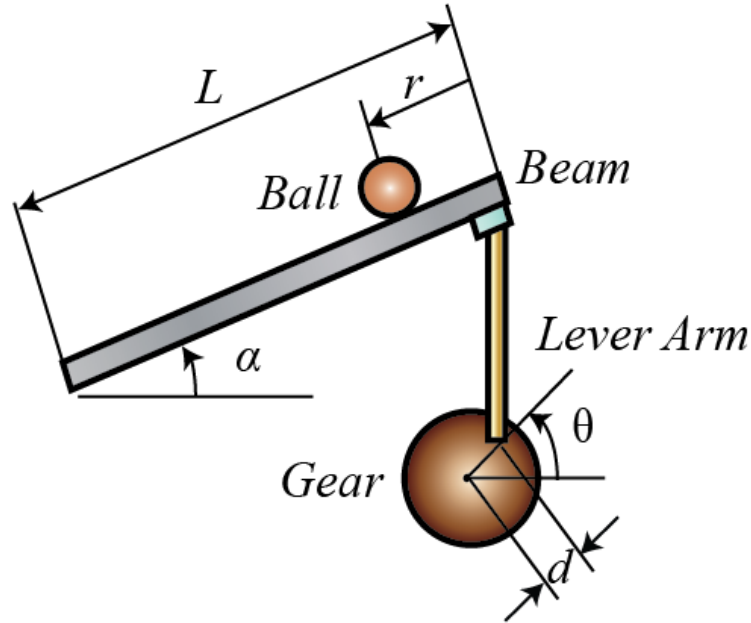


## 2.1. Sistem Ballbeam Real

Sebuah bola ditempatkan di atas balok, lihat Gambar 1, di mana ia diperbolehkan untuk menggelinding dengan 1 derajat kebebasan sepanjang balok. Lengan tuas dipasang ke balok di satu ujung dan gigi servo di ujung lainnya. Saat roda gigi servo berputar dengan sudut  $\theta$ , tuas mengubah sudut balok sebesar  $\alpha$ . Ketika sudut diubah dari posisi horizontal, gravitasi menyebabkan bola menggelinding di sepanjang balok. Sebuah sistem pengaturan akan dirancang untuk sistem ini agar posisi bola dapat dimanipulasi.



**Gambar 1** Sistem ballbeam real

## 2.2. Model Dinamis Ballbeam

Turunan kedua dari sudut masukan  $\alpha$  sebenarnya mempengaruhi turunan kedua dari  $R$ . Namun, kami akan mengabaikan kontribusi ini. Persamaan gerak Lagrangian untuk bola kemudian diberikan sebagai berikut:

$$0 = \left( \frac{J}{r^2} + m \right) \ddot{R} + mg \sin \alpha - mR\dot{\alpha}^2 \quad (1)$$

Linearisasi persamaan ini tentang sudut balok,  $\alpha = 0$ , memberi kita pendekatan linier berikut ini:

$$\left( \frac{J}{r^2} + m \right) \ddot{R} = -mg\alpha \quad (2)$$

Persamaan yang menghubungkan sudut balok  $\alpha$  dengan sudut roda gigi  $\theta$  dapat didekati sebagai linear dengan persamaan di bawah ini:

$$\alpha = \frac{d}{L} \theta \quad (3)$$

Mengganti ini ke persamaan sebelumnya, kita mendapatkan:

$$\left(\frac{J}{r^2} + m\right) \ddot{R} = -mg \frac{d}{L} \theta \quad (4)$$

Mengambil transformasi Laplace dari persamaan di atas, persamaan berikut ditemukan:

$$\left(\frac{J}{r^2} + m\right) R(s)s^2 = -mg \frac{d}{L} \theta(s) \quad (5)$$

Dengan menata ulang kita menemukan fungsi transfer dari sudut roda gigi ( $\theta(s)$ ) ke posisi bola ( $R(s)$ ).

$$P(s) = \frac{R(s)}{\theta(s)} = -\frac{mgd}{L \left(\frac{J}{r^2} + m\right)} \frac{1}{s^2} \quad (6)$$

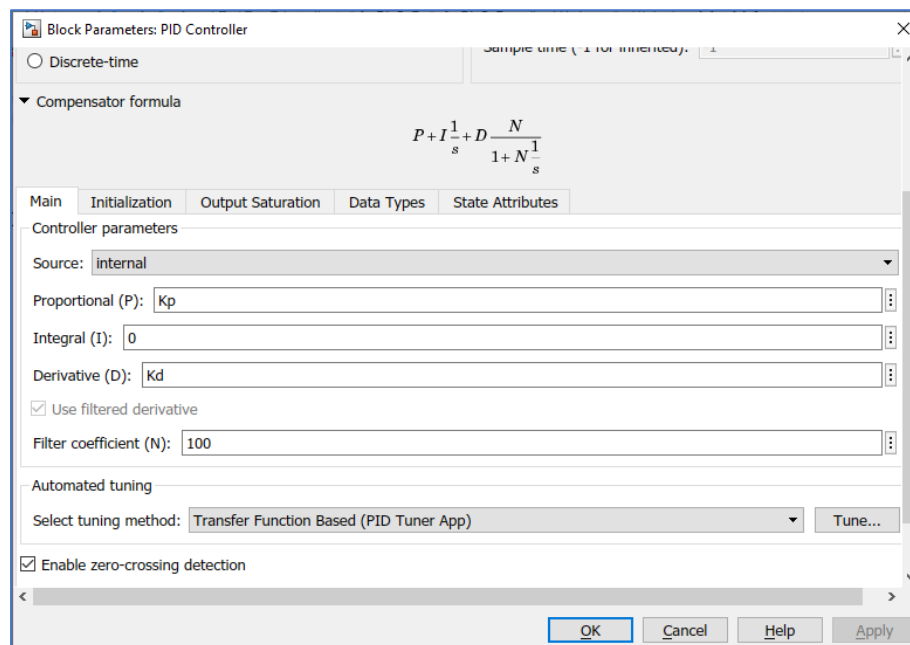
Dengan parameter sistem:

(m) Masa bola	0.11 kg
(r) Radius bola	0.015 m
(d) Offset lengan tuas	0.03 m
(g) Percepatan gravitasi	9.8 m/s <sup>2</sup>
(L) Panjang batang	1.0 m
(J) Momen inersia bola	9.99e - 6 kg · m <sup>2</sup>
(R) Posisi bola	
(α) Posisi sudut batang	
(θ) Posisi sudut servo	

## 2.3. Diagram Simulasi Sistem Pengaturan Ballbeam

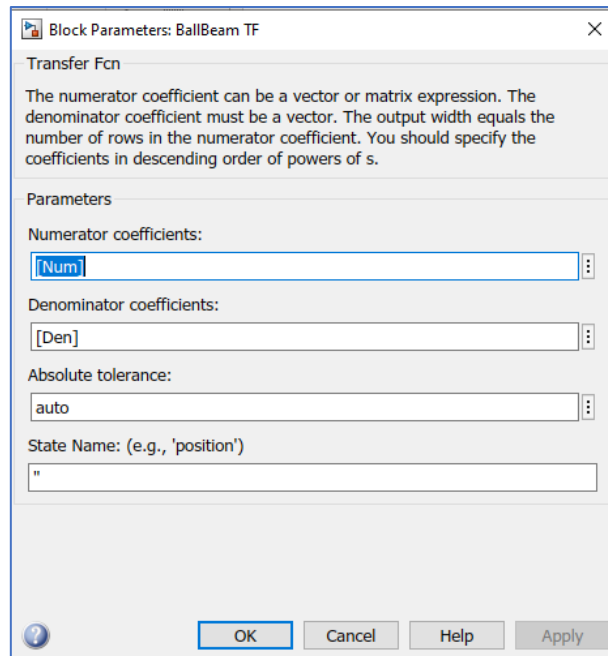
Prosedur pembuatan Simulink dijelaskan sebagai berikut:

1. Buka jendela Simulink baru. Dari tab Home, pilih Simulink pada bagian SIMULINK, lalu klik tombol ikon.
2. Jendela kosong Simulink akan terbuka. Buka Library Browser pada tab Simulation, pilih Library Browser pada bagian LIBRARY.
3. Ambil blok PID(s) dari library browser:
  - a. Cari blok PID dengan menggunakan mesin pencarian yang tersedia.
  - b. Letakan pada ruang kerja simulink.
  - c. Double click blok dan edit parameter Proportional (P) menjadi Kp dan Derivative (D) menjadi Kd.
  - d. Parameter terlihat seperti pada Gambar 2



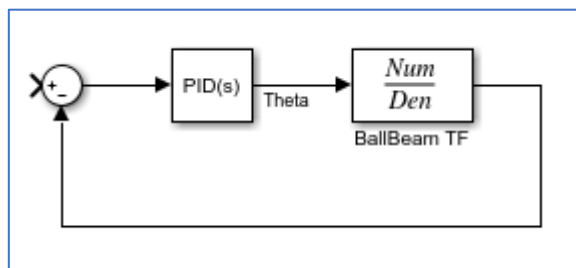
**Gambar 2** Edit parameter blok PID

4. Ambil blok Transfer Function dari library browser:
  - a. Cari blok Transfer Function dengan menggunakan mesin pencarian yang tersedia.
  - b. Letakan pada ruang kerja simulink.
  - c. Double click blok dan edit parameter Numerator Coefficient menjadi Num dan Denominator Coefficient menjadi Den.
  - d. Parameter terlihat seperti pada Gambar 3.



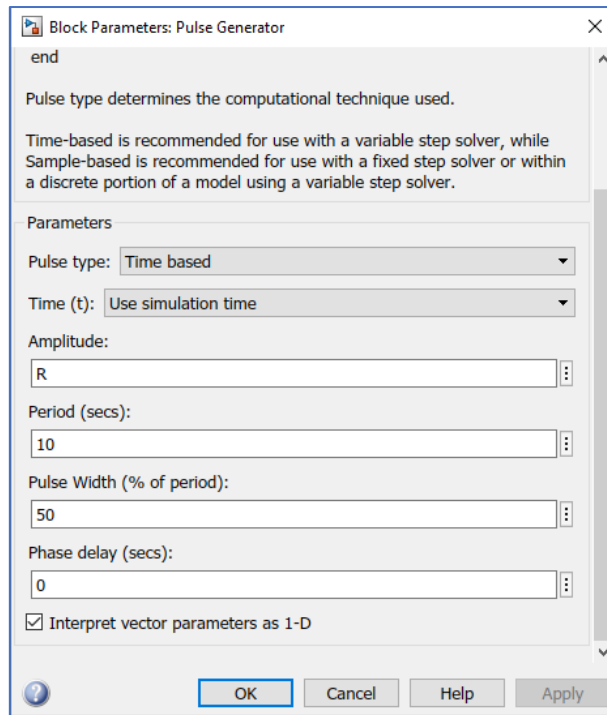
**Gambar 3** Edit parameter blok Transfer Function

5. Ambil blok Sum dari library browser:
  - a. Cari blok Sum dengan menggunakan mesin pencarian yang tersedia.
  - b. Letakan pada ruang kerja simulink.
  - c. Sambungkan blok sum, PID, dan Transfer Function seperti pada Gambar 4.



