, masa, dan gaya karena metode yang digunakan dalam driver master menggunakan ground detection. Dimana metode ini memanfaatkan platform yang digunakan sebagai pijakan atau jalan yang dilalui model kendaraan tiga dimensi. Berikut gambar 4.55 yang menunjukkan hasil pengaturan model kendaraan yang siap di animasikan.



Gambar 4.55 Pengaturan Jalur Kendaraan

Pada percobaan dengan skenario jalan bergelombang, model kendaraan bergerak mengikuti kontur jalan yang bergelombang. Namun pada kurva tidak terjadi perubahan atau rekaman posisi sumbu yang bergerak. Hal ini disebabkan karena metode yang digunakan *driver master* hanya mendeteksi pola jalan yang dilalui model kendaraan bukan berdasarkan tumbukan antara model kendaraan

dengan jalan. Berikut gambar 4.56 yang menunjukkan gerakan model kendaraan pada *frame* 20.



Gambar 4.56 Skenario Jalan Bergelombang *frame* 20

Pada gambar 4.57 tersebut pada *frame* 49 secara visual menunjukkan perubahan gerakan model kendaraan, namun tidak ada perubahan posisi pada kurva. Hal ini menunjukkan bahwa gerakan model kendaraan muncul karena mengikuti *path* atau jalur yang sebelumnya telah dibuat.



Gambar 4.57 Skenario Jalan Bergelombang *frame* 49

Pada gambar 4.58 tersebut pada *frame* 62 secara visual menunjukkan perubahan gerakan model kendaraan, namun tidak ada perubahan posisi pada kurva. Hal ini juga menunjukkan bahwa gerakan model kendaraan muncul karena mengikuti *path* atau jalur yang sebelumnya telah dibuat.



Gambar 4.60 Skenario Jalan Bergelombang *frame 77*

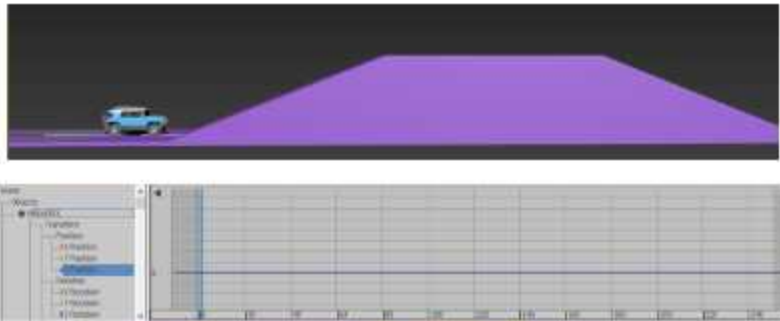
Pada gambar 4.61 pada *frame 97* secara visual menunjukkan perubahan gerakan model kendaraan, namun tidak ada perubahan posisi pada kurva. Hal ini juga menunjukkan bahwa gerakan model kendaraan muncul karena mengikuti *path* atau jalur yang sebelumnya telah dibuat.



Gambar 4.61 Skenario Jalan Bergelombang *frame 97*

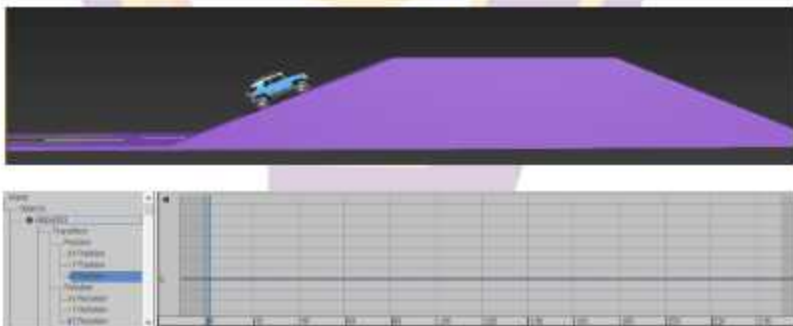
Pada percobaan dengan skenario jalan yang menanjak dan menurun, model kendaraan bergerak mengikuti tanjakan dan turunan pada jalan tersebut. Namun pada kurva tidak terjadi perubahan atau rekaman posisi sumbu yang bergerak. Hal ini disebabkan karena metode yang digunakan driver *master hanya* mendeteksi pola jalan yang dilalui model kendaraan bukan berdasarkan tumbukan antara model

kendaraan dengan jalan. Berikut gambar 4.62 yang menunjukkan gerakan model kendaraan pada *frame* 40.



Gambar 4.62 Skenario Tanjakan dan Turunan *frame* 40

Pada gambar 4.63 pada *frame* 85 secara visual menunjukkan perubahan gerakan model kendaraan, namun tidak ada perubahan posisi pada kurva. Hal ini menunjukkan bahwa gerakan model kendaraan muncul karena mengikuti *path* atau jalur yang sebelumnya telah dibuat.



Gambar 4.63 Skenario Tanjakan dan Turunan *frame* 85

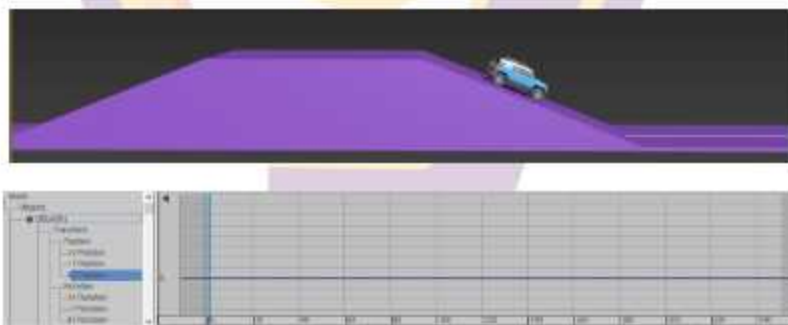
Pada gambar 4.64 pada *frame* 120 secara visual menunjukkan perubahan gerakan model kendaraan, namun tidak ada perubahan posisi pada kurva. Hal ini

juga menunjukkan bahwa gerakan model kendaraan muncul karena mengikuti *path* atau jalur yang sebelumnya telah dibuat.



Gambar 4.64 Skenario Tanjakan dan Turunan *frame* 120

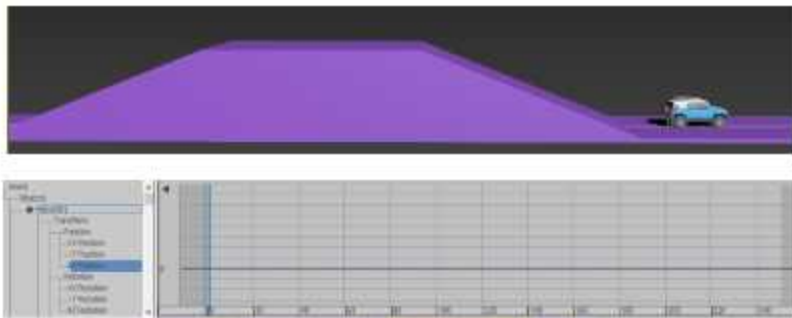
Pada gambar 4.65 pada *frame* 155 secara visual menunjukkan perubahan gerakan model kendaraan, namun tidak ada perubahan posisi pada kurva. Hal ini juga menunjukkan bahwa gerakan model kendaraan muncul karena mengikuti *path* atau jalur yang sebelumnya telah dibuat.



