

PETUNJUK PRAKTIKUM

PRAKTIKUM

SISTEM KENDALI



Laboratorium Dasar
Teknik Elektro

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung

2021

MODUL PRAKTIKUM SISTEM KENDALI



Disusun Oleh:

Arief Syaichu Rohman

Adi Novitarini

**LABORATORIUM SISTEM KENDALI DAN KOMPUTER
SEKOLAH TEKNIK ELEKTRO DAN INFORMATIKA
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
2021**

MODUL 1 PEMODELAN

1.1 Tujuan

Tujuan dari percobaan ini adalah memahami konsep pemodelan untuk sistem orde-1. Agar pemahaman dari konsep pemodelan sistem orde-1, maka dalam percobaan ini diharapkan mampu untuk:

1. Memahami karakteristik respon transien pada sistem orde-1 & orde-2.
2. Memahami karakteristik respon steady state pada sistem orde-1 & orde-2.
3. Mengamati respon orde-1 dan orde-2 terhadap sinyal uji step.
4. Menggunakan software MATLAB & Simulink untuk pemodelan sistem orde-1 & orde-2.
5. Membuat simulasi pengendalian motor DC pada MATLAB & Simulink.

1.2 Pendahuluan

Pada dasarnya sebuah model matematis dapat dibangun melalui proses observasi data. Terdapat dua metode yang dapat digunakan untuk mendapatkan model matematis dari sebuah sistem dinamik, dimana pada praktikum kali ini sistem yang akan dikendalikan adalah Motor DC.

1.3 Dasar teori sistem orde-1

1. Model Analitis (White box model)

White box model didapatkan melalui penggunaan hukum dasar (First Principle) dari sistem fisik yang diamati dan akan dimodelkan (Lecture Notes, Hilwadi Hindersah).

2. Identifikasi Sistem (Black box model)

Identifikasi sistem merupakan metode dalam melakukan permodelan sebuah sistem dinamik dengan menggunakan sinyal masukan dan keluaran dari sistem yang akan dimodelkan (Lennart Ljung, 1999). Pada praktikum kali ini akan digunakan metode identifikasi sistem non-parametrik. Non parametric di sini memiliki arti hasil observasi data dapat berupa table, kurva, atau grafik yang akan memberikan informasi dasar tentang dasar model (Lecture Notes, Hilwadi Hindersah). Beberapa analisis terkait metoda ini antara lain analisis waktu transien dan frekuensi. Pada analisis waktu transien, dapat diamati melalui rise-time, overshoot/peak-time, dan settling time. Motor DC merupakan sistem orde pertama seperti pada Persamaan (1.3),

sehingga dapat dianalisis menggunakan respon transien sistem orde pertama seperti Gambar 1.1 (Nise, 2014). Dimana nilai $1/a$ dapat disebut sebagai time-constant yang dapat disimbolkan dengan τ .

- **Time constant** merupakan waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai 63% dari final value. Parameter a disebut sebagai frekuensi eksponensial.
- **Rise time (T_r)** dapat didefinisikan sebagai banyaknya waktu yang diperlukan sebuah sistem untuk mencapai 10%-90% final value. Pada sistem orde pertama dapat dicari menggunakan formula :

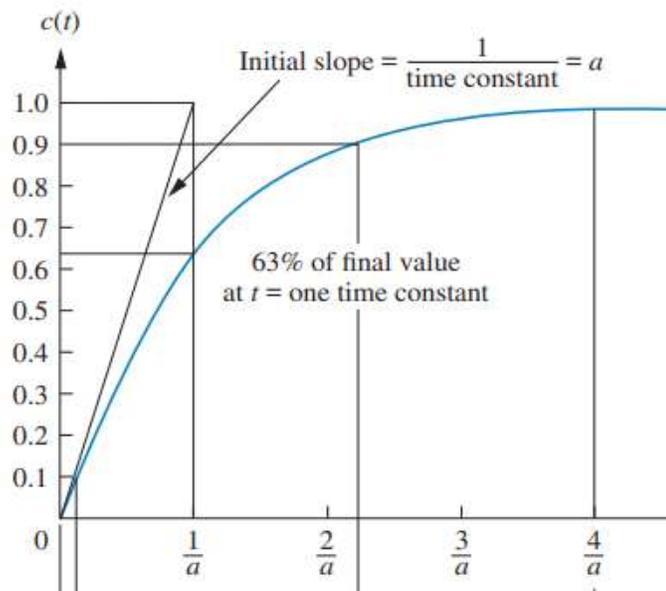
$$T_r = \frac{2.31}{a} - \frac{0.11}{a} = \frac{2.2}{a}$$

- **Settling time (T_s)** dapat didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai dan bertahan pada $\pm 2\%$ dari final value. Pada sistem orde pertama dapat dicari menggunakan formula :

$$T_s = \frac{4}{a}$$

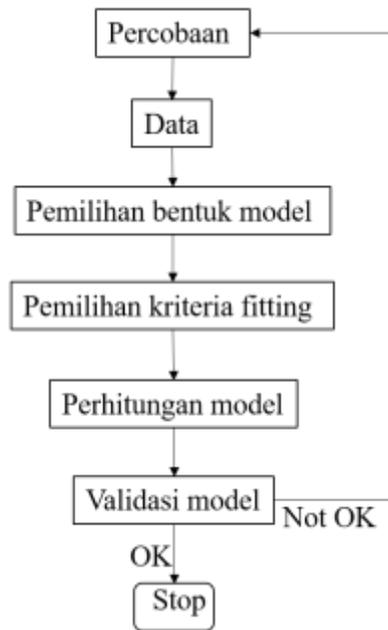
Sedangkan bentuk umum dari fungsi alih sistem orde pertama :

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1}$$



Gambar 1.1 Respon sistem orde pertama ketika diberi sinyal uji unit step

Proses identifikasi sistem jika digambarkan ke dalam bentuk diagram alir seperti pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Flowchart permodelan menggunakan metode identifikasi sistem

1.4 Dasar teori sistem orde-2

Bentuk standar dari fungsi alih orde 2 dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

Dimana,

ζ : rasio redaman.