**Gambar 4** Ballbeam close loop system

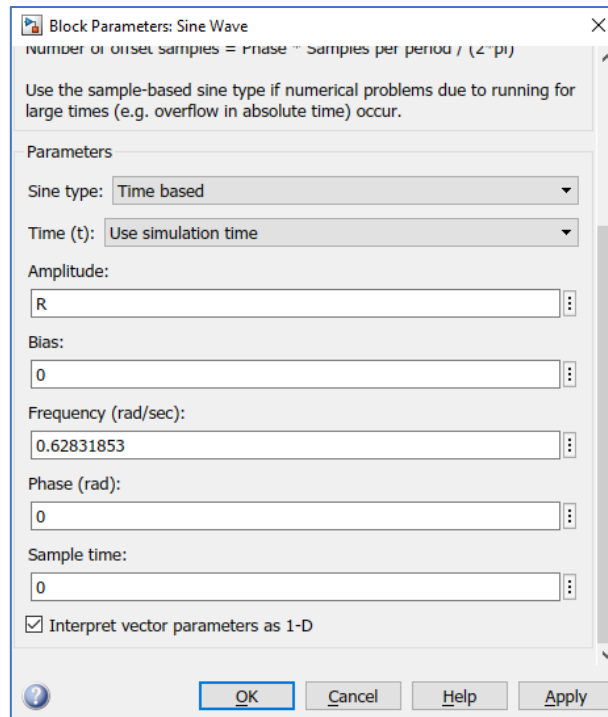
6. Buat subsistem source. Subsistem akan digunakan untuk memberikan sumber sinyal kotak atau sinus sesuai input user:
  - a. Ambil blok pulse generator:
    - Ambil blok pulse generator dari library browser: Simulink>Sources>Pulse Generator.
    - Letakan pada ruang kerja simulink.
    - Double click blok dan edit parameter Amplitude menjadi R, Period (secs) menjadi 10, dan Pulse Width (% of Period) menjadi 50 terlihat seperti pada Gambar 5.



**Gambar 5** Edit parameter blok Pulse Generator

b. Ambil blok sine wave:

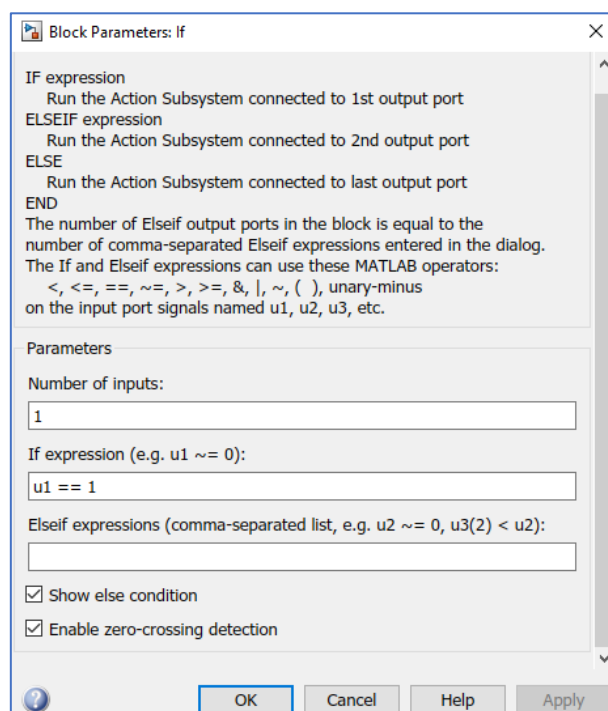
- Ambil blok sine wave dari library browser: Simulink>Sources>Sine Wave.
- Letakan pada ruang kerja simulink.
- Double click blok dan edit parameter Amplitude menjadi R, Frequency (rad/s) menjadi 0.62831853 terlihat seperti pada Gambar 6.



**Gambar 6** Edit parameter blok Sine Wave

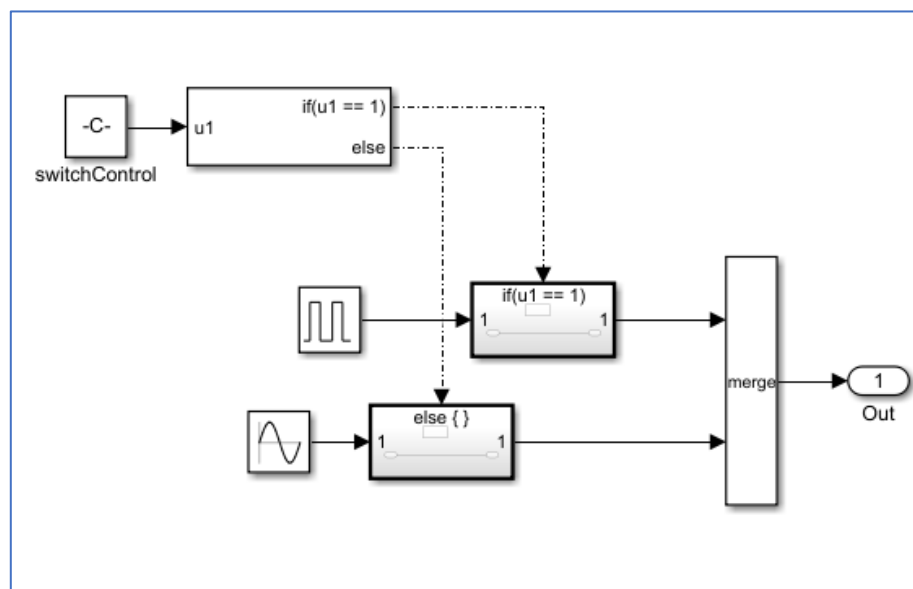
c. Ambil blok if:

- Ambil blok if dari library browser: Simulink> Ports & Subsystems>If.
- Letakan pada ruang kerja simulink.
- Double click blok dan edit parameter Number of inputs menjadi 1 dan If expression menjadi `u1 == 1` terlihat seperti pada Gambar 7.



**Gambar 7** Edit parameter blok If

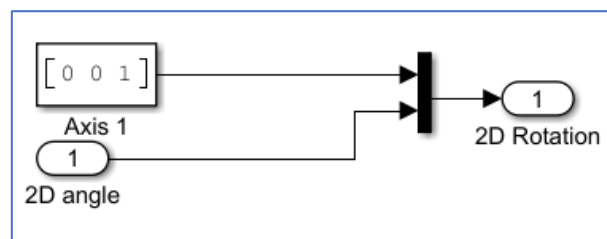
- d. Ambil blok constant untuk mengatur penggunaan input sinyal:
  - Ambil blok constant dari library browser: Simulink> Commonly Used Blocks>Constant.
  - Letakan pada ruang kerja simulink.
  - Double click blok dan edit parameter Constant value menjadi SW\_Control.
  - Ubah nama blok constant menjadi switchControl.
- e. Ambil blok If Action Subsystem:
  - Ambil blok if dari library browser: Simulink> Ports & Subsystems>If Action Subsystem.
  - Letakan pada ruang kerja simulink.
- f. Ambil blok Merge Action Subsystem:
  - Ambil blok merge dari library browser dengan menggunakan mesin pencarian yang disediakan.
  - Letakan pada ruang kerja simulink.
  - Edit paramter Number of inputs menjadi 2.
- g. Sambungkan blok switchControl, if, If Action Subsystem, Pulse Generator, Sine Wave, dan merge untuk membentuk subsystem source. Subsystem source dapat dilihat pada Gambar 8.



**Gambar 8** Subsystem source

- h. Seleksi semua blok dan line. Klik kanan dan pilih create subsystem from selections.

7. Ambil data sudut rotasi batang. Data sudut batang (alpha) didapatkan dari input blok transfer function sistem ballbeam. Data alpha diperoleh dari data theta:
- Ambil blok gain untuk merubah theta menjadi alpha:
    - Ambil blok gain dari library browser: Simulink> Commonly Used Blocks>Gain.
    - Letakan pada ruang kerja simulink.
    - Double click blok dan edit parameter Gain menjadi d/L.
  - Ambil blok angle conversion untuk merubah satuan sudut degree menjadi radian:
    - Ambil blok angle conversion dari library browser: Aerospace Blockset > Utilities > Unit Conversions>Angle Conversion.
    - Letakan pada ruang kerja simulink
  - Buat subsistem Angle 3D transformation untuk menjadikan alpha sebagai sudut putar batang:
    - Ambil blok constant dari library browser: Simulink> Commonly Used Blocks>Constant.
    - Letakan pada ruang kerja simulink.
    - Double click blok dan edit parameter Constant value menjadi [0 0 1]
    - Ambil blok mux dari library browser: Simulink> Commonly Used Blocks>Mux.
    - Letakan pada ruang kerja simulink.
    - Sambungkan blok constant dan mux untuk membentuk subsystem source. Subsystem source dapat dilihat pada Gambar 9.
    - Seleksi semua blok dan line. Klik kanan dan pilih create subsystem from selections.
    - Ubah nama input menjadi 2D angle dan output menjadi 2D rotation.
    - Ubah nama subsistem menjadi Angle 3D transformation.

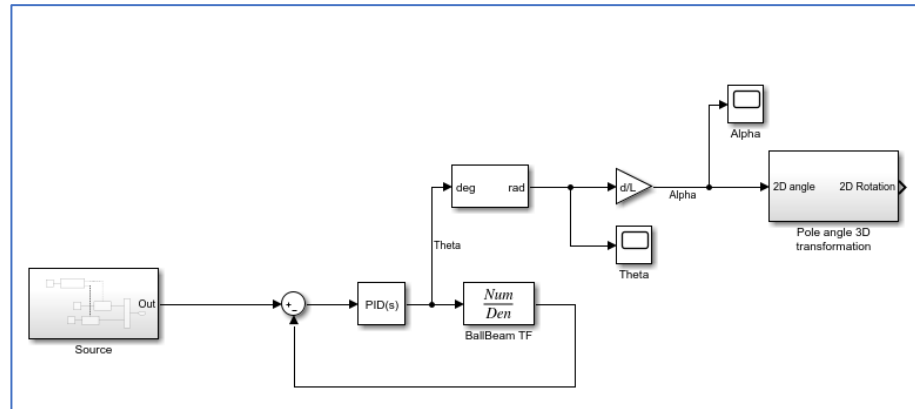


**Gambar 9** Subsistem Angle 3D transformation

- Ambil scope untuk mengamati sinyal alpha dan theta:
  - Ambil scope dari library browser: Simulink> Commonly Used Blocks>Scope.
  - Letakan pada ruang kerja simulink.
  - Ubah nama scope menjadi Theta dan scope1 menjadi Alpha.