Gambar 4.65 Skenario Tanjakan dan Turunan *frame* 155

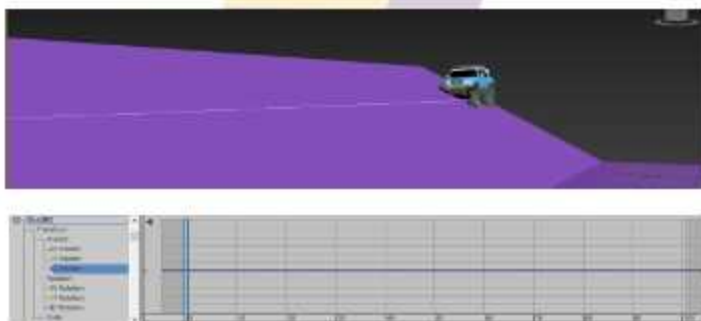
Pada gambar 4.66 pada *frame* 185 secara visual menunjukkan perubahan gerakan model kendaraan, namun tidak ada perubahan posisi pada kurva. Hal ini

juga menunjukkan bahwa gerakan model kendaraan muncul karena mengikuti *path* atau jalur yang sebelumnya telah dibuat.



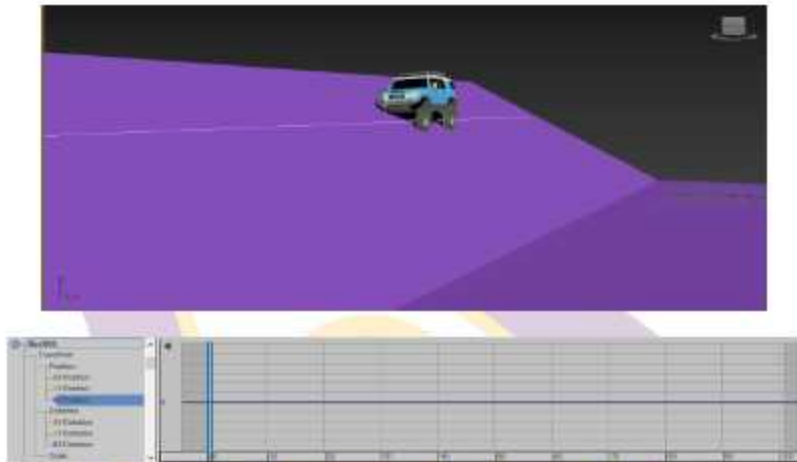
Gambar 4.66 Skenario Tanjakan dan Turunan *frame* 185

Pada percobaan dengan skenario pada bidang miring, model kendaraan bergerak mengikuti bidang dengan keniringan 25 derajat. Namun pada kurva tidak terjadi perubahan atau rekaman posisi sumbu yang bergerak. Hal ini disebabkan karena metode yang digunakan *driver master* hanya mendeteksi pola jalan yang dilalui model kendaraan bukan berdasarkan tumbukan antara model kendaraan dengan jalan. Berikut gambar 4.67 yang menunjukkan gerakan model kendaraan pada *frame* 20.



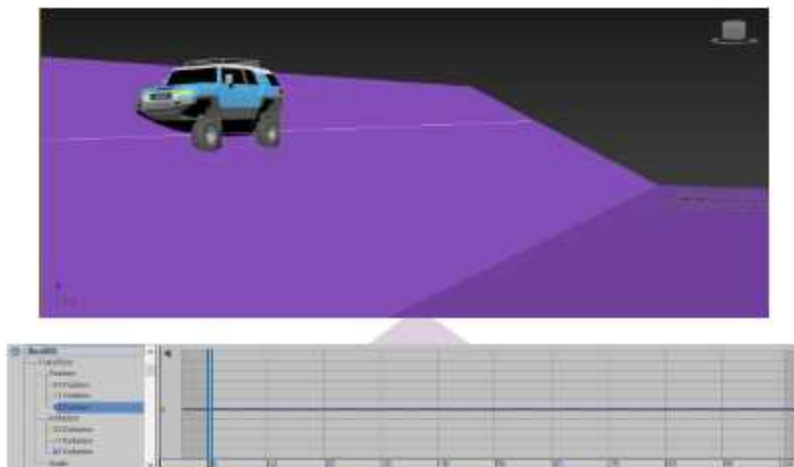
Gambar 4.67 Skenario Bidang Miring *frame* 20

Pada gambar 4.68 pada *frame* 30 secara visual menunjukkan perubahan gerakan model kendaraan, namun tidak ada perubahan posisi pada kurva. Hal ini menunjukkan bahwa gerakan model kendaraan muncul karena mengikuti *path* atau jalur yang sebelumnya telah dibuat.



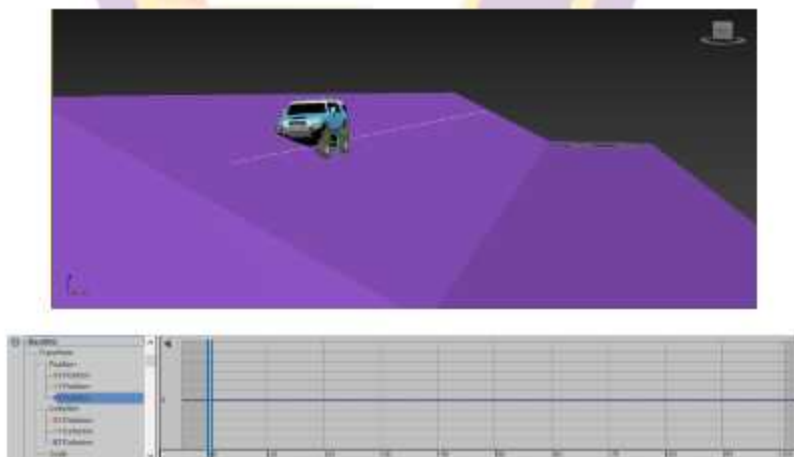
Gambar 4.68 Skenario Bidang Miring *frame* 30

Pada gambar 4.69 pada *frame* 45 secara visual menunjukkan perubahan gerakan model kendaraan, namun tidak ada perubahan posisi pada kurva. Hal ini menunjukkan bahwa gerakan model kendaraan muncul karena mengikuti *path* atau jalur yang sebelumnya telah dibuat.



Gambar 4.69 Skenario Bidang Miring *frame* 45

Pada gambar 4.70 pada *frame* 80 secara visual menunjukkan perubahan gerakan model kendaraan, namun tetap tidak ada perubahan posisi pada kurva. Hal ini menunjukkan bahwa gerakan model kendaraan muncul karena mengikuti *path* atau jalur yang sebelumnya telah dibuat.



Gambar 4.70 Skenario Bidang Miring *frame* 80

Pada percobaan dengan skenario *ramp to ramp* atau melompati lereng, model kendaraan dapat bergerak melompati lereng. Namun pada kurva tidak terjadi perubahan atau rekaman posisi sumbu yang bergerak. Hal ini disebabkan karena metode yang digunakan driver *master* hanya mendeteksi pola jalan yang dilalui model kendaraan bukan berdasarkan tumbukan antara model kendaraan dengan kontur jalan. Berikut gambar 4.71 yang menunjukkan gerakan model kendaraan pada *frame* 15.



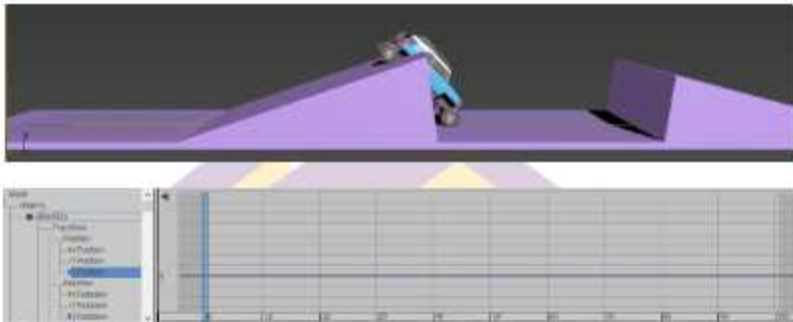
Gambar 4.71 Skenario Ramp To Ramp *frame* 15

Pada gambar 4.72 pada *frame* 32 secara visual menunjukkan perubahan gerakan model kendaraan, namun tidak ada perubahan posisi pada kurva. Hal ini menunjukkan bahwa gerakan model kendaraan muncul karena mengikuti *path* atau jalur yang sebelumnya telah dibuat.