ω_n : frekuensi tidak teredam atau frekuensi natural.

Terlihat bahwa semua karakteristik sistem dari sistem orde kedua standar merupakan fungsi dari ζ dan ω_n . Tanggapan peralihan sistem kendali praktis sering menunjukkan osilasi teredam sebelum mencapai keadaan steady, jika nilai rasio redaman untuk masukan undak satuan. Berikut ini merupakan parameter-parameter yang dapat diperhatikan dalam sistem orde-2.

- Waktu tunda / delay time, adalah waktu yang diperlukan tanggapan untuk mencapai setengah harga akhir yang pertama kali, yang dihitung dengan persamaan :

$$t_d = \frac{1+0.6\zeta+0.15\zeta^2}{\omega_n} \text{detik}$$

Agar sistem kendali mempunyai performansi yang baik maka diusahakan nilai waktu tunda sekecil mungkin.

- Waktu naik / Rise time, adalah waktu yang diperlukan tanggapan untuk naik dari 10% sampai 90%, 5% sampai 95% atau 0 sampai 10% dari harga akhirnya. Untuk sistem orde kedua, redaman kurang biasanya digunakan waktu naik 0 sampai 100% Dan untuk sistem redaman lebih biasanya digunakan waktu naik 10% sampai 90% waktu naik ini dihitung dengan persamaan :

$$t_r = \frac{1+1.1\zeta+1.4\zeta^2}{\omega_n} \text{detik}$$

Untuk nilai rasio redaman antara 0,3-0,8 waktu naik juga bisa dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$t_r = \frac{2.16\zeta+0.6}{\omega_n} \text{detik}$$

Agar sistem kendali mempunyai performansi yang baik maka diusahakan nilai waktu naik sekecil mungkin.

- Waktu puncak / peak time, adalah waktu yang diperlukan tanggapan untuk mencapai puncak pertama kali. Waktu puncak ini dihitung dengan persamaan :

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}} \text{detik}$$

Agar sistem kendali mempunyai performansi yang baik maka diusahakan nilai waktu puncak sekecil mungkin.

- Waktu keadaan steady, adalah waktu yang diperlukan kurva tanggapan untuk mencapai dan menetap dalam daerah disekitar harga akhir yang ukurannya ditentukan dengan persentase mutlak dari harga akhir biasanya 5%, 2% atau 0,5% dengan rasio redaman berkisar antara 0-0,9 detik. Untuk kriteria lebih kurang dari 2%, waktu keadaan steady dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$t_s = \frac{4}{\zeta\omega_n} \text{detik}$$

Untuk kriteria lebih kurang dari 5%, waktu steady dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$t_s \approx \frac{3}{\zeta\omega_n} \text{detik}$$

Untuk kriteria kurang dari 0,5%, waktu yang keadaan mantap steady dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$t_s \approx \frac{5}{\zeta\omega_n} \text{detik}$$

Agar sistem kendali mempunyai performansi yang baik maka diusahakan nilai waktu keadaan steady sekecil mungkin.

- Nilai puncak, adalah nilai yang dicapai tanggapan untuk mencapai puncak pertama kali. Nilai Puncak ini dihitung dengan persamaan:

$$p = 1 - e^{\frac{-\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}}$$

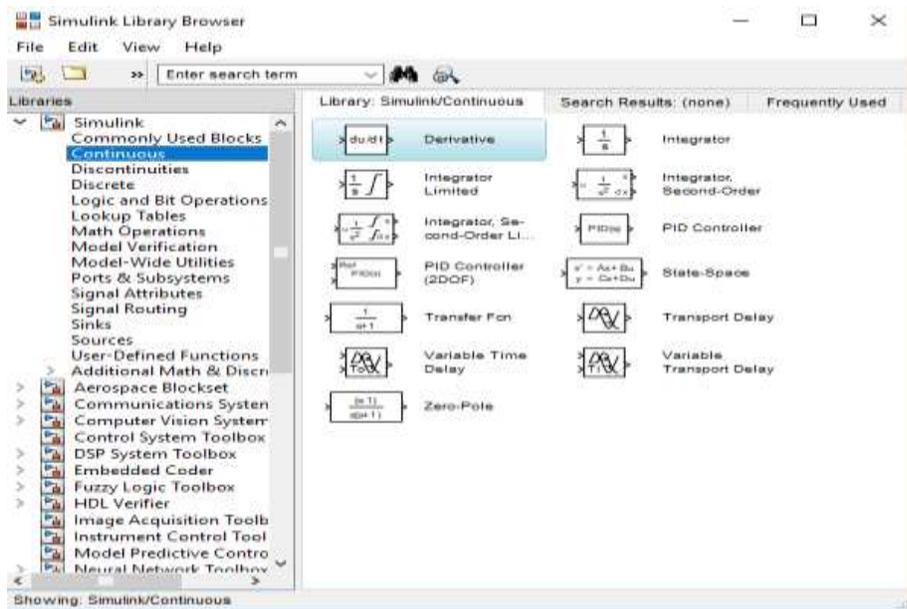
- Maksimum overshoot, adalah harga puncak maksimum dari kurva tanggapan yang diukur dari satu. Jika harga keadaan steady tanggapan tidak sama dengan satu, maka digunakan presentase maksimum overshoot yang dinyatakan dalam persamaan:

$$M_p = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% \text{ atau } M_p = 100e^{\frac{-\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \times 100\%$$