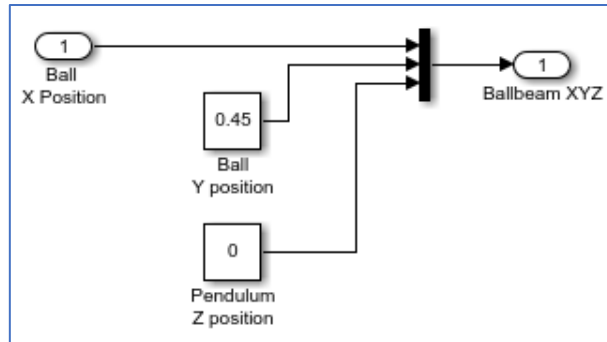


- e. Sambungkan blok gain, angle conversion, scope theta, scope alpha, dan subsistem Pole angle 3D transformation menjadi seperti Gambar 10.



**Gambar 10** Input rotasi batang

8. Buat subsistem Coordinates 3D transformation untuk menjadikan output sistem close-loop sebagai input gerak bola terhadap sumbu x:
  - a. Ambil blok constant untuk mengatur gerak pada sumbu y:
    - Ambil blok constant dari library browser: Simulink> Commonly Used Blocks>Constant.
    - Letakan pada ruang kerja simulink.
    - Double click blok dan edit parameter Constant value menjadi 0.45.
    - Ubah nama blok constant menjadi Ball Y position.
  - b. Ambil blok constant untuk mengatur gerak pada sumbu z:
    - Ambil blok constant dari library browser: Simulink> Commonly Used Blocks>Constant.
    - Letakan pada ruang kerja simulink.
    - Double click blok dan edit parameter Constant value menjadi 0.
    - Ubah nama blok constant menjadi Ball Z position.
  - f. Ambil blok mux untuk menggabungkan 3 sinyal:
    - Ambil blok mux dari library browser: Simulink> Commonly Used Blocks>Mux.
    - Letakan pada ruang kerja simulink.
    - Edit parameter number of inputs menjadi 3.
  - g. Sambungkan blok constant dan mux untuk membentuk subsistem Coordinates 3D transformation. Subsistem Coordinates 3D transformation dapat dilihat pada Gambar 11.
  - h. Seleksi semua blok dan line. Klik kanan dan pilih create subsystem from selections.
  - i. Ubah nama input menjadi Ball X position dan output menjadi Ballbeam XYZ.
  - j. Ubah nama subsistem menjadi Coordinates 3D transformation.



**Gambar 11** Subsistem Coordinates 3D transformation

9. Buat scope untuk mengamati perbandingan sinyal prediksi dan pengukuran perpindahan bola:
  - a. Ambil scope dari library browser: Simulink> Commonly Used Blocks>Scope.
  - b. Letakan pada ruang kerja simulink.
  - c. Ubah nama scope menjadi R ball
  - d. Ambil mux seperti langkah 8f dan sambungkan output mux ke R ball.
  - e. Sambungkan input1 mux ke output subsistem source.
  - f. Ubah nama garis menjadi Predicted.
  - g. Sambungkan input2 mux ke output sistem close-loop.
  - h. Ubah nama garis menjadi Measured.
10. Selanjutnya membuat matlab function untuk mengakuisisi data clock simulink, Measured, dan Predicted untuk digunakan memploting pada GUI:
  - a. Ambil matlab function dari library browser: Simulink> User-Defined Functions>MATLAB Function.
  - b. Letakan pada ruang kerja simulink.
  - c. Ubah nama blok menjadi plot\_time.
  - d. Masukkan code seperti berikut:

```
function y = run_time(u)

y = u;
```

- e. Ambil clock dari library browser: Simulink>Sources>Clock.
- f. Letakan pada ruang kerja simulink.
- g. Sambungkan clock dengan input plot\_time.
- h. Ambil matlab function dari library browser: Simulink> User-Defined Functions>MATLAB Function.
- i. Letakan pada ruang kerja simulink.
- j. Ubah nama blok menjadi plot\_r\_Measured.
- k. Masukkan code seperti berikut:

```
function y = plot_measured(u)

y = u;
```

- l. Sambungkan input plot\_r\_Measured dengan output transfer function Ballbeam.
- m. Ambil matlab function dari library browser: Simulink> User-Defined Functions>MATLAB Function.
- n. Letakan pada ruang kerja simulink.
- o. Ubah nama blok menjadi plot\_r\_Predicted.
- p. Masukkan code seperti berikut:

```
function y = plot_predicted(u)

y = u;
```

- q. Sambungkan input plot\_r\_Predicted dengan output subsistem source.

11. Buat VR Sink untuk menampilkan sistem ballbeam yang telah dibuat:

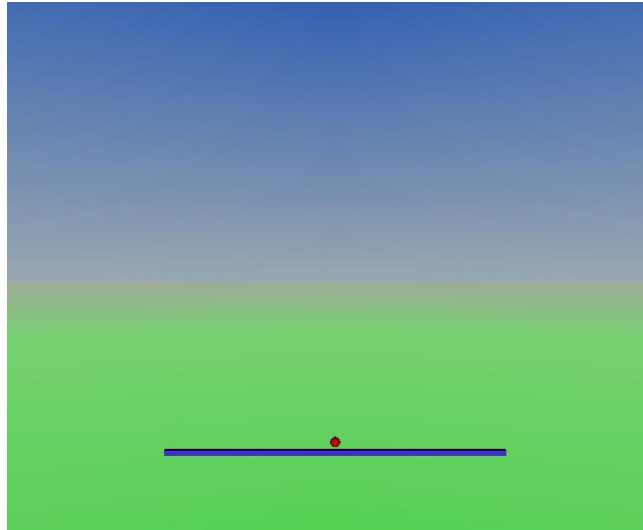
- a. Ambil VR Sink dari library browser dengan menggunakan mesin pencari yang tersedia.
- b. Letakan pada ruang kerja simulink.

12. Simpan Simulink yang telah berhasil dibuat:

- a. Klik tombol save file.
- b. Pilih directories penyimpanan (pastikan menjadi satu directory dengan file lain yang dibuat).
- c. Ubah nama menjadi Ballbeam2020a.
- d. Klik tombol SAVE.

## 2.4. Membuat Model Virtual 3D Sistem Pengaturan Ballbeam

Model virtual 3D sistem pengaturan ballbeam dapat dilihat pada Gambar 12.



**Gambar 12** Model virtual 3D ballbeam

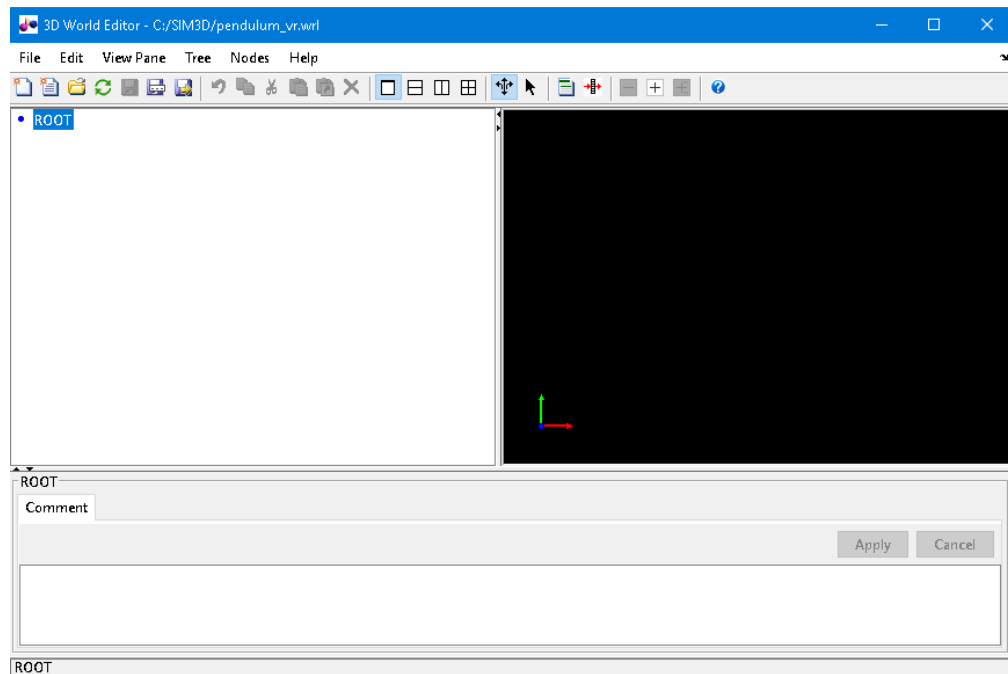
Untuk mensimulasikan dan memvisualisasikan sistem pengaturan ballbeam dalam dunia virtual, dibutuhkan model 3D Ballbeam yang terdiri: model balok dan model bola untuk memvisualisasikan simulasi. Ketika simulink dijalankan melalui GUI, maka blok model Simulink Ballbeam mengirimkan input nilai berupa nilai XYZ sebagai gerak translasi dari bola dan nilai sudut sebagai gerak rotasi batang ke model virtual reality sehingga output yang keluar adalah batang yang miring ke kiri atau ke kanan untuk menggerakkan bola ke kiri atau ke kanan sesuai posisi input yang diinginkan. Koneksi antara dunia virtual dan model Simulink membutuhkan blok VR Sink yang ada di library Simulink Matlab.

Prosedur pembuatan dunia virtual 3D dijelaskan sebagai berikut:

1. Buka 3D World Editor dengan virtual world kosong. Dari MATLAB Toolstrip, di tab Aplikasi, di bagian Simulation Graphics and Reporting, klik 3D World Editor.

Setelah 3D World Editor terbuka, terdapat 3 panel ditampilkan pada Gambar 13 yaitu:

- Di panel kiri, virtual scene tree dengan hanya node ROOT
- Di panel kanan, dunia virtual kosong
- Di panel bawah, panel kosong untuk mengedit objek



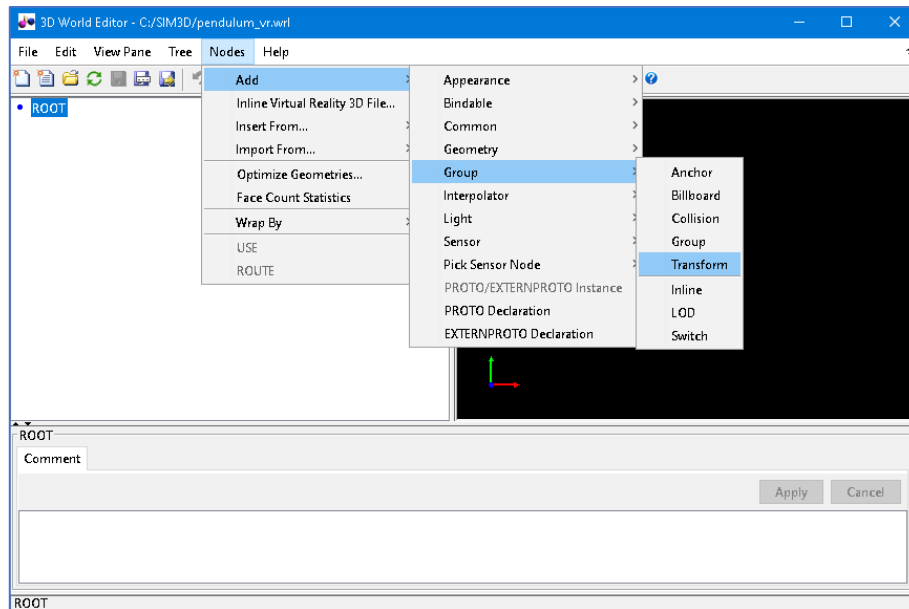
**Gambar 13** 3D World Editor

2. Selanjutnya adalah menambahkan node pada node ROOT dan menentukan objek dari satu set library yang disediakan.

Node menentukan banyak aspek dunia virtual, seperti:

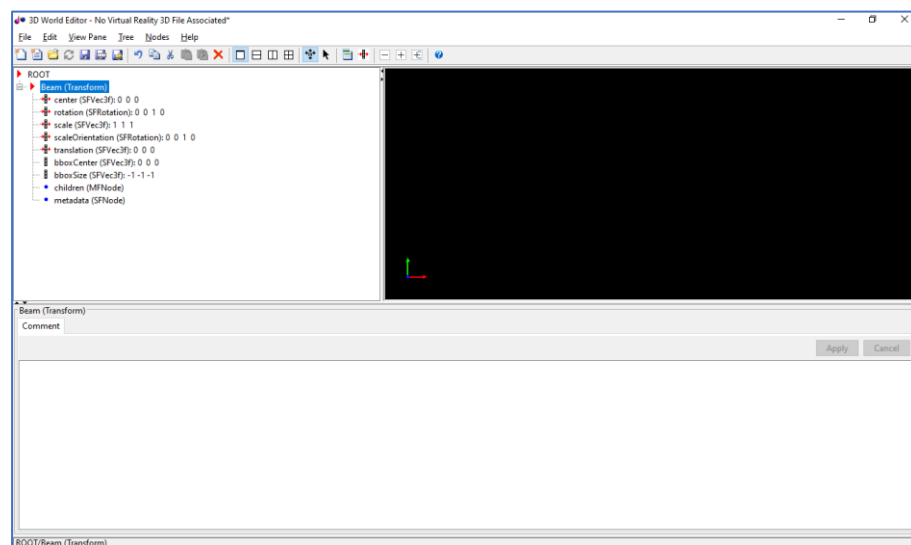
- Penampilan (misalnya, gaya font, warna, dan bahan)
- Informasi navigasi (misalnya, mode navigasi dan lampu depan)
- Geometri (misalnya, kotak, teks, dan kisi elevasi)
- Grup (misalnya, *transforms*)
- Interpolator
- Cahaya
- Sensor

3. Buat model desain **batang dan bola** pada model Ballbeam dengan menambahkan node Transform di bawah node ROOT, dengan setiap node Transform termasuk hierarki node children, Shape, Appearance dan Geometry:
  - a. Pada struktur tree di panel kiri, klik ROOT.
  - b. Tambahkan node Transform, dengan urutan seleksi menu yang ditampilkan pada Gambar 14 berikut: Node>Add>Group>Transform



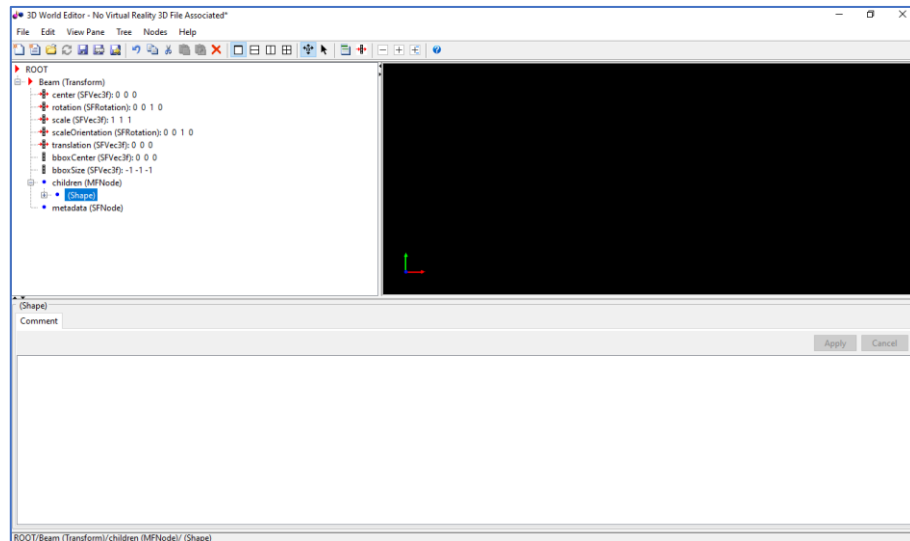
**Gambar 14** Add transform path

4. Transform node ini digunakan untuk mengatur gerak rotasi Batang dengan memasukkan data koordinat rotasi secara terus menerus dari hasil dari simulink. Untuk memberi nama Transform node:
  - a. Klik kanan Transform node.
  - b. Pilih item menu Edit Name.
  - c. Pada kotak edit di sebelah kiri Transform node, ketik Beam.
  - d. Terlihat pada scene tree Gambar 15.



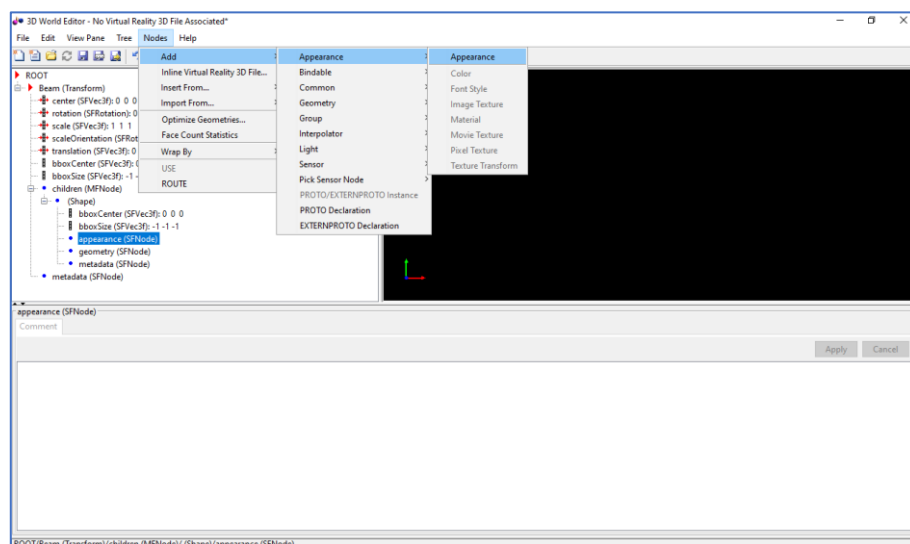
**Gambar 15** Creating Beam (Transform)

5. Tambahkan Shape node pada Beam node:
  - a. Perluas Beam node, dan pilih children node.
  - b. Tambahkan Shape node, dengan urutan seleksi menu berikut: Node>Add>Common>Shape.
  - c. Setelah ditambahkan terlihat pada scene tree Gambar 16.



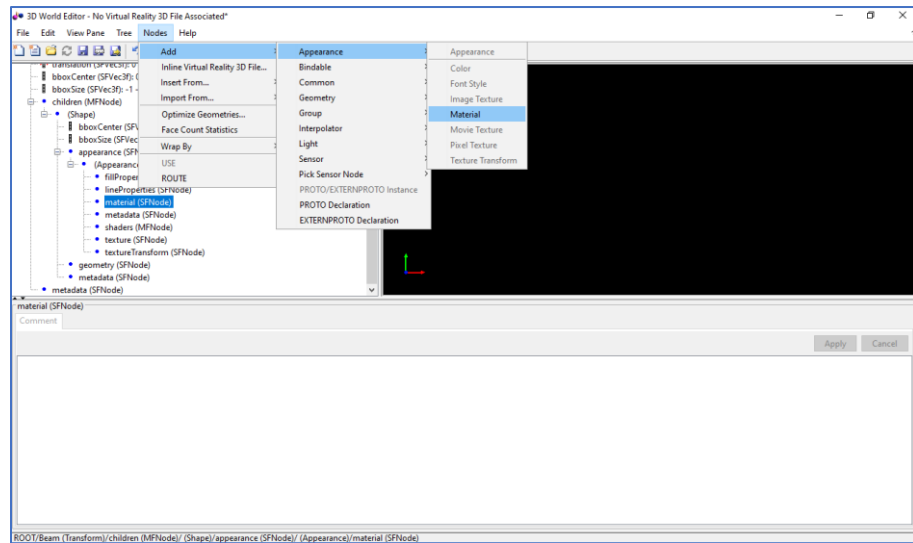
**Gambar 16** Add shape

6. Tambahkan Appearance node untuk Shape node:
  - a. Di bawah Shape node, pilih appearance (SFNode) node.
  - b. Tambahkan Appearance node, dengan urutan seleksi menu yang ditampilkan pada Gambar 17 berikut: Node>Add>Appearance>Appearance.



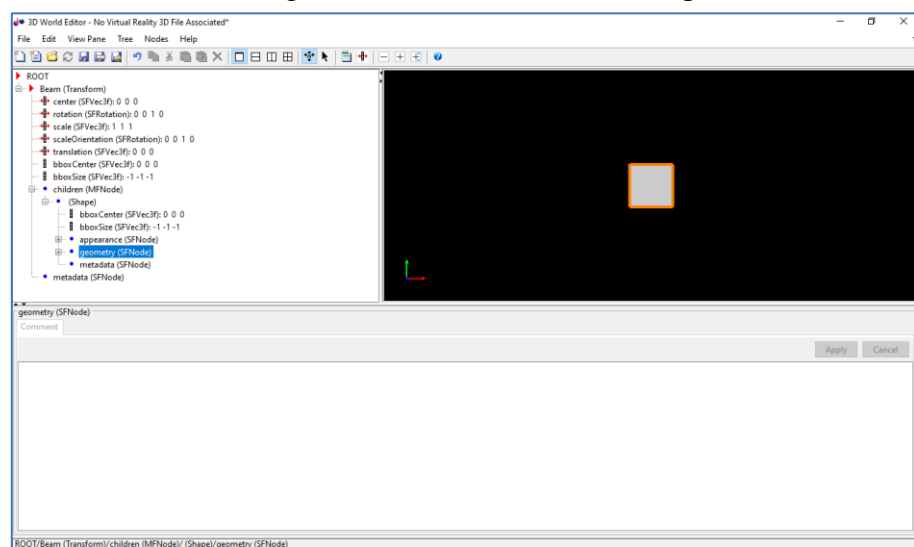
**Gambar 17** Add appearance path

7. Tambahkan Material node pada Appearance node:
  - a. Perluas (Appearance) node dan pilih material (SFNode) node.
  - b. Tambahkan Material node, dengan urutan seleksi menu yang ditampilkan pada Gambar 18 berikut: Node>Add>Appearance>Material.