Gambar 4.72 Skenario Ramp To Ramp *frame* 32

Pada gambar 4.73 pada *frame* 39 secara visual menunjukkan perubahan gerakan model kendaraan, namun tidak ada perubahan posisi pada kurva. Hal ini juga menunjukkan bahwa gerakan model kendaraan muncul karena mengikuti *path* atau jalur yang sebelumnya telah dibuat.



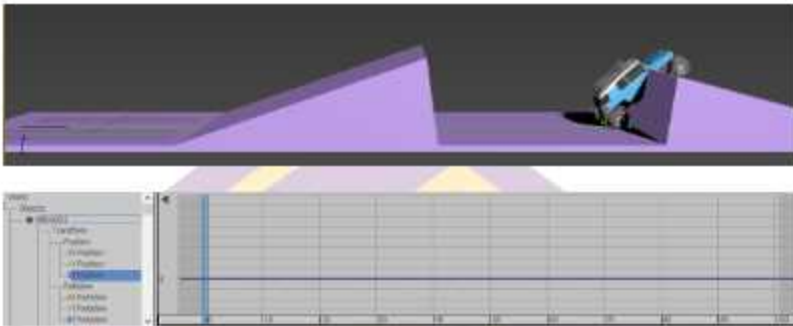
Gambar 4.73 Skenario Ramp To Ramp *frame* 39

Pada gambar 4.74 pada *frame* 48 secara visual menunjukkan perubahan gerakan model kendaraan, namun kendaraan tidak melompat serta tidak ada perubahan posisi pada kurva. Hal ini juga menunjukkan bahwa gerakan model kendaraan muncul karena mengikuti *path* atau jalur yang sebelumnya telah dibuat.



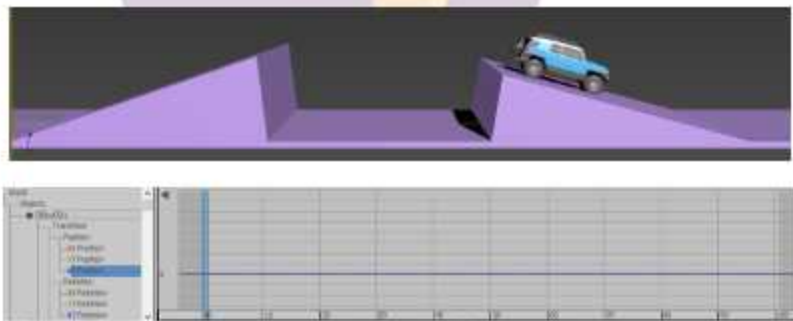
Gambar 4.74 Skenario Ramp To Ramp *frame* 48

Pada gambar 4.75 pada *frame* 55 secara visual menunjukkan perubahan gerakan model kendaraan, namun tidak ada perubahan posisi pada kurva. Hal ini juga menunjukkan bahwa gerakan model kendaraan muncul karena mengikuti *path* atau jalur yang sebelumnya telah dibuat.



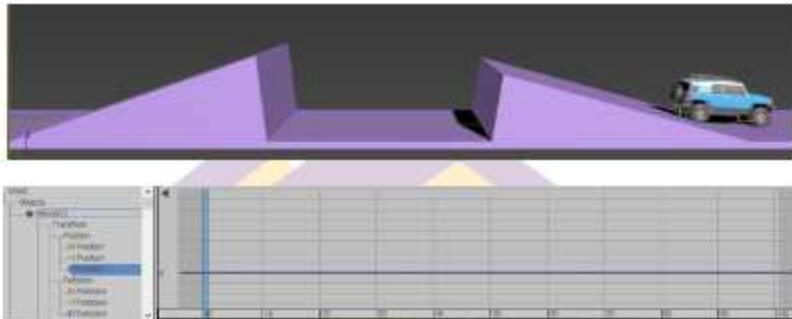
Gambar 4.75 Skenario Ramp To Ramp *frame* 55

Pada gambar 4.76 pada *frame* 60 secara visual menunjukkan perubahan gerakan model kendaraan, namun tidak ada perubahan posisi pada kurva. Hal ini juga menunjukkan bahwa gerakan model kendaraan muncul karena mengikuti *path* atau jalur yang sebelumnya telah dibuat.



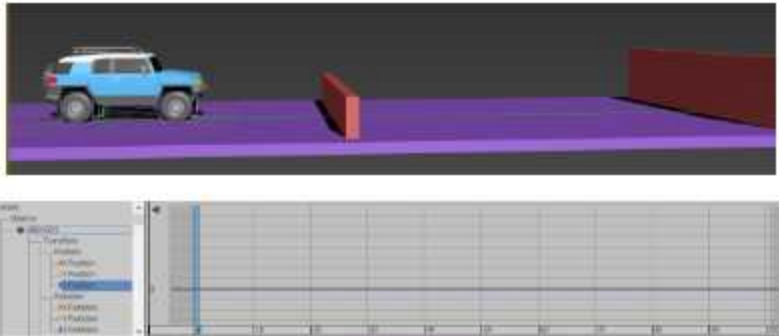
Gambar 4.76 Skenario Ramp To Ramp *frame* 60

Pada gambar 4.77 pada *frame* 78 secara visual menunjukkan perubahan gerakan model kendaraan, namun tidak ada perubahan posisi pada kurva. Hal ini juga menunjukkan bahwa gerakan model kendaraan muncul karena mengikuti *path* atau jalur yang sebelumnya telah dibuat.



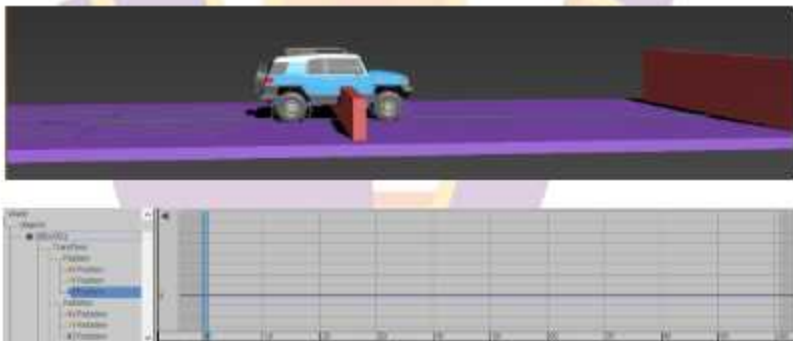
Gambar 4.77 Skenario Ramp To Ramp *frame* 78

Pada percobaan dengan skenario menabrak dinding, model kendaraan seharusnya dapat bergerak menabrak dinding, yang terjadi adalah kendaraan tersebut hanya berjalan menembus dinding. Namun pada kurva tidak terjadi perubahan atau rekaman posisi sumbu yang bergerak. Hal ini disebabkan karena metode yang digunakan driver *master* hanya mendeteksi pola jalan yang dilalui model kendaraan bukan berdasarkan tumbukan antara model kendaraan dengan dinding yang menghalangi jalan. Berikut gambar 4.78 yang menunjukkan gerakan model kendaraan pada *frame* 20.



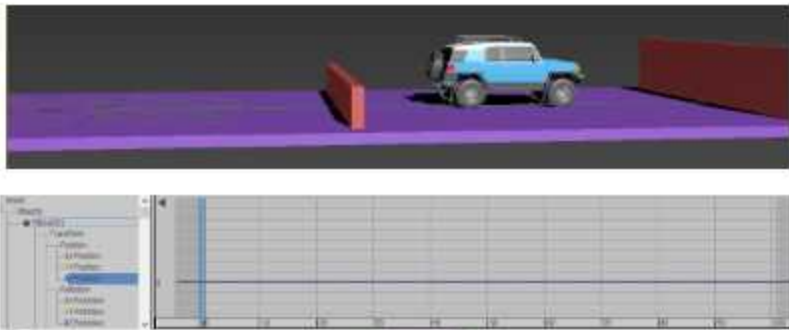
Gambar 4.78 Skenario Menabrak Dinding *frame* 20

Pada gambar 4.79 pada *frame* 46 secara visual menunjukkan perubahan gerakan model kendaraan, namun tidak ada perubahan posisi pada kurva. Hal ini menunjukkan bahwa gerakan model kendaraan muncul karena mengikuti *path* atau jalur yang sebelumnya telah dibuat.