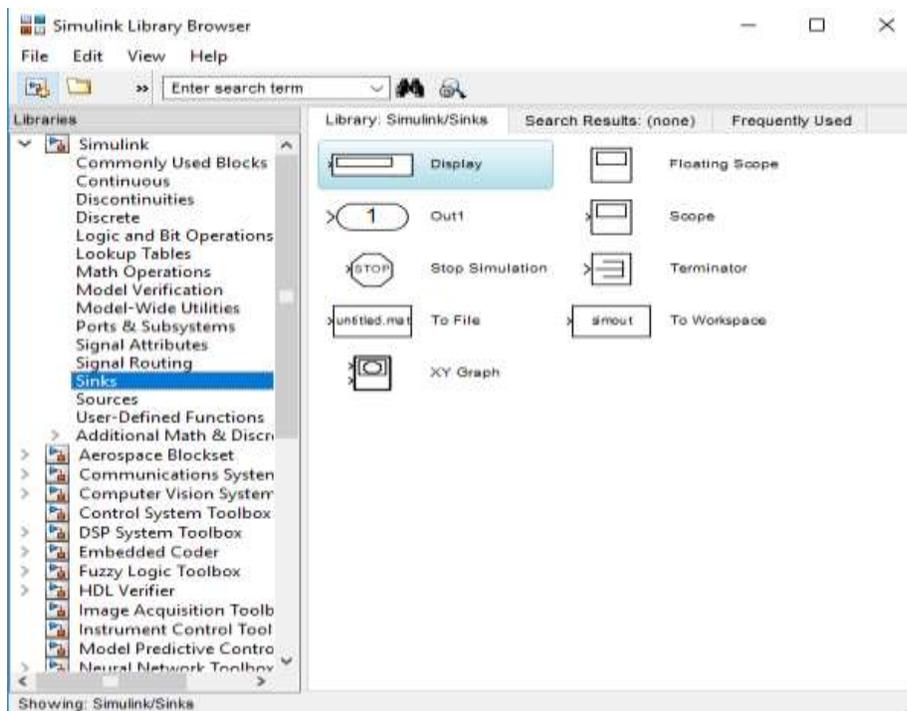
Agar sistem kendali mempunyai performansi yang baik maka diusahakan nilai maksimum overshoot lebih kecil dari 20%.

1.5 Pengenalan SIMULINK MATLAB

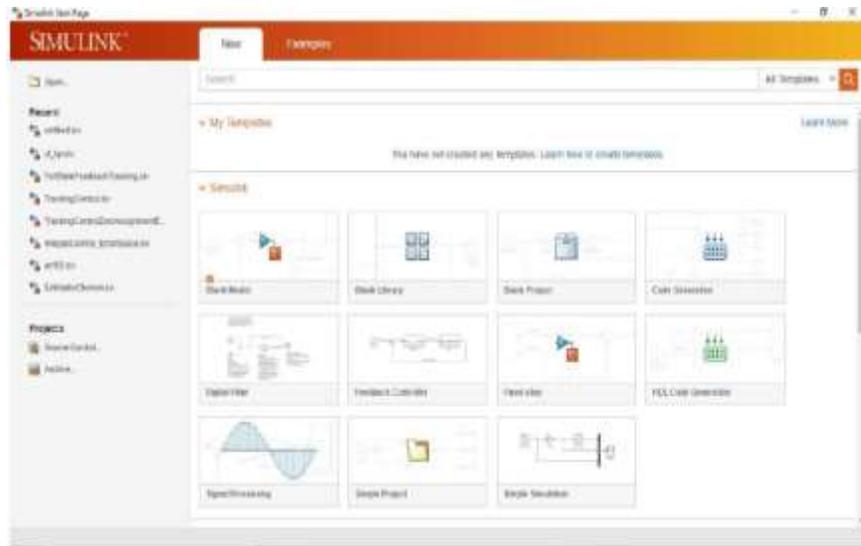
1. Deskripsi modul
 - a) Continue



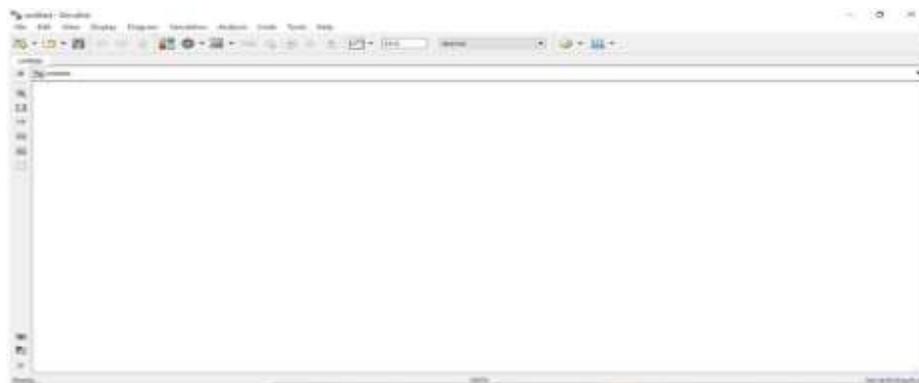
b) Sink



c) Source



c) Berikut ini merupakan tampilan awal lembar SIMULINK atau yang biasa disebut sebagai SIMULINK Editor.



d) Pilih Library Browser pada toolbar yang ada di SIMULINK editor.

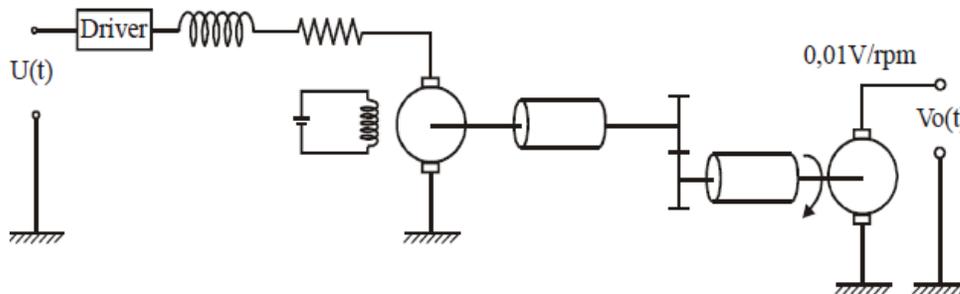
1. Personal computer yang telah terinstall software MATLAB.
2. Dokumen Log Praktikum.