**Gambar 18** Add material path

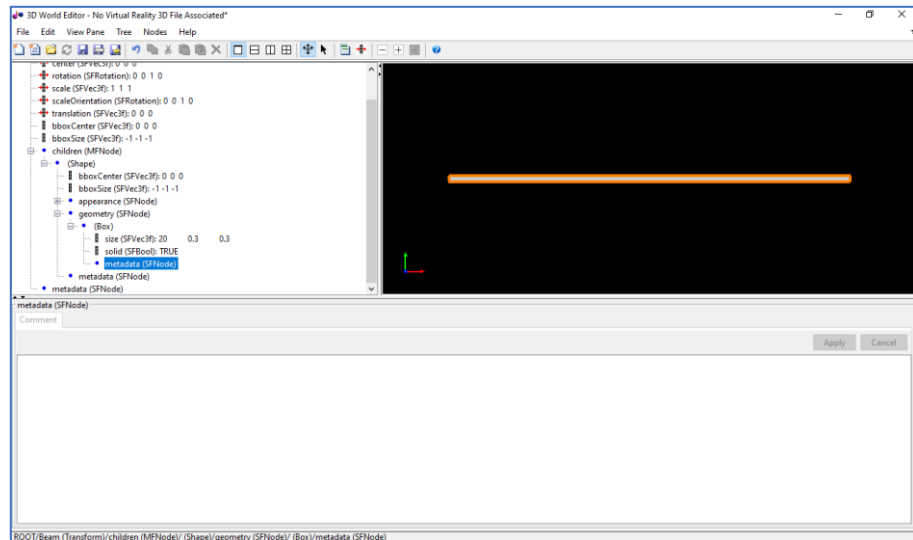
8. Tambahkan Box node pada geometry node:
  - a. Pilih geometry (SFNode) node pada (Shape) node.
  - b. Tambahkan Box node, dengan urutan seleksi menu berikut: Node>Add>Geometry>Box.
  - c. Setelah ditambahkan geometri balok akan muncul seperti Gambar 19.



**Gambar 19** Add box geometry

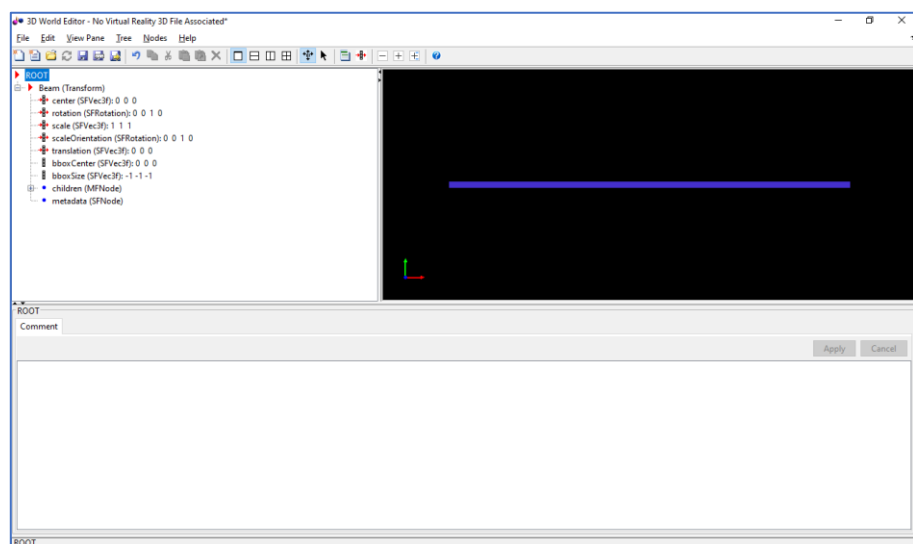


9. Edit ukuran Beam secara proporsional sesuai ukuran batang dari Sistem Ballbeam:
  - a. Pilih size property (SFVec3f) pada Box node.
  - b. Pada panel object properties edit di bawah 3D World Editor, ketik 20 pada kolom pertama, 0.3 pada kolom kedua, dan 0.3 pada kolom ketiga.
  - c. Klik Apply dan hasilnya akan muncul bentuk balok seperti Gambar 20.



**Gambar 20** Edit box size

10. Edit appearance batang agar tampak kontras dengan objek bola:
  - a. Pilih diffuseColor (SFCOLOR) pada Material node.
  - b. Pada panel object properties edit di bawah 3D World Editor, ketik 0.26865 pada kolom pertama, 0.18455 pada kolom kedua, dan 0.8 pada kolom ketiga.
  - c. Klik Apply dan hasilnya akan muncul bentuk balok seperti Gambar 21.



**Gambar 21** Edit box appearance

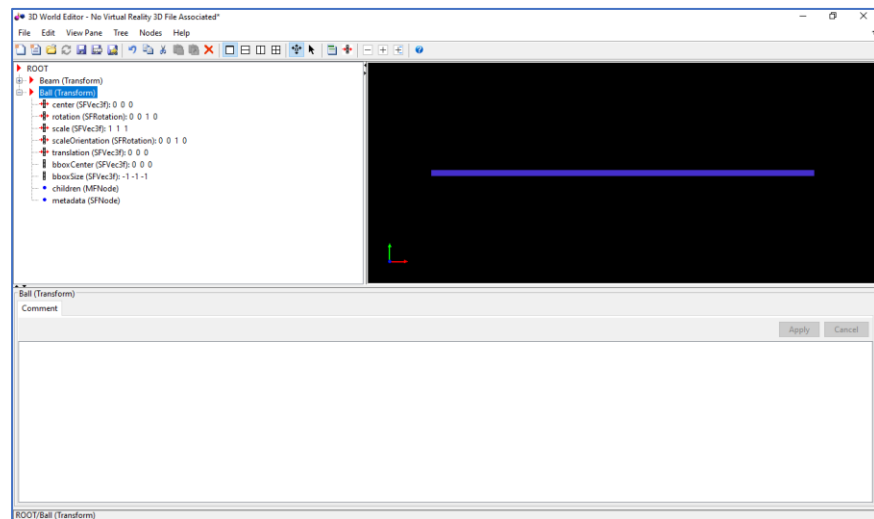
11. Tambahkan Transform node untuk **Ball**:

- a. Tambahkan Transform node seperti pada step 2.
- b. Edit name menjadi Ball seperti pada step 3.

12. Transform node ini digunakan untuk mengatur gerak translasi Bola dengan memasukan data koordinat translasi secara terus menerus dari hasil dari simulink.

Untuk memberi nama Transform node:

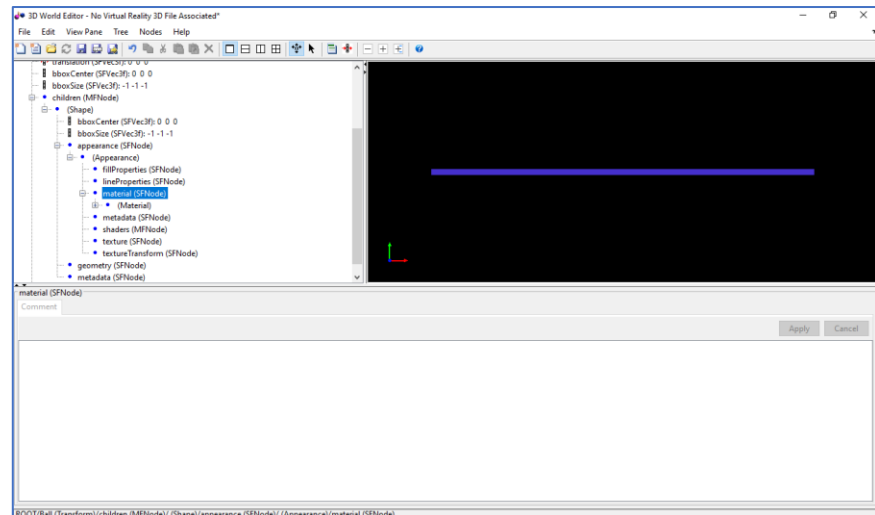
- a. Klik kanan Transform node.
- b. Pilih item menu Edit Name.
- c. Pada kotak edit di sebelah kiri Transform node, ketik Ball seperti pada Gambar 22.



**Gambar 22** Add Ball (Transform)

13. Tambahkan Shape node pada Ball node:

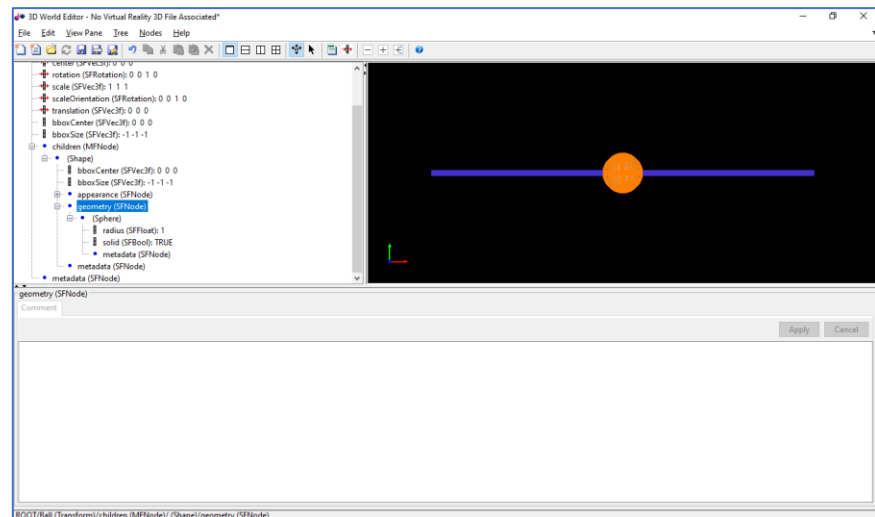
- a. Perluas Ball node, dan pilih children node.
- b. Tambahkan Shape node seperti pada langkah 4.
- c. Tambahkan Appearance node seperti pada langkah 5.
- d. Tambahkan Material node pada Appearance node seperti pada langkah 6.
- e. Scene tree terlihat seperti Gambar 23.



**Gambar 23** Creating ball transform tree

14. Tambahkan Sphere node pada geometry node:

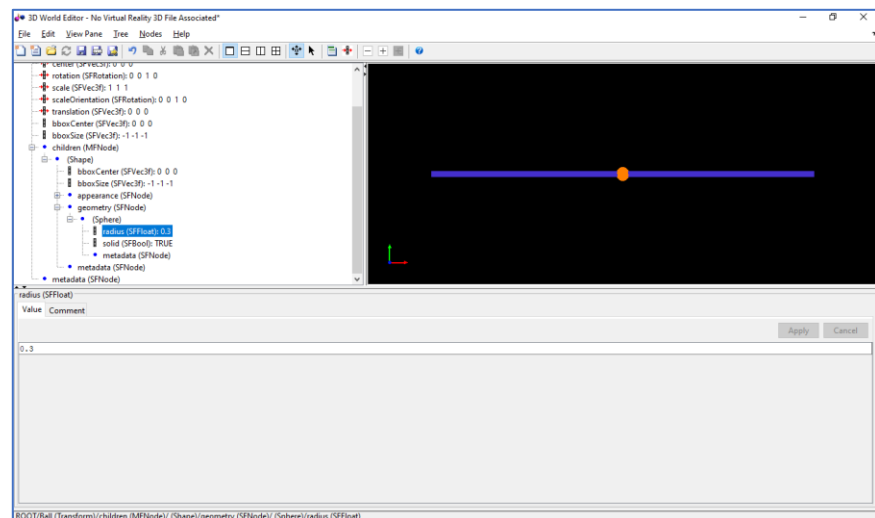
- Pilih geometry (SFNode) node pada (Shape) node.
- Tambahkan Sphere node, dengan urutan seleksi menu yang berikut:  
Node>Add>Geometry>Sphere.
- Terlihat seperti pada Gambar 24.