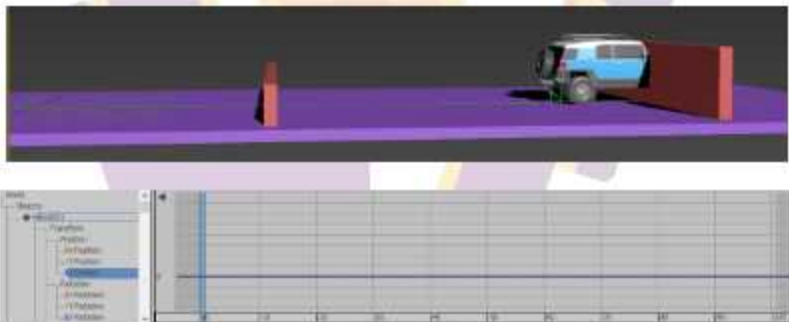
Gambar 4.79 Skenario Menabrak Dinding *frame* 46

Pada gambar 4.80 pada *frame* 72 secara visual menunjukkan perubahan gerakan model kendaraan, namun tidak ada perubahan posisi pada kurva. Hal ini juga menunjukkan bahwa gerakan model kendaraan muncul karena mengikuti *path* atau jalur yang sebelumnya telah dibuat.



Gambar 4.80 Skenario Menabrak Dinding *frame* 72

Pada gambar 4.81 pada *frame* 90 secara visual menunjukkan perubahan gerakan model kendaraan, namun tidak ada perubahan posisi pada kurva. Hal ini juga menunjukkan bahwa gerakan model kendaraan muncul karena mengikuti *path* atau jalur yang sebelumnya telah dibuat.

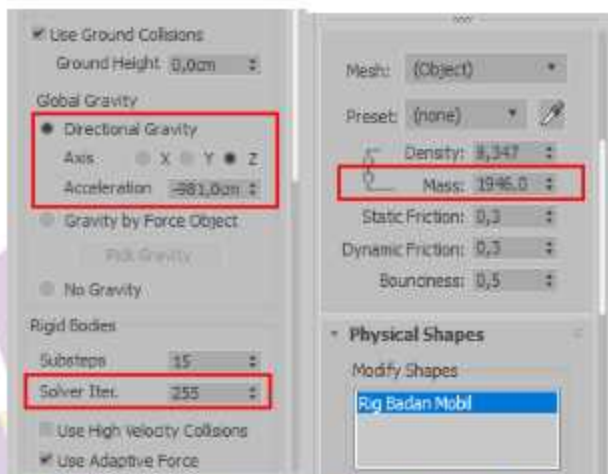


Gambar 4.81 Skenario Menabrak Dinding *frame* 90

4.5. Perbandingan Hasil Percobaan Tumbukan

Berikut ini adalah hasil perbandingan hasil tumbukan pada lintasan antara model kendaraan sebelum implementasi *rigid body* pada *rigging* dengan model kendaraan sesudah implementasi *rigid body* pada *rigging*. Untuk menghasilkan jarak tumbukan antara lintasan dengan model kendaraan yang baik maka dilakukan

eksperimen dengan merubah parameter dari *solver iteration*, ditunjukkan pada gambar 4.82. Dimana parameter ini merupakan pengaturan toleransi jarak tumbukan yang terjadi di antara dua buah objek *rigid*. Angka yang semakin besar akan sangat berguna pada objek dengan rangkaian yang saling terhubung.



Gambar 4.82 Parameter Gravitasi, Massa, dan Toleransi Tumbukan

Gambar 4.82 menunjukkan posisi pada pandangan perspektif model kendaraan pada skenario percobaan model kendaraan berjalan pada jalan menanjak dan menurun. Parameter untuk percobaan ini yaitu massa = 1946 kg, gaya gravitasi = -981.001 cm/s^2 .

4.5.1. Skenario Jalan Bergelombang

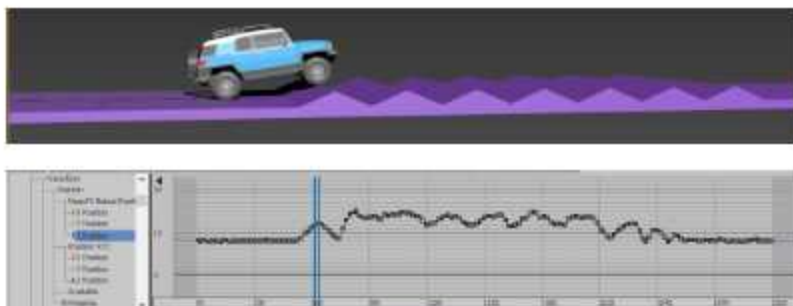


Gambar 4.83 Hasil Animasi dan Kurva Gerakan Model Kendaraan

Tabel 4.1 Sebelum Implementasi *Rigid Body*

Key Frame	Koordinat Lintasan	Koordinat Kendaraan	Selisih
Frame 30	8 cm	8 cm	0 cm
Frame 60	12 cm	8 cm	4 cm
Frame 90	14 cm	8 cm	8 cm
Frame 120	12 cm	8 cm	4 cm
Frame 150	14 cm	8 cm	8 cm
Frame 180	14 cm	8 cm	8 cm
Frame 210	12 cm	8 cm	4 cm
Frame 240	12 cm	8 cm	4 cm
Frame 270	8 cm	8 cm	0 cm
		Rata - rata	4,44 cm

Pada tabel 4.1 menunjukkan hasil untuk setiap *frame* gerakan animasi pada model kendaraan tiga dimensi belum terjadi tumbukan sama sekali. Dimana dalam tabel tersebut belum ada implementasi *rigid body* pada model kendaraan. Hal tersebut ditunjukkan pada koordinat kendaraan yang tidak berubah mengikuti koordinat lintasan. Artinya model kendaraan hanya bergerak lurus menembus objek lintasan yang dilalui.



Gambar 4.84 Hasil Animasi dan Kurva Gerakan Model Kendaraan

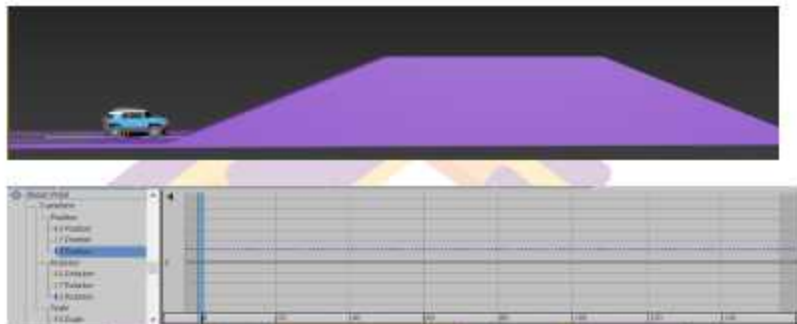
Tabel 4.2 Sesudah Implementasi *Rigid Body*

Key Frame	Koordinat Lintasan	Koordinat Kendaraan	Selisih
Frame 30	8 cm	7,995 cm	0,005 cm
Frame 60	12 cm	11,833 cm	0,167 cm
Frame 90	14 cm	13,626 cm	0,374 cm
Frame 120	12 cm	11,693 cm	0,307 cm
Frame 150	14 cm	13,672 cm	0,328 cm
Frame 180	14 cm	13,796 cm	0,204 cm
Frame 210	12 cm	11,353 cm	0,647 cm
Frame 240	12 cm	10,488 cm	1,512 cm
Frame 270	8 cm	7,900 cm	0,100 cm
		Rata - rata	0,405 cm

Pada tabel 4.2 menunjukkan hasil untuk setiap *frame* gerakan animasi pada model kendaraan tiga dimensi sudah terjadi tumbukan. Dimana dalam tabel tersebut sudah ada implementasi *rigid body* pada model kendaraan. Hal tersebut ditunjukkan pada koordinat kendaraan yang berubah mengikuti koordinat lintasan. Artinya model kendaraan tidak hanya bergerak lurus menembus objek lintasan yang dilalui

namun dapat bergerak mengikuti koordinat dan bentuk lintasan. Untuk hasil koordinat kendaraan yang ditunjukkan dalam tabel tidak sama persis dengan angka yang ditunjukkan pada koordinat lintasan. Hal ini disebabkan adanya gerakan naik turun dari suspensi yang bekerja pada model kendaraan tiga dimensi.