1.7 Tugas pendahuluan

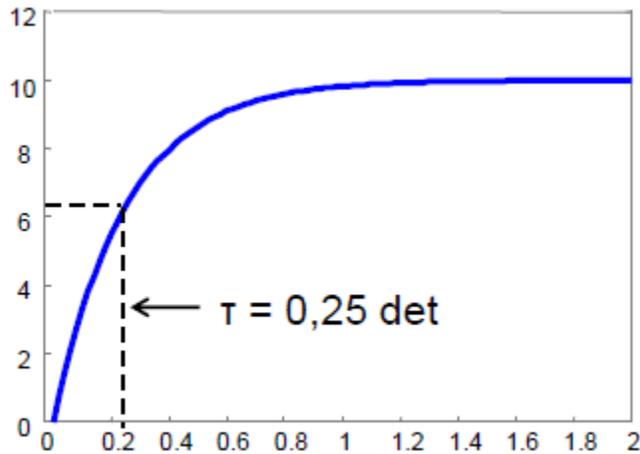
1. Mengapa permodelan diperlukan dalam melakukan perancangan sistem kendali?
2. Jika diketahui persamaan gerak dari sistem orde-1 : $2 y'(t) + 5 y(t) = x(t)$, dengan $y'(0) = y(0) = 0$.

Tentukan :

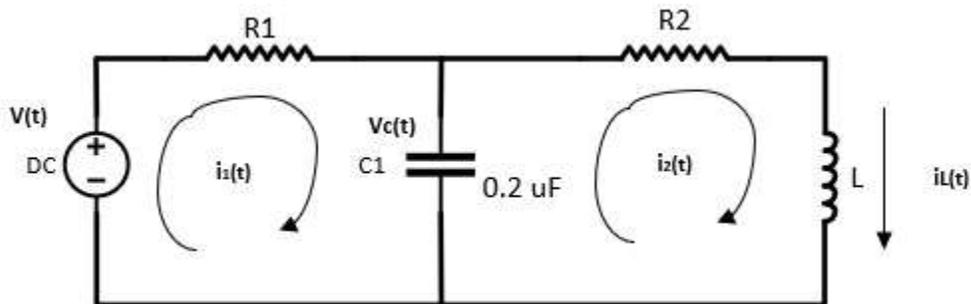
- a. Fungsi alih persamaan diatas, jika input-nya adalah $X(s)$ dan output-nya $Y(s)$.
 - b. Besar penguatan (K) dan konstanta waktu (τ).
 - c. Tentukan fungsi alih sistem setelah diberi masukan step.
3. Diketahui sebuah sistem dengan plant motor DC berbeban dilengkapi dengan tachogenerator pada gambar berikut.



Jika motor DC diberi sinyal masukan unit step $V_i(t) = 12 u(t)$ Volt, bila respon keluaran tachogenerator menyerupai orde-1 yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini, tentukan model matematis dari plant motor DC dalam bentuk fungsi alih.



4. Diketahui rangkaian listrik pada gambar dibawah ini.

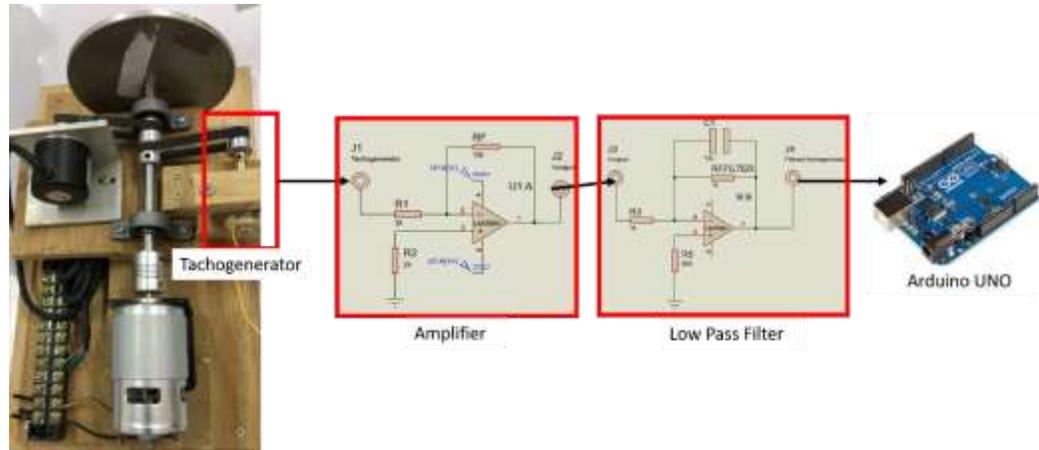


- Tentukan fungsi alih dari rangkaian listrik dengan $i_2(t)$ sebagai keluaran dan $v(t)$ sebagai masukan. Asumsi semua kondisi awal bernilai nol dengan $R_1 = R_2 = 8 \Omega$ dan $C = 0.25 \mu F$.
- Tentukan nilai K , ζ , dan ω_n .
- Buatlah diagram blok persamaan fungsi alihnya.