**Gambar 24** Creating ball object

15. Edit ukuran Ball secara proporsional sesuai ukuran objek bola dari Sistem Ballbeam:

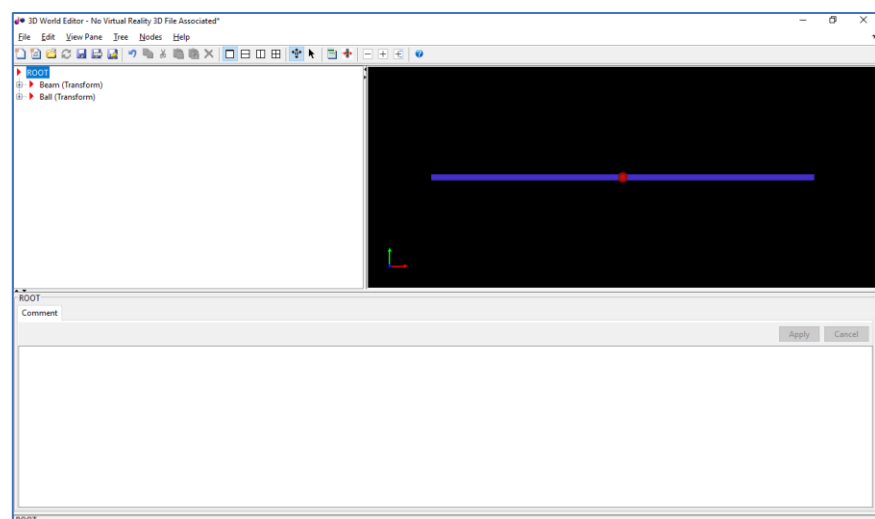
- Pilih radius property (SFFloat) pada Sphere node.
- Pada panel object properties edit di bawah 3D World Editor, ketik 0.3.
- Klik Apply dan hasilnya akan muncul bentuk balok seperti Gambar 25.



**Gambar 25** Edit ball size

16. Edit appearance bola agar tampak kontras dengan objek batang:

- Pilih diffuseColor (SFCOLOR) pada Material node.
- Pada panel object properties edit di bawah 3D World Editor, ketik 0.8 pada kolom pertama, 0. 064394 pada kolom kedua, dan 0. 048802 pada kolom ketiga.
- Klik Apply dan hasilnya akan muncul bentuk balok seperti Gambar 26.

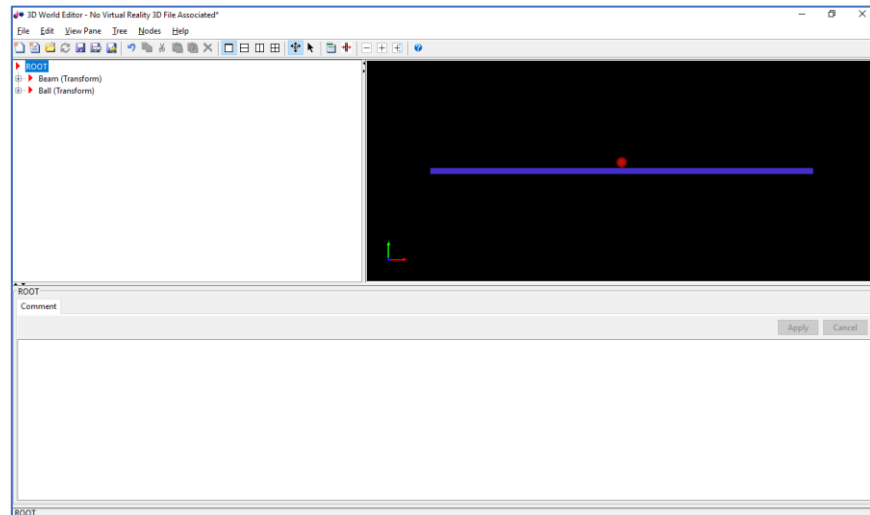


**Gambar 26** Edit ball appearance

17. Edit posisi bola agar berada di atas objek batang:

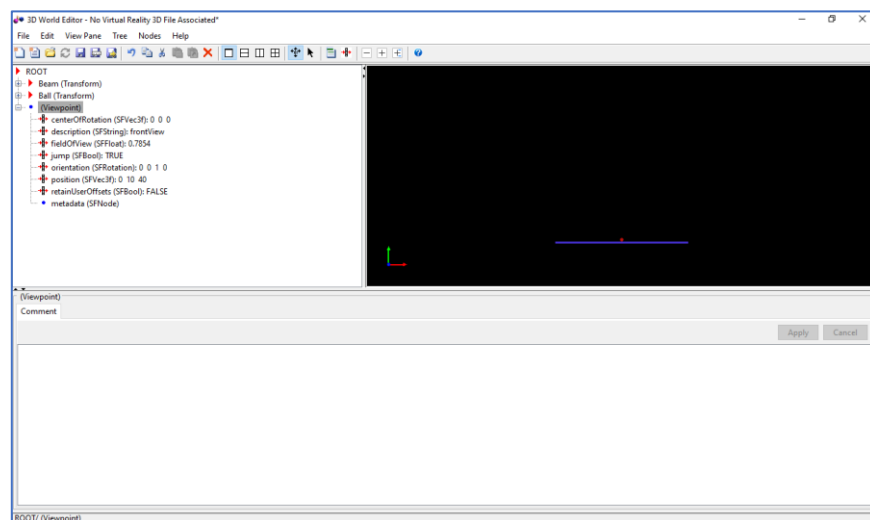
- Pilih properties translation(SFVec3f).
- Pada panel object properties edit di bawah 3D World Editor, 0.45 pada kolom kedua.

- c. Klik Apply dan hasilnya akan muncul bentuk balok seperti Gambar 27.



**Gambar 27** Edit ball position

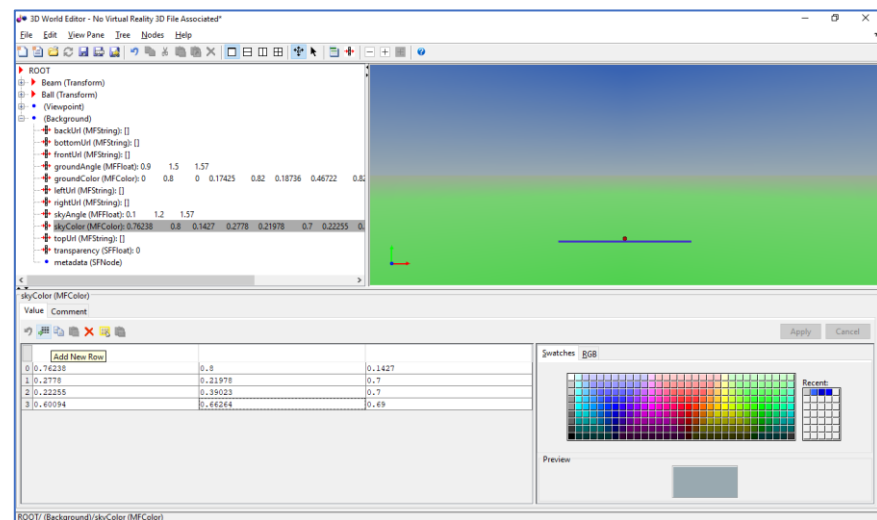
18. Selanjutnya adalah menambahkan viewpoint untuk menyimpan posisi kamera dari depan:
- Klik ROOT node
  - Tambahkan Viewpoint node, dengan urutan seleksi menu berikut: Node>Add>Bindable>Viewpoint.
  - Pilih fieldOfView (SFFloat) property dan set nilainya menjadi 0.7854.
  - Pilih orientation (SFRotation) property dan set nilainya menjadi [0 0 1 0].
  - Pilih position (SFVec3f) property dan set nilainya menjadi [0 10 40].
  - Pilih description (SFString) property dan set menjadi frontView agar dapat diakses.
  - Setelah dibuat, klik kanan Front\_view node dan pilih Go to viewpoint untuk men-set kamera sesuai properti dari Viewpoint Front\_View seperti pada Gambar 28.



**Gambar 28** Add viewpoint

19. Selanjutnya adalah menambahkan background untuk menambahkan latar belakang pada 3DWorld:

- Klik ROOT node.
- Tambahkan Background node, dengan urutan seleksi menu berikut: Node>Add>Bindable> Background.
- Pilih groundAngle (MFFloat) property dan set nilainya menjadi [0.9 1.5 1.57].
- Pilih groundColor (MFColor) property dan set nilainya menjadi [0 0.8 0; 0.17425 0.82 0.18736; 0.46722 0.82 0.4458; 0.622 0.67 0.60028] .
- Pilih skyAngle (MFFloat) property dan set nilainya menjadi [0.1 1.2 1.57].
- Pilih skyColor (MFColor) property dan set nilainya menjadi [0.76238 0.8 0.1427; 0.2778 0.21978 0.7; 0.22255 0.39023 0.7; 0.60094 0.66264 0.69].
- Hasil dari background ditampilkan pada Gambar 29.



**Gambar 29** Add background

20. Selanjutnya tambahkan spotLight untuk memberi pencahayaan pada 3DWorld:

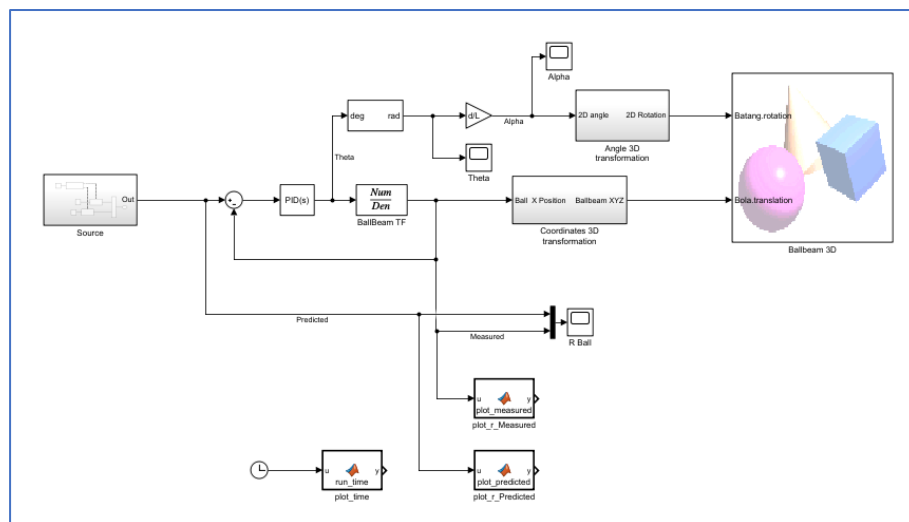
- Klik ROOT node.
- Tambahkan Background node, dengan urutan seleksi menu berikut: Node>Add>Light> spotLight.
- Pilih beamWidth (SFFloat) property dan set nilainya menjadi 1.5708.
- Pilih cutOffAngle (SFFloat) property dan set nilainya menjadi 0.7854.
- Pilih location (SFVec3f) property dan set nilainya menjadi [0 20 0].