4.5.2. Skenario Tanjakan dan Turunan

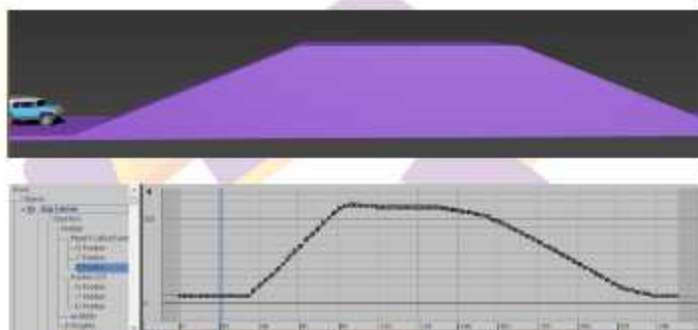


Gambar 4.85 Hasil Animasi dan Kurva Gerakan Model Kendaraan

Tabel 4.3 Sebelum Implementasi *Rigid Body*

Key Frame	Koordinat Lintasan	Koordinat Kendaraan	Selisih
Frame 20	9 cm	9 cm	0 cm
Frame 40	22 cm	9 cm	13 cm
Frame 60	68 cm	9 cm	59 cm
Frame 80	112 cm	9 cm	103 cm
Frame 100	114 cm	9 cm	105 cm
Frame 120	114 cm	9 cm	105 cm
Frame 140	110 cm	9 cm	101 cm
Frame 160	96 cm	9 cm	87 cm
Frame 180	72 cm	9 cm	63 cm
Frame 200	46 cm	9 cm	37 cm
Frame 220	18 cm	9 cm	9 cm
Frame 240	9 cm	9 cm	0 cm
		Rata - rata	56,83 cm

Pada tabel 4.3 menunjukkan hasil untuk setiap *frame* gerakan animasi pada model kendaraan tiga dimensi belum terjadi tumbukan sama sekali. Dimana dalam tabel tersebut belum ada implementasi *rigid body* pada model kendaraan. Hal tersebut ditunjukkan pada koordinat kendaraan yang tidak berubah mengikuti koordinat lintasan. Artinya model kendaraan hanya bergerak lurus menembus objek lintasan yang dilalui.



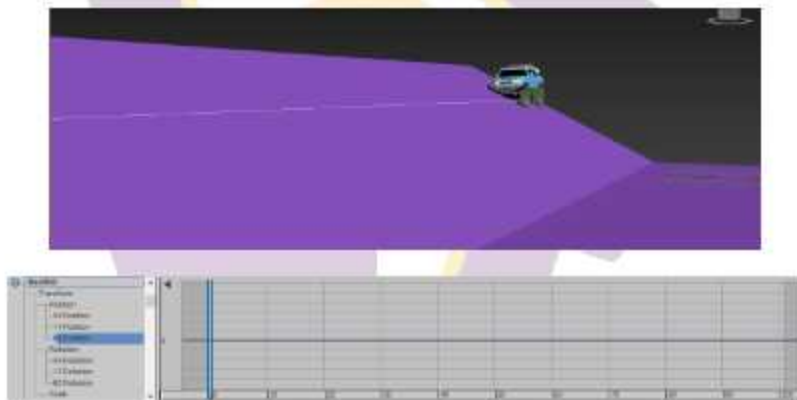
Gambar 4.86 Hasil Animasi dan Kurva Gerakan Model Kendaraan

Tabel 4.4 Sesudah Implementasi *Rigid Body*

Key Frame	Koordinat Lintasan	Koordinat Kendaraan	Selisih
Frame 20	9 cm	8,154 cm	0,846 cm
Frame 40	22 cm	21,432 cm	0,568 cm
Frame 60	68 cm	67,712 cm	0,288 cm
Frame 80	112 cm	111,917 cm	0,083 cm
Frame 100	114 cm	113,174 cm	0,826 cm
Frame 120	114 cm	113,082 cm	0,918 cm
Frame 140	110 cm	108,224 cm	1,776 cm
Frame 160	96 cm	95,657 cm	0,343 cm
Frame 180	72 cm	71,946 cm	0,054 cm
Frame 200	46 cm	45,964 cm	0,036 cm
Frame 220	18 cm	17,807 cm	0,193 cm
Frame 240	9 cm	8,043 cm	0,957 cm
		Rata - rata	0,574 cm

Pada tabel 4.4 menunjukkan hasil untuk setiap *frame* gerakan animasi pada model kendaraan tiga dimensi sudah terjadi tumbukan. Dimana dalam tabel tersebut sudah ada implementasi *rigid body* pada model kendaraan. Hal tersebut ditunjukkan pada koordinat kendaraan yang berubah mengikuti koordinat lintasan. Artinya model kendaraan tidak hanya bergerak lurus menembus objek lintasan yang dilalui namun dapat bergerak mengikuti koordinat dan bentuk lintasan. Untuk hasil koordinat kendaraan yang ditunjukkan dalam tabel tidak sama persis dengan angka yang ditunjukkan pada koordinat lintasan. Hal ini disebabkan adanya gerakan naik turun dari suspensi yang bekerja pada model kendaraan tiga dimensi.

4.5.3. Skenario Bidang Miring

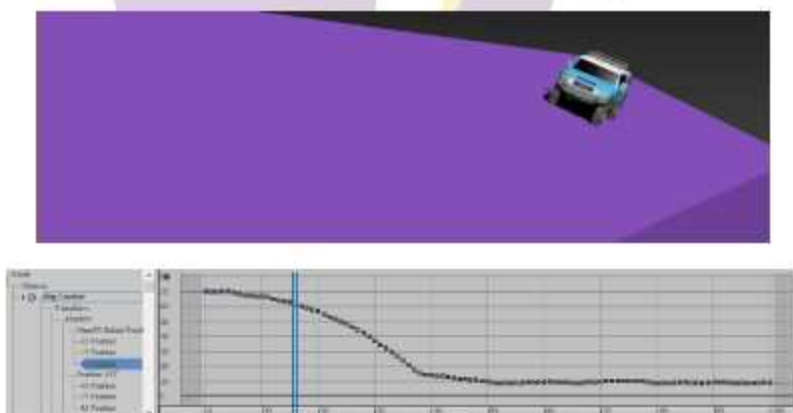


Gambar 4.87 Hasil Animasi dan Kurva Gerakan Model Kendaraan

Tabel 4.5 Sebelum Implementasi *Rigid Body*

Key Frame	Koordinat Lintasan	Koordinat Kendaraan	Selisih
Frame 10	67 cm	66,401 cm	0,599 cm
Frame 20	57 cm	9 cm	48 cm
Frame 30	37 cm	9 cm	28 cm
Frame 40	14 cm	9 cm	5 cm
Frame 50	10 cm	9 cm	1 cm
Frame 60	9 cm	9 cm	0 cm
		Rata - rata	13,76 cm

Pada tabel 4.5 menunjukkan hasil untuk setiap *frame* gerakan animasi pada model kendaraan tiga dimensi belum terjadi tumbukan sama sekali. Dimana dalam tabel tersebut belum ada implementasi *rigid body* pada model kendaraan. Hal tersebut ditunjukkan pada koordinat kendaraan yang tidak berubah mengikuti koordinat lintasan. Artinya model kendaraan hanya bergerak lurus menembus objek lintasan yang dilalui.