1.8 Percobaan sistem orde-1

1. Persiapan

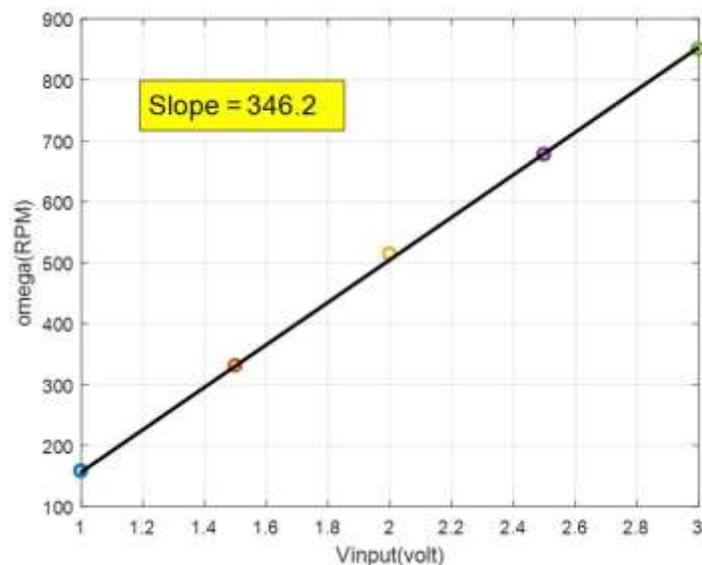
- Dataset yang digunakan pada percobaan sistem orde pertama ini menggunakan data tachogenerator dari kit motor DC. Dimana jika digambarkan dalam bentuk gambar sebagai berikut :



Data yang didapatkan akan dijadikan dataset untuk proses identifikasi sistem orde pertama. Hubungan antara tegangan tachogenerator dengan kecepatan motor dapat diformulasikan dengan formula :

$$\omega = \frac{V_{tacho}}{\text{Konstanta tachogenerator}}$$

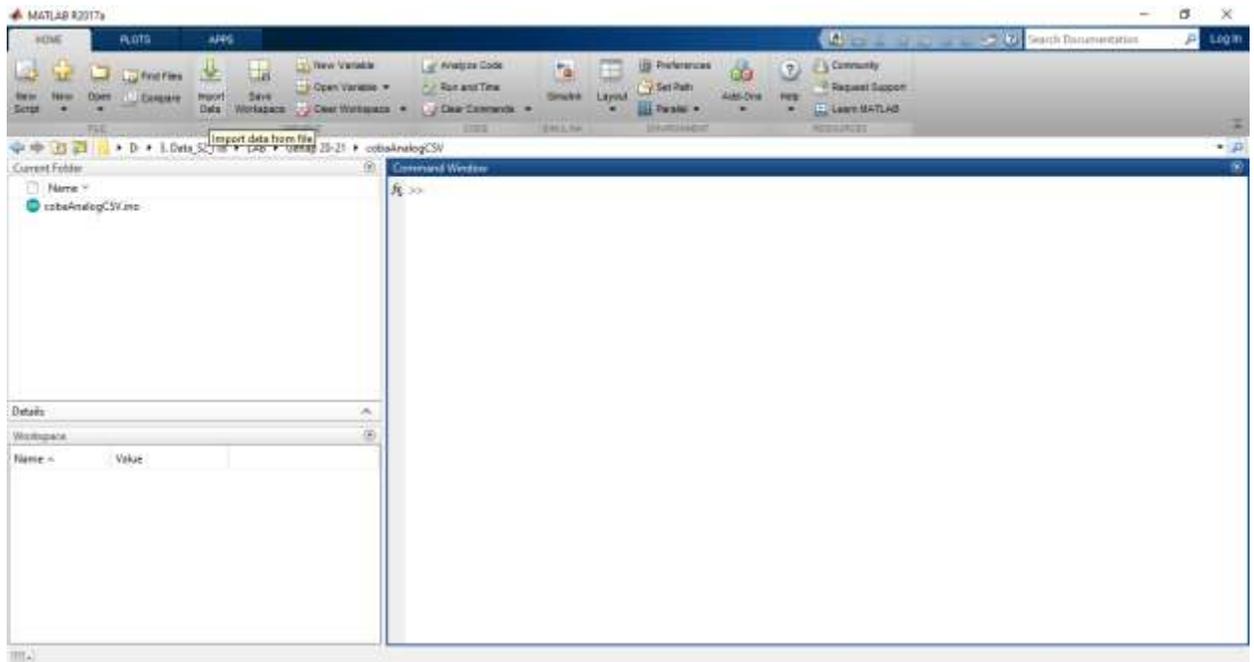
Grafik di bawah ini merupakan data percobaan yang telah dilakukan untuk mencari konstanta tachogenerator. Dimana pada percobaan ini, kecepatan motor telah diukur menggunakan tachometer digital.