21. Simpan 3Dworld yang telah berhasil dibuat:

- Klik tombol save file.
- Pilih directories penyimpanan (pastikan menjadi satu directory dengan simulink yang dibuat).
- Ubah nama menjadi ballbeam.
- Klik tombol SAVE.

22. Hubungkan 3Dworld yang telah berhasil dibuat dengan VRSink pada Simulink:

- a. Buka properties blok VRSink.
- b. Pada bagian Virtual World Properties>Source file klik tombol browse.
- c. Cari direktori penyimpanan file 3D World ballbeam yang telah disimpan dengan format file (\*.wrl,\*.x3d,\*.x3dv). Klik OK
- d. Pada Virtual World Tree perluas Batang (Transform) dan centang rotation (SFRotation).
- e. Pada Virtual World Tree perluas Bola (Transform) dan centang translation (SFVec3f).
- f. Sambungkan input Batang.rotation dengan output subsistem Angle 3D transformation dan input Bola.translation dengan output subsistem Coordinates 3D transformation.
- g. Klik tombol OK.
- h. Hasil diagram simulink dapat dilihat pada Gambar 30



### Gambar 30 Simulink Ballbeam System

## 2.5. Pembuatan MATLABGUI

Prosedur pembuatan MATLABGUI dijelaskan sebagai berikut:

1. Buka gui editor. Dari tab Home, dalam command window matlab ketik guide.
2. Setelah jendela GUI quick start, dalam tab create new GUI pilih guide template menjadi Blank GUI (Default). Lalu tekan OK.
3. Jendela baru gui editor akan terbuka.
4. Sesuaikan ukuran background gui dengan konten objek yang digunakan dengan cara menggeser bagian ujung kanan bawah background gui.
5. Buat header untuk gui sistem kendali PID ballbeam:
  - a. Ambil static text.
  - b. Tekan ganda objek static text dan buka properti editor.
  - c. Ubah properti FontName menjadi Roboto.
  - d. Ubah properti FontSize menjadi 14.0.
  - e. Ubah properti FontWeight menjadi Bold
  - f. Ubah properti String menjadi BallBeam PID Control.
  - g. Tutup properti editor dan sesuaikan ukuran objek header.
  - h. Letakan header pada bagian atas gui.
6. Buat input parameter untuk memasukan parameter yang mengatur simulasi:
  - a. Buat panel wadah input parameter:
    - Ambil Panel.
    - Tekan ganda objek panel dan buka properti editor.
    - Ubah properti Title menjadi Parameter.
    - Tutup properti editor.
  - b. Buat parameter sinyal input:
    - Ambil Static Text.
    - Tekan ganda objek static editor dan buka properti editor.
    - Ubah properti String menjadi Sinyal Input.
    - Tutup properti editor.
    - Sesuaikan ukuran objek static text agar semua tulisan dapat terlihat jelas.
    - Ambil pop-up menu.
    - Tekan ganda objek pop-up menu dan buka properti editor.
    - Ubah properti String menjadi Kotak dan Sinus (berbeda baris).
    - Ubah properti Tag menjadi input\_sinyal.
    - Tutup properti editor.
  - c. Buat parameter perpindahan bola (R):
    - Ambil Static Text.
    - Tekan ganda objek static editor dan buka properti editor.
    - Ubah properti String menjadi R.
    - Tutup properti editor.
    - Sesuaikan ukuran objek static text agar semua tulisan dapat terlihat jelas.
    - Ambil Edit Text.



- Tekan ganda objek edit text dan buka properti editor.
- Ubah properti String menjadi 5.
- Ubah proeptri Tag menjadi R.
- Tutup properti editor.

d. Buat parameter gain proporsional ( $K_p$ ):

- Ambil Static Text.
- Tekan ganda objek static editor dan buka properti editor.
- Ubah properti String menjadi  $K_p$ .
- Tutup properti editor.
- Sesuaikan ukuran objek static text agar semua tulisan dapat terlihat jelas.
- Ambil Edit Text.
- Tekan ganda objek edit text dan buka properti editor.
- Ubah properti String menjadi 15.
- Ubah proeptri Tag menjadi  $K_p$ .
- Tutup properti editor

e. Buat parameter gain Derivative ( $K_d$ ):

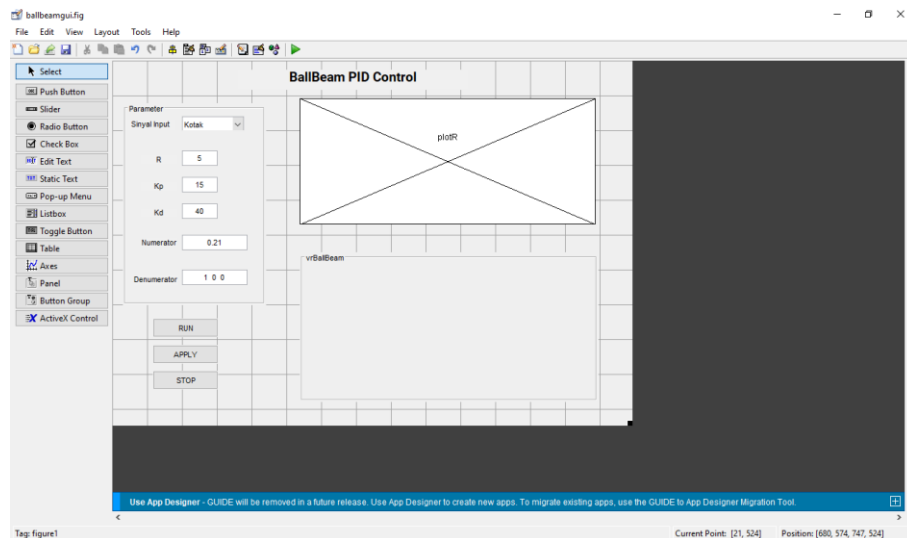
- Ambil Static Text.
- Tekan ganda objek static editor dan buka properti editor.
- Ubah properti String menjadi  $K_d$ .
- Tutup properti editor.
- Sesuaikan ukuran objek static text agar semua tulisan dapat terlihat jelas.
- Ambil Edit Text.
- Tekan ganda objek edit text dan buka properti editor.
- Ubah properti String menjadi 40.
- Ubah proeptri Tag menjadi  $K_d$ .
- Tutup properti editor

f. Buat parameter Numerator transfer function:

- Ambil Static Text.
- Tekan ganda objek static editor dan buka properti editor.
- Ubah properti String menjadi Numerator.
- Tutup properti editor.
- Sesuaikan ukuran objek static text agar semua tulisan dapat terlihat jelas.
- Ambil Edit Text.
- Tekan ganda objek edit text dan buka properti editor.
- Ubah properti String menjadi 0.21.
- Ubah proeptri Tag menjadi Num.
- Tutup properti editor

- g. Buat parameter Denominator transfer function:
- Ambil Static Text.
  - Tekan ganda objek static editor dan buka properti editor.
  - Ubah properti String menjadi Denominator.
  - Tutup properti editor.
  - Sesuaikan ukuran objek static text agar semua tulisan dapat terlihat jelas.
  - Ambil Edit Text.
  - Tekan ganda objek edit text dan buka properti editor.
  - Ubah properti String menjadi [1 0 0].
  - Ubah proeperti Tag menjadi Den.
  - Tutup properti editor
7. Buat tombol untuk mengatur jalannya simulasi sesuai dengan kebutuhan pengguna:
- a. Buat tombol RUN:
- Ambil Push Button.
  - Tekan ganda objek push button dan buka properti editor.
  - Ubah properti String menjadi RUN.
  - Ubah properti Tag menjadi Run.
  - Tutup properti editor.
  - Sesuaikan ukuran push button.
- b. Buat tombol APPLY:
- Ambil Push Button.
  - Tekan ganda objek push button dan buka properti editor.
  - Ubah properti String menjadi APPLY.
  - Ubah properti Tag menjadi Apply.
  - Tutup properti editor.
  - Sesuaikan ukuran push button.
- c. Buat tombol STOP:
- Ambil Push Button.
  - Tekan ganda objek push button dan buka properti editor.
  - Ubah properti String menjadi STOP.
  - Ubah properti Tag menjadi Stop.
  - Tutup properti editor.
  - Sesuaikan ukuran push button.

8. Buat jendela untuk menampilkan plot dari data scope R Ball:
  - a. Ambil Axes.
  - b. Tekan ganda objek axes dan buka properti editor.
  - c. Ubah properti Tag menjadi plotR.
  - d. Tutup properti editor.
  - e. Sesuaikan ukuran axes.
9. Buat jendela untuk menampilkan 3Dworld/VRWorld dari data blok VRSink:
  - a. Ambil Panel.
  - b. Tekan ganda objek panel dan buka properti editor.
  - c. Ubah properti Tag menjadi uipanel.
  - d. Ubah properti Title menjadi vrBallBeam.
  - e. Tutup properti editor.
  - f. Sesuaikan ukuran panel.
10. Atur penataan layout object gui sesuai dengan preferensi masing-masing. Sebagai referensi dapat dilihat pengaturan layout seperti pada Gambar 31.



**Gambar 31** Simulink Ballbeam System

11. Simpan Simulink yang telah berhasil dibuat:
  - a. Klik tombol ikon save file.
  - b. Pilih directories penyimpanan (pastikan menjadi satu directory dengan file lain yang dibuat).
  - c. Ubah nama menjadi ballbeamgui.
  - d. Klik tombol SAVE dan script editor akan terbuka di matlab secara otomatis dengan nama penyimpanan sama dengan figure gui dengan format \*.m.
12. File ballbeamgui.m akan otomatis terbuka dan berisi script editor dengan konten utama terdiri dari fungsi Callback dan CreateFcn untuk setiap objek pada gui figure yang telah diberikan properti Tag. Format fungsi Callback dan CreateFcn adalah TagObject\_Callback dan TagObject\_CreateFcn.