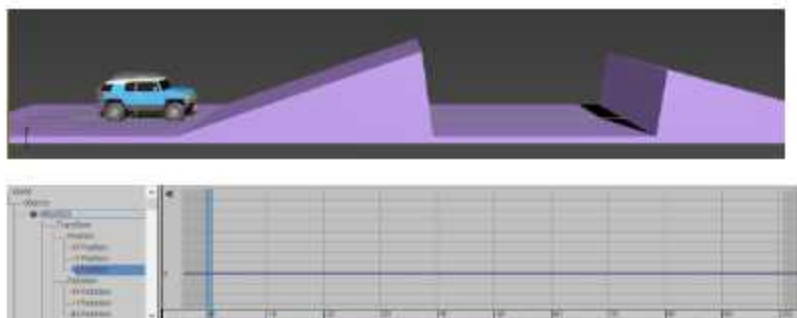
Gambar 4.88 Hasil Animasi dan Kurva Gerakan Model Kendaraan

Tabel 4.6 Sesudah Implementasi *Rigid Body*

Key Frame	Koordinat Lintasan	Koordinat Kendaraan	Selisih
Frame 10	67 cm	66,401 cm	0,599 cm
Frame 20	57 cm	56,165 cm	0,835 cm
Frame 30	37 cm	36,811 cm	0,189 cm
Frame 40	14 cm	13,440 cm	0,560 cm
Frame 50	10 cm	9,134 cm	0,866 cm
Frame 60	9 cm	8,959 cm	0,041 cm
		Rata - rata	0,515 cm

Pada tabel 4.6 menunjukkan hasil untuk setiap *frame* gerakan animasi pada model kendaraan tiga dimensi sudah terjadi tumbukan. Dimana dalam tabel tersebut sudah ada implementasi *rigid body* pada model kendaraan. Hal tersebut ditunjukkan pada koordinat kendaraan yang berubah mengikuti koordinat lintasan. Artinya model kendaraan tidak hanya bergerak lurus menembus objek lintasan yang dilalui namun dapat bergerak mengikuti koordinat dan bentuk lintasan. Untuk hasil koordinat kendaraan yang ditunjukkan dalam tabel tidak sama persis dengan angka yang ditunjukkan pada koordinat lintasan. Hal ini disebabkan adanya gerakan naik turun dari suspensi yang bekerja pada model kendaraan tiga dimensi.

4.5.4. Skenario Ramp To Ramp

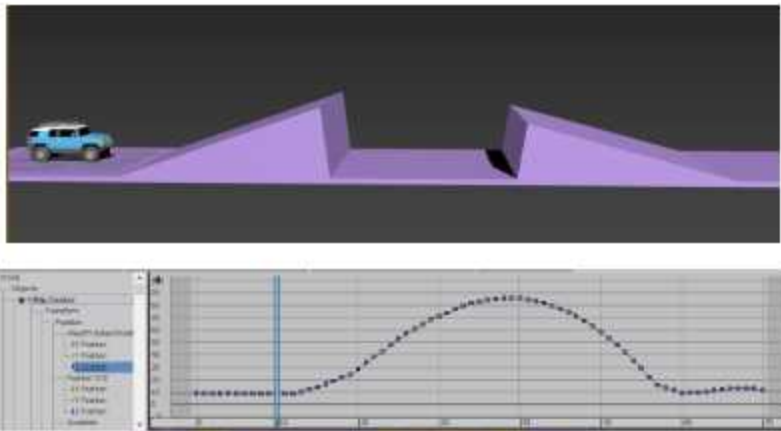


Gambar 4.89 Hasil Animasi dan Kurva Gerakan Model Kendaraan

Tabel 4.7 Sebelum Implementasi *Rigid Body*

Key Frame	Koordinat Lintasan	Koordinat Kendaraan	Selisih
Frame 10	9 cm	9 cm	0 cm
Frame 20	29 cm	9 cm	20 cm
Frame 30	71 cm	9 cm	62 cm
Frame 40	85 cm	9 cm	76 cm
Frame 50	58 cm	9 cm	49 cm
Frame 60	9 cm	9 cm	0 cm
		Rata - rata	35,5 cm

Pada tabel 4.7 menunjukkan hasil untuk setiap *frame* gerakan animasi pada model kendaraan tiga dimensi belum terjadi tumbukan sama sekali. Dimana dalam tabel tersebut belum ada implementasi *rigid body* pada model kendaraan. Hal tersebut ditunjukkan pada koordinat kendaraan yang tidak berubah mengikuti koordinat lintasan. Artinya model kendaraan hanya bergerak lurus menembus objek lintasan yang dilalui.



Gambar 4.90 Hasil Animasi dan Kurva Gerakan Model Kendaraan

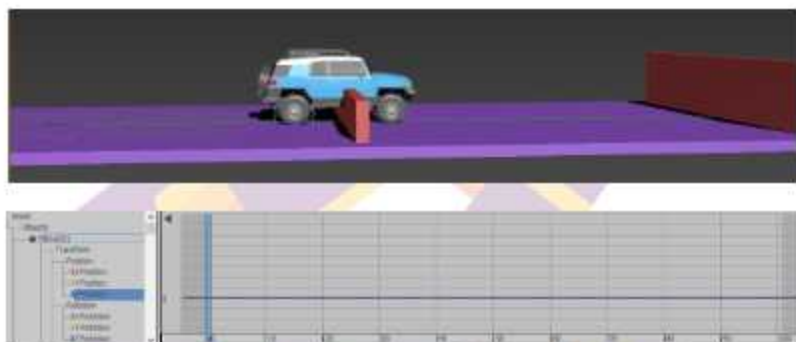
Tabel 4.8 Sesudah Implementasi *Rigid Body*

Key Frame	Koordinat Lintasan	Koordinat Kendaraan	Selisih
Frame 10	9 cm	8,033 cm	0,967 cm
Frame 20	29 cm	28,298 cm	0,702 cm
Frame 30	71 cm	70,640 cm	0,36 cm
Frame 40	85 cm	84,866 cm	0,134 cm
Frame 50	58 cm	57,890 cm	0,11 cm
Frame 60	9 cm	8,706 cm	0,294 cm
		Rata - rata	0,43 cm

Pada tabel 4.8 menunjukkan hasil untuk setiap *frame* gerakan animasi pada model kendaraan tiga dimensi sudah terjadi tumbukan. Dimana dalam tabel tersebut sudah ada implementasi *rigid body* pada model kendaraan. Hal tersebut ditunjukkan pada koordinat kendaraan yang berubah mengikuti koordinat lintasan. Artinya model kendaraan tidak hanya bergerak lurus menembus objek lintasan yang dilalui

namun dapat bergerak mengikuti koordinat dan bentuk lintasan. Untuk hasil koordinat kendaraan yang ditunjukkan dalam tabel tidak sama persis dengan angka yang ditunjukkan pada koordinat lintasan. Hal ini disebabkan adanya gerakan naik turun dari suspensi yang bekerja pada model kendaraan tiga dimensi.