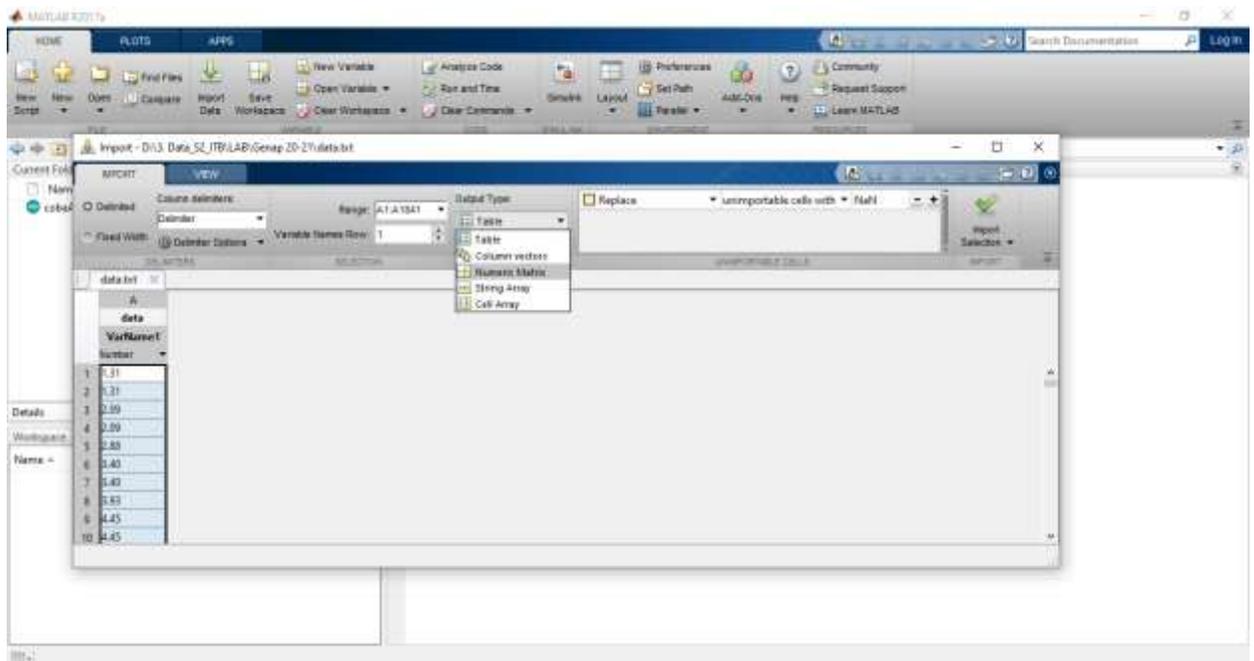
- b. Dataset yang digunakan pada percobaan sistem orde kedua ini menggunakan data yang didapatkan dari simulasi di SIMULINK.

2. Pengukuran fungsi alih melalui identifikasi sistem menggunakan software MATLAB.

a) Buka software MATLAB lalu pada Home, pilih Import Data, pilih file data.txt yang telah Anda siapkan pada proses 1.a di atas.



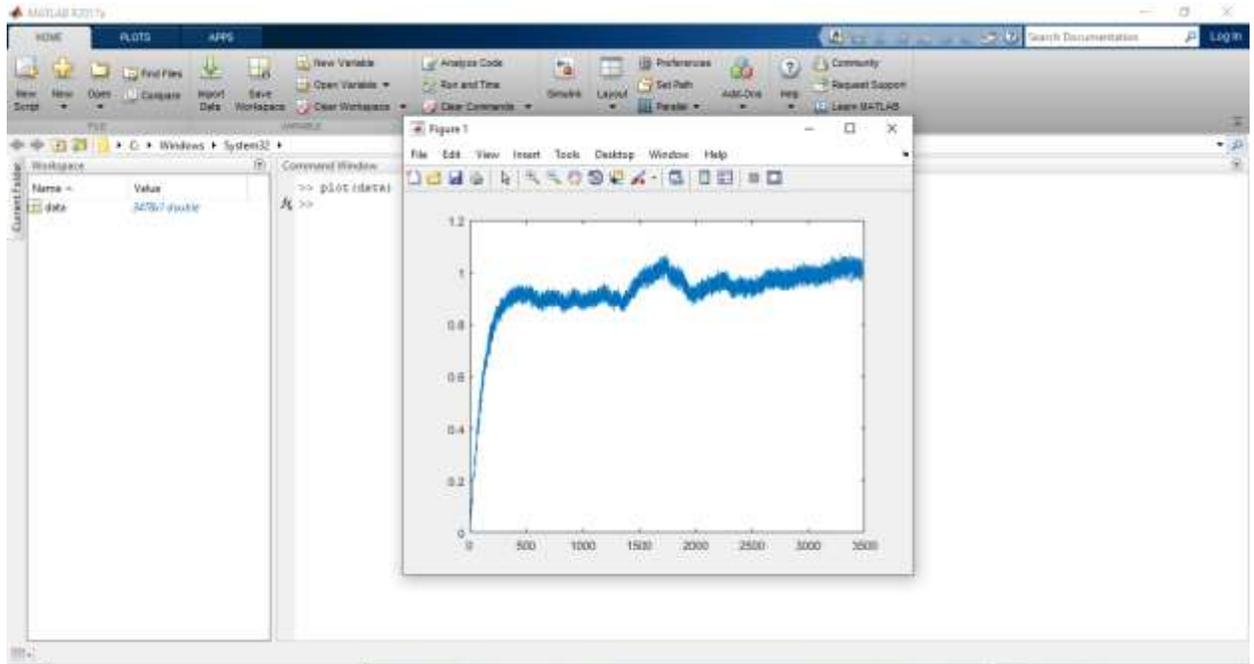
b) Kemudian akan muncul tampilan seperti pada Gambar berikut, ubah output type menjadi numeric matrix, lalu pilih import selection.