13. Atur default untuk objek edit text dengan memasukkan script berikut di bawah fungsi CreateFcn dengan merubah parameter R dengan (R, Kp, Kd, Den, Num) untuk masing-masing edit text:

```
%set the default
NN=evalin('base','Den');
NN=num2str(NN);
set(hObject,'String',NN);
set_param('Ballbeam2020a','SimulationCommand','update');
```

14. Atur tombol RUN di bawah fungsi Run\_Callback agar memberikan perintah untuk menjalankan simulasi, plot grafis, dan 3Dworld pada gui:

- a. Atur tombol RUN untuk mengganti state SimulationCommand berubah dari stop menjadi start dengan script berikut:

```
set_param('Ballbeam2020a','SimulationCommand','start');
```

- b. Ambil data 3Dworld dari blok VRSink untuk ditampilkan pada panel uipanel dengan script sebagai berikut:

```
vrWorld = vrworld('ballbeam.wrl');
open(vrWorld);
myCanvas = vr.canvas(vrWorld, 'Parent', handles.uipanel,
'Units',...
'normalized', 'Position', [0 0 1 1], 'Viewpoint', 'frontView');
```

- c. Buat timer untuk memberikan data timer pada axes dengan script berikut:

```
handles.timer = timer('Name','MyTimer', ...
'Period',0.1, ...
'StartDelay',0, ...
'TasksToExecute',inf, ...
'ExecutionMode','fixedSpacing', ...
'TimerFcn',{@timerCallback,hObject});

guidata(hObject,handles);
start(handles.timer);
```

- d. Panggil timer dengan function [], ambil data untuk x\_time dari blok matlab function plot\_time, y\_measured dari plot\_R\_measured, dan y\_predicted dari plot\_R\_Predicted dengan script sebagai berikut:

```

% if new data, then update the axes
if ~isempty(handles)
    % get data from simulink
    rto =
get_param('Ballbeam2020a/plot_time','RuntimeObject');
    x_time = rto.OutputPort(1).Data;

    rto_r_measured =
get_param('Ballbeam2020a/plot_r_Measured','RuntimeObject');
    y_measured = rto_r_measured.OutputPort(1).Data;

    rto_r_predicted =
get_param('Ballbeam2020a/plot_r_Predicted','RuntimeObject');
    y_predicted = rto_r_predicted.OutputPort(1).Data;

```

- e. Inisiasi ukuran grafik axes dan plot data measured dan predicted terhadap waktu untuk setiap titik data dengan script berikut dan menghasilkan plot titik:

```

set(handles.plotR,'xLim',[x_time-10 x_time+20]);
set(handles.plotR,'yLim',[-10 10]);

plot(handles.plotR,[x_time x_time],[y_measured y_measured],
'bo','LineWidth',1,'MarkerSize',1);
hold on;

plot(handles.plotR,[x_time x_time],[y_predicted
y_predicted], 'ro','LineWidth',1,'MarkerSize',1);
hold on;

```

- f. Ambil data setiap titik dari axes dan inisiasi data untuk plot garis dengan script berikut:

```

hChildren = get(handles.plotR,'Children');
xDat1 = get(hChildren(:),'XData');
yDat1 = get(hChildren(:),'YData');

% inisiasi data x dan y
ns = size(xDat1,1);
ax = [0 0 0 0]';
ay = [0 0 0 0]';

```

- g. Plot data x dan y yang telah didapatkan dan tutup fungsi function [] dengan script berikut:

```
if ns > 2
    ax = cell2mat(xData1(1:4));
    ay = cell2mat(yData1(1:4));
end

%line measured
plot(handles.plotR,[ax(2) ax(4)] ,[ay(2) ay(4)], 'b-',
'LineWidth', 1);
hold on;
%line predicted
plot(handles.plotR,[ax(1) ax(3)] ,[ay(1) ay(3)], 'r-',
'LineWidth', 1);
hold on;
end
end
```

15. Atur tombol APPLY di bawah fungsi Apply\_Callback untuk memasukan perubahan input parameter yang dilakukan oleh pengguna pada simulasi.

- a. Ambil perubahan data yang diinput user pada gui dengan script berikut:

```
%get the user entered value for gain and convert it to a
string
val_Input = get(handles.input_sinyal,'Value');
val_R = str2num(get(handles.R,'String'));
val_Kp = str2num(get(handles.Kp,'String'));
val_Kd = str2num(get(handles.Kd,'String'));
val_Num = str2num(get(handles.Num,'String'));
val_Den = str2num(get(handles.Den,'String'));
```

- b. Perbarui parameter di simulink dan parameter yang tersimpan di workspace dengan script sebagai berikut:

```
%update both the model and the current string in the gain
window.
if(val_R)
    assignin('base','SW_Control',val_Input);
    assignin('base','R',val_R);
    assignin('base','Kp',val_Kp);
    assignin('base','Kd',val_Kd);
    assignin('base','Num',val_Num);
    assignin('base','Den',val_Den);
    set_param('Ballbeam2020a','SimulationCommand','update');
else
    val_Input = evalin('base','SW_Control');
    val_R = evalin('base','R');
    val_Kp = evalin('base','Kp');
    val_Kd = evalin('base','Kd');
    val_Num = evalin('base','Num');
    val_Den = evalin('base','Den');
    set(handles.input_sinyal,'Value',val_Input);
    set(handles.R,'String',num2str(val_R));
    set(handles.Kp,'String',num2str(val_Kp));
    set(handles.Kd,'String',num2str(val_Kd));
    set(handles.Num,'String',num2str(val_Num));
    set(handles.Den,'String',num2str(val_Den));
end
```

16. Atur tombol STOP di bawah fungsi Stop\_Callback agar dapat menghentikan simulasi dan mereset axes:

- a. Masukkan script agar axes dapat direset saat tombol STOP di tekan dengan memasukan script berikut di bawah fungsi Stop\_Callback

```
axes(handles.plotR);
cla reset;
```

- b. Atur tombol STOP untuk mengganti state SimulationCommand berubah dari start menjadi stop dengan script berikut:

```
set_param('Ballbeam2020a','SimulationCommand','stop');
```

17. Simpan Script gui yang telah berhasil dibuat:

- Tekan ctrl+S
- Pilih directories penyimpanan (pastikan menjadi satu directory dengan file lain yang dibuat).
- Ubah nama menjadi ballbeamgui.

## 2.6. Pembuatan Script Inisiasi

Prosedur pembuatan script matlab untuk menginisiasi program dijelaskan sebagai berikut:

1. Buka script baru dengan menekan ikon panah bawah di dalam tab HOME pada bagian FILE. Pilih Script atau tekan ctrl+N.
2. Masukan script berikut untuk menginisiasi parameter program Ballbeam PID Control:

```
%% Init Parameter
m = 0.111;          % mass of the ball
r = 0.015;          % radius of the ball
g = -9.8;           % gravitational acceleration
L = 1.0;            % length of the beam
d = 0.03;           % lever arm offset
J = 9.99e-6;        % ball's moment of inertia

R = 5;              % ball position coordinate
SW_Control = 1;     % source signal controller

K = (m*g*d) / (L*(J/r^2+m)); %simplifies input

Num = [-K];
Den = [1 0 0];

Kp = 15;
Kd = 40;
```

3. Masukan script berikut untuk menjalankan program Ballbeam PID Control:

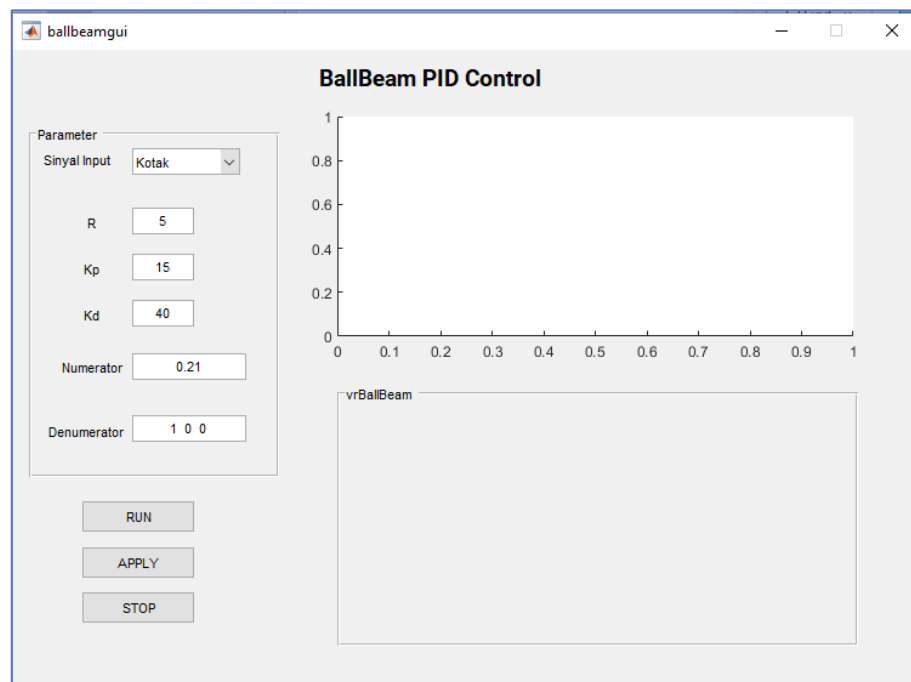
```
%% Run Simulink and GUI
Ballbeam2020a
ballbeamgui
```

4. Simpan Script inisiasi yang telah berhasil dibuat:
  - a. Tekan ctrl+S
  - b. Pilih directories penyimpanan (pastikan menjadi satu directory dengan file lain yang dibuat).
  - c. Ubah nama menjadi ballbeam.

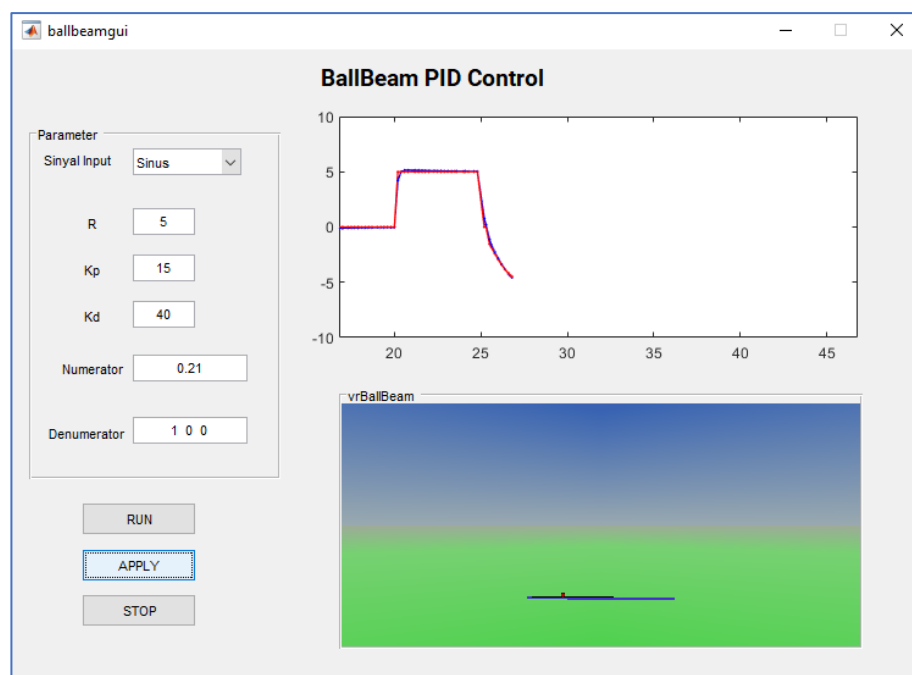


## 2.7. Hasil 3D World Virtual untuk Sistem Pengaturan Ballbeam GUI

Jalankan script ballbeam.m. Jendela ballbeam GUI akan terbuka seperti pada Gambar 32. Tekan tombol RUN dan jendela GUI akan terlihat seperti pada Gambar 33.



**Gambar 32** Ballbeam PID Control GUI



**Gambar 33** Ballbeam PID Control GUI saat di jalankan