4.5.5. Skenario Menabrak Dinding

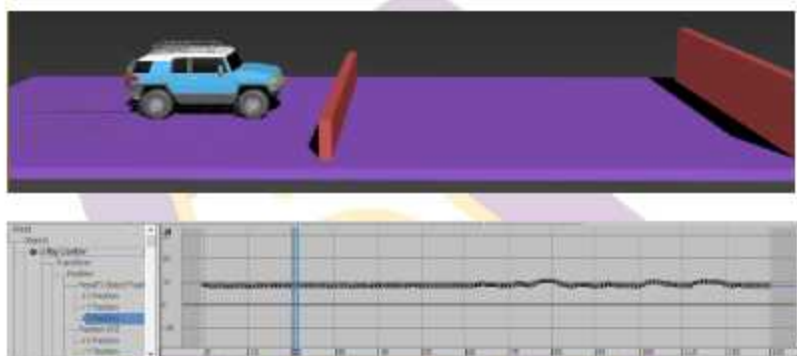


Gambar 4.91 Hasil Animasi dan Kurva Gerakan Model Kendaraan

Tabel 4.9 Sebelum Implementasi *Rigid Body*

Key Frame	Koordinat Lintasan	Koordinat Kendaraan	Selisih
Frame 10	8 cm	8 cm	0 cm
Frame 20	8 cm	8 cm	0 cm
Frame 30	8 cm	8 cm	0 cm
Frame 40	8 cm	8 cm	0 cm
Frame 50	8 cm	8 cm	0 cm
Frame 60	8 cm	8 cm	0 cm
Frame 70	8 cm	8 cm	0 cm
Frame 80	8 cm	8 cm	0 cm
Frame 90	8 cm	8 cm	0 cm
Frame 100	8 cm	8 cm	0 cm
Frame 110	8 cm	8 cm	0 cm
		Rata - rata	0 cm

Pada tabel 4.9 menunjukkan hasil untuk setiap *frame* gerakan animasi pada model kendaraan tiga dimensi belum terjadi tumbukan sama sekali. Dimana dalam tabel tersebut belum ada implementasi *rigid body* pada model kendaraan. Hal tersebut ditunjukkan pada koordinat kendaraan yang tidak berubah mengikuti koordinat lintasan. Artinya model kendaraan hanya bergerak lurus menembus objek lintasan yang dilalui.



Gambar 4.92 Hasil Animasi dan Kurva Gerakan Model Kendaraan

Tabel 4.10 Sesudah Implementasi *Rigid Body*

Key Frame	Koordinat Lintasan	Koordinat Kendaraan	Selisih
Frame 10	8 cm	7,906 cm	0,91 cm
Frame 20	8 cm	7,906 cm	0,91 cm
Frame 30	8 cm	7,906 cm	0,91 cm
Frame 40	8 cm	7,906 cm	0,91 cm
Frame 50	8 cm	7,906 cm	0,91 cm
Frame 60	8 cm	7,906 cm	0,91 cm
Frame 70	8 cm	8,045 cm	0,045 cm
Frame 80	8 cm	10,168 cm	2,168 cm
Frame 90	8 cm	7,856 cm	0,144 cm
Frame 100	8 cm	7,937 cm	0,063 cm
Frame 110	8 cm	8,173 cm	0,173 cm
		Rata - rata	0,73 cm

Pada tabel 4.10 menunjukkan hasil untuk setiap *frame* gerakan animasi pada model kendaraan tiga dimensi sudah terjadi tumbukan. Dimana dalam tabel tersebut sudah ada implementasi *rigid body* pada model kendaraan. Hal tersebut ditunjukkan pada koordinat kendaraan yang berubah mengikuti koordinat lintasan. Artinya model kendaraan tidak hanya bergerak lurus menembus objek lintasan yang dilalui namun dapat bergerak mengikuti koordinat dan bentuk lintasan. Untuk hasil koordinat kendaraan yang ditunjukkan dalam tabel tidak sama persis dengan angka yang ditunjukkan pada koordinat lintasan. Hal ini disebabkan adanya gerakan naik turun dari suspensi yang bekerja pada model kendaraan tiga dimensi.

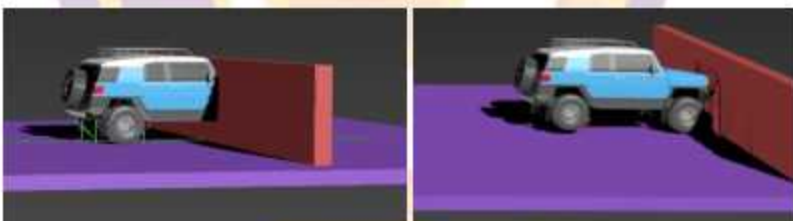
Tabel 4.11 Rata – Rata Jarak Tumbukan Lintasan dengan Kendaraan

Skenario	Rata – Rata Jarak Lintasan dengan Kendaraan	
	Sebelum Implementasi Rigid Body	Sesudah Implementasi Rigid Body
Jalan Bergelombang	4,44 cm	0,405 cm
Tanjakan dan Turunan	56,83 cm	0,574 cm
Bidang Miring	13,76 cm	0,515 cm
Ramp to Ramp	35,5 cm	0,43 cm
Menabrak Dinding	0 cm	0,73 cm

Pada tabel 4.11 dapat dilihat bahwa pada skenario jalan bergelombang, tanjakan dan turunan, bidang miring, *ramp to ramp* memiliki jarak lintasan dengan kendaraan sebelum implementasi *rigid body* menghasilkan nilai yang sangat besar dikarenakan tidak ada tumbukan sama sekali sedangkan sesudah implementasi *rigid body* menghasilkan nilai yang kecil untuk jarak antara lintasan dengan model kendaraan. Namun berbeda pada skenario saat kendaraan menabrak dinding,

Sebelum implementasi menghasilkan nilai 0 dikarenakan model kendaraan hanya bergerak datar menembus dinding tanpa adanya tumbukan dengan objek dinding. Sedangkan sesudah implementasi *rigid body* justru menghasilkan angka yang lebih besar. Hal tersebut dikarenakan setelah model kendaraan menabrak dinding terjadi tumbukan lain antara model kendaraan dengan pecahan dinding.

Jika dilihat dari hasil percobaan dengan rata-rata tingkat keberhasilan 95% maka secara keseluruhan penilaian hasil animasi dengan implementasi *rigid body* sudah baik, namun ada kendala ketika menggunakan teknik implementasi *rigid body* pada *rigging*, yaitu membutuhkan beberapa skenario percobaan pada konfigurasi objek *rigid* seperti massa dan toleransi jarak antar objek *rigid* agar tumbukan yang dihasilkan tidak terlalu renggang, terlalu rapat, atau bahkan saling menembus.



Gambar 4.93 Hasil objek rigid masih tembus (kiri), tumbukan objek rigid (kanan)

Pada gambar 4.93 menunjukkan hasil konfigurasi jarak toleransi antar objek *rigid*. Hal ini sering terjadi dan butuh percobaan berkali-kali agar hasilnya maksimal. Dalam penelitian ini bagian yang membutuhkan waktu paling lama adalah melakukan percobaan untuk objek *rigid body*. Setiap objek yang masih tembus selalu butuh konfigurasi baru dan hal ini dilakukan berulang kali agar menghasilkan animasi tiga dimensi yang dapat bergerak secara dinamis.

Kendala selanjutnya adalah untuk menghasilkan animasi yang dinamis diperlukan percobaan berulang kali dengan skenario lintasan atau jalur yang berbeda. Hal ini untuk mengetahui bagian yang mana dari objek *rigid* tersebut yang masih tembus atau masih membutuhkan konfigurasi tumbukan yang benar.