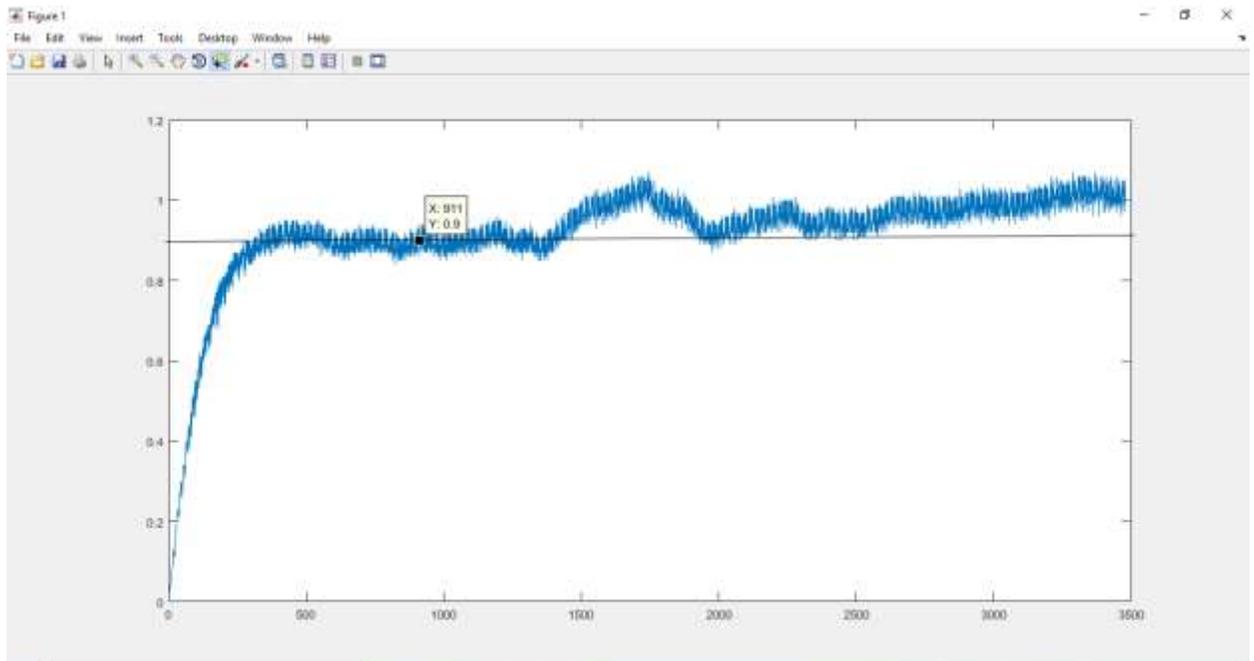
c) Hasil import akan muncul di dalam workspace lalu tampilkan data tersebut dalam bentuk grafik menggunakan code

```
>> plot(data)
```

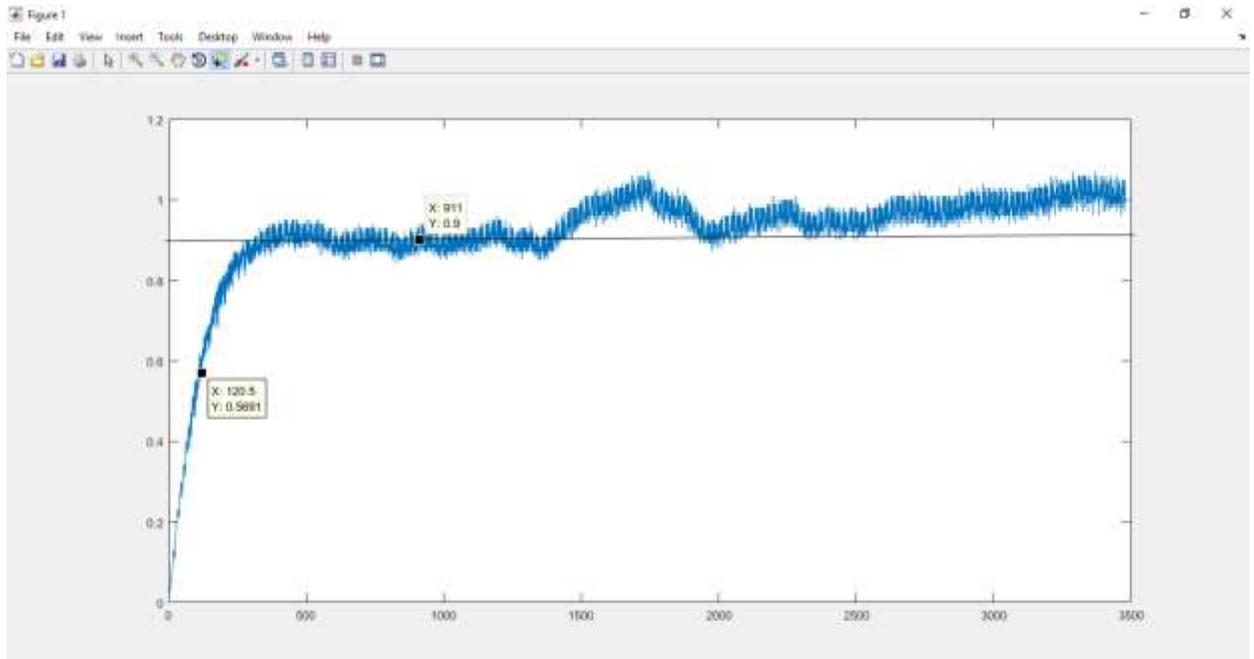
Grafik percobaan akan tertampil sebagai berikut.



d) Perkirakan nilai K dan τ sebagai berikut :



63.2% dari 0.9 adalah 0.5688 sehingga praktikan perlu mengamati dari Figure 1, pada saat sumbu Y = 0.5688. Berada pada sumbu X berapa ?



Dari gambar di atas dapat diketahui motor DC mencapai kecepatan sebesar 0.62 ketika $t = 120.5$ milisekon = 0.1205sekon. Sehingga dapat diketahui nilai $K = 0.9$ dan $\tau = 120.5$ jika dituliskan ke dalam bentuk fungsi alih sistem orde pertama menjadi :