Berikut ini adalah hasil perbandingan antara implementasi *rigid body* pada *rigging* dengan *rigging* menggunakan *driver master* :

- a. Jika implementasi *rigid body* pada *rigging* menghasilkan tumbukan pada model kendaraan tiga dimensi dengan jalan yang dilalui, sedangkan *rigging* dengan *driver master* tidak menghasilkan tumbukan pada setiap objek tiga dimensi.
- b. Jika implementasi *rigid body* pada *rigging* menghasilkan massa pada model kendaraan tiga dimensi dan massa dihasilkan dengan mengkombinasikan gaya gravitasi sebesar -981.001 cm/s^2 , sedangkan *rigging* dengan *driver master* tidak menghasilkan massa pada setiap objek tiga dimensi.
- c. Jika implementasi *rigid body* pada *rigging* dapat diterapkan gaya dorong pada model kendaraan tiga dimensi agar model kendaraan dapat bergerak, sedangkan *rigging* dengan *driver master* memanfaatkan *path* atau jalur yang harus dilalui oleh model kendaraan agar dapat bergerak.

Apabila ditinjau dari penelitian yang lain, maka grafik perubahan posisi pada gambar diatas menunjukkan pergerakan dan perubahan arah dari model kendaraan ketika terjadi tumbukan dengan bentuk jalan yang dilaluinya. Selain itu untuk menggerakkan model kendaraan dibutuhkan kecepatan seperti yang ditunjukkan pada hasil percobaan disetiap scenario. Hal ini sesuai dengan penelitian dari Dong

Joo Byun (2015) yang menyatakan bahwa simulasi *rigid body* yang berisi posisi, kecepatan, dan kecepatan sudut yang berasal dari *rig*. Serta setiap potongan objek geometri berpisah dari objek yang lain sehingga ada perubahan arah gerakan karena adanya deteksi tumbukan. Hal ini terjadi agar menghasilkan keluaran yang sangat berarti dan benar secara fisik.

Selain itu pada setiap skenario percobaan dengan bentuk jalan yang berbeda, anatara model kendaraan dengan jalan tidak saling menembus, artinya ada interaksi dan tumbukan diantara dua buah objek yaitu model kendaraan dengan jalan. Tumbukan ini mengakibatkan perubahan posisi, perubahan lintasan, dan perubahan arah gerakan model kendaraan tiga dimensi. Tumbukan merupakan faktor penting yang mempengaruhi pergerakan objek. Di dunia nyata, ketika dua benda bertabrakan, mereka bertumbukan, namun keduanya tidak saling menembus. Ketika tumbukan terjadi, gaya interaksi akan mengubah keadaan semula dari dua benda, seperti posisi, lintasan, dan arah (Yu, Yang, Zan, Huang, & Zhang, 2017).

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal mengenai Implementasi *Rigid body* Pada *Rigging* Terhadap Animasi Dinamis Model Kendaraan Tiga Dimensi.

1. Untuk menghasilkan animasi model kendaraan tiga dimensi yang dinamis diperlukan implementasi *rigid body* agar menghasilkan tumbukan, massa, dan gaya pada objek tiga dimensi. Adapun proses yang dilakukan :
 - *Rigid body* pada kendaraan diberikan parameter agar memenuhi tiga aspek penting pada animasi dinamis yaitu massa = 1946 kg dan gaya gravitasi = -981.001 cm/s^2
 - Menghasilkan gerakan model kendaraan tiga dimensi yang sesuai dengan koordinat lintasan yang dilalui. Artinya jarak tumbukan antara lintasan dengan model kendaraan sangat kecil atau sama dengan 0.
2. Dari setiap skenario percobaan pada *rigging* terhadap model kendaraan tiga dimensi memberikan hasil gerakan animasi yang dinamis pada model kendaraan untuk setiap skenario lingkungan yang berbeda. Adapun perubahan koordinat pada kurva, menunjukkan perubahan pada sumbu Z sesuai dengan bentuk jalan yang dilalui model kendaraan.
3. Implementasi *rigid body* pada *rigging* terhadap animasi dinamis model kendaraan tiga dimensi memberikan hasil gerakan animasi yang dinamis.

4. seperti terjadi tumbukan antara objek rigid, gerakan model kendaraan mengikuti bentuk permukaan jalan karena adanya massa dan gaya gravitasi. Selain itu meminimalkan kerangka kendali pada model kendaraan untuk menghasilkan gerakan animasi.

5.2. Saran

Untuk penelitian berikutnya sebaiknya melakukan skenario percobaan yang lebih spesifik, seperti material jalan yang dilalui. Melakukan perhitungan untuk gerakan animasi yang akan dihasilkan, serta analisis penilaian hasil gerakan animasi yang lebih akurat.



DAFTAR PUSTAKA

PUSTAKA BUKU

Hendratman, H. (2007). *The Making Of 3D Animation Movie*. Informatika Bandung

Hendratman, H. (2008). *The Magic Of 3D Studio Max*. Informatika Bandung

Muslihudin, M., & Oktafianto. (2016). *Analisis dan Perancangan Sistem Informasi Menggunakan Model Terstruktur dan UML*. Penerbit Andi.

PUSTAKA MAJALAH, JURNAL ILMIAH ATAU PROSIDING

Byun, D. J., Wadia, Z., & Kaschalk, M. (2015). Interactive Script Based Dynamics in Big Hero 6. In ACM SIGGRAPH 2015 Talks (p. 37:1–37:1). New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/2775280.2792534>

Chatterjee, A., & Ruina, A. (1998). Two Interpretations of Rigidity in Rigid-Body Collisions. *Journal of Applied Mechanics*, 65(4), 894–900. <https://doi.org/10.1115/1.2791929>

de Belen, R. A. J., & Atienza, R. O. (2016). Automatic Skeleton Generation Using Hierarchical Mesh Segmentation. In SIGGRAPH ASIA 2016 Virtual Reality Meets Physical Reality: Modelling and Simulating Virtual Humans and Environments (p. 14:1–14:6). New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/2992138.2992150>

Fazeli, N., Tedrake, R., & Rodriguez, A. (2018). Identifiability Analysis of Planar Rigid-Body Frictional Contact. In *Robotics Research* (pp. 665–682). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60916-4_38

Griffin, N., (2010). Retrieved from <http://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/ETD-TAMU-2010-128857/GRIFFINTHESIS.pdf>

- Holden, D., Saito, J., & Komura, T. (2015). Learning an Inverse Rig Mapping for Character Animation. In *Proceedings of the 14th ACM SIGGRAPH / Eurographics Symposium on Computer Animation* (pp. 165–173). New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/2786784.2786788>
- McHenry, R. R. (2014). The Role of Vehicle Dynamics Simulation in Highway Safety Research . *ASME 16th International Conference on Advanced Vehicle Technologies* , 1-16.
- Mukai, T. (2015). Building Helper Bone Rigs from Examples. In *Proceedings of the 19th Symposium on Interactive 3D Graphics and Games* (pp. 77–84). New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/2699276.2699278>
- Mukai, T., & Kuriyama, S. (2016). Efficient Dynamic Skinning with Low-rank Helper Bone Controllers. *ACM Trans. Graph.*, 35(4), 36:1–36:11. <https://doi.org/10.1145/2897824.2925905>
- Müller, M., Chentanez, N., Macklin, M., & Jeschke, S. (2017). Long Range Constraints for Rigid Body Simulations. In *Proceedings of the ACM SIGGRAPH / Eurographics Symposium on Computer Animation* (p. 14:1–14:10). New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/3099564.3099574>
- Sheth, R., Lu, W., Yu, Y., & Fedkiw, R. (2015). Fully Momentum-conserving Reduced Deformable Bodies with Collision, Contact, Articulation, and Skinning. In *Proceedings of the 14th ACM SIGGRAPH / Eurographics Symposium on Computer Animation* (pp. 45–54). New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/2786784.2786787>

- Stojanov, I., Risteovski, B., Kotevski, Z., & Savoska, S. (2016). Application of 3ds Max for 3D Modelling and Rendering (pp. 133–144). <https://doi.org/10.20544/AIIT2016.17>
- Yu, Y., Yang, J., Zan, X., Huang, J., & Zhang, X. (2017). Research of Simulation in Character Animation Based on Physics Engine [Research article]. <https://doi.org/10.1155/2017/4815932>