$$G(s) = \frac{0.9}{120.5s+1}$$

e. Parameter-parameter yang dapat diamati dari persamaan fungsi alih di atas apabila diberikan masukan berupa undak satuan, pada saat tanggapan sistem dari keadaan awal sampai keadaan steady state adalah sebagai berikut.

```

Clc
clear all
close all
close all hidden

%Fungsi alih lingk tertutup
num = [0 0.9];
den = [120.5 1];
    
```

```

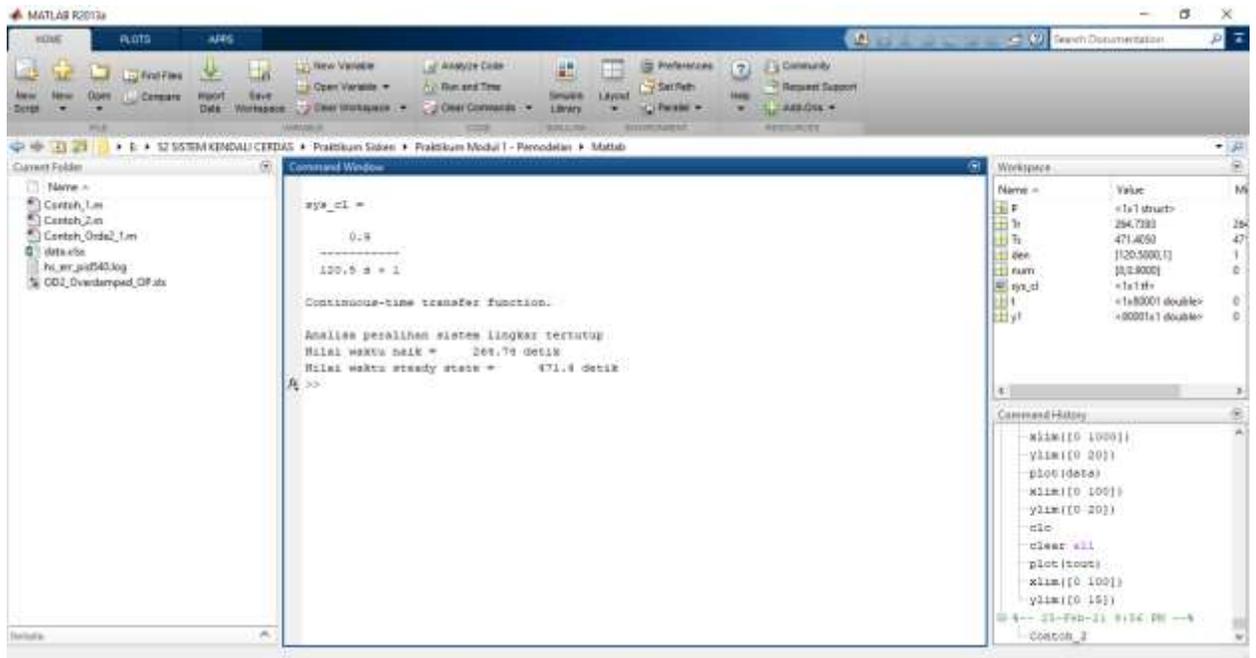
sys_cl = tf(num,den)
%
disp('Analisa peralihan sistem lingkak tertutup');
P = stepinfo(sys_cl);
Tr = P.RiseTime;
Ts = P.SettlingTime;

%
fprintf('Nilai waktu naik = % 10.5g detik\n', Tr)
fprintf('Nilai waktu steady state = % 10.5g detik\n', Ts)

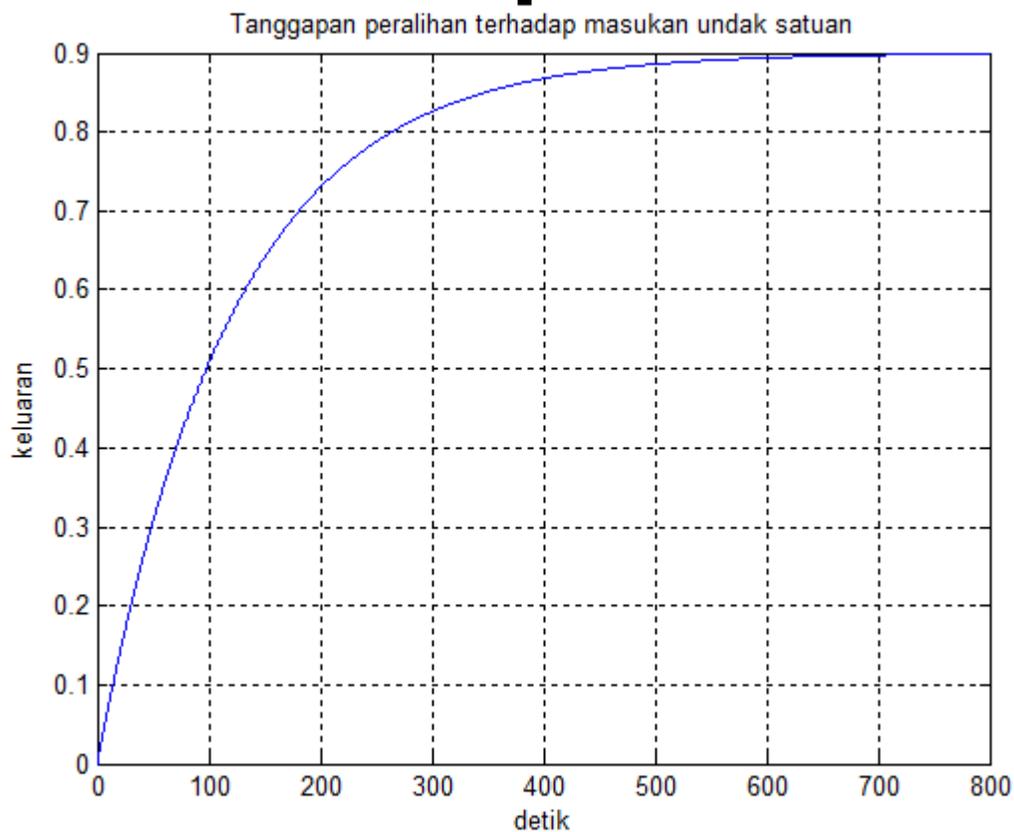
%
%Tanggapan peralihan terhadap masukan undak satuan
t = 0:0.01:800;
y1 = step(num,den,t);
plot(t,y1)
grid on
title('Tanggapan peralihan terhadap masukan undak satuan')
xlabel('detik')
ylabel('keluaran')

```

Hasil program :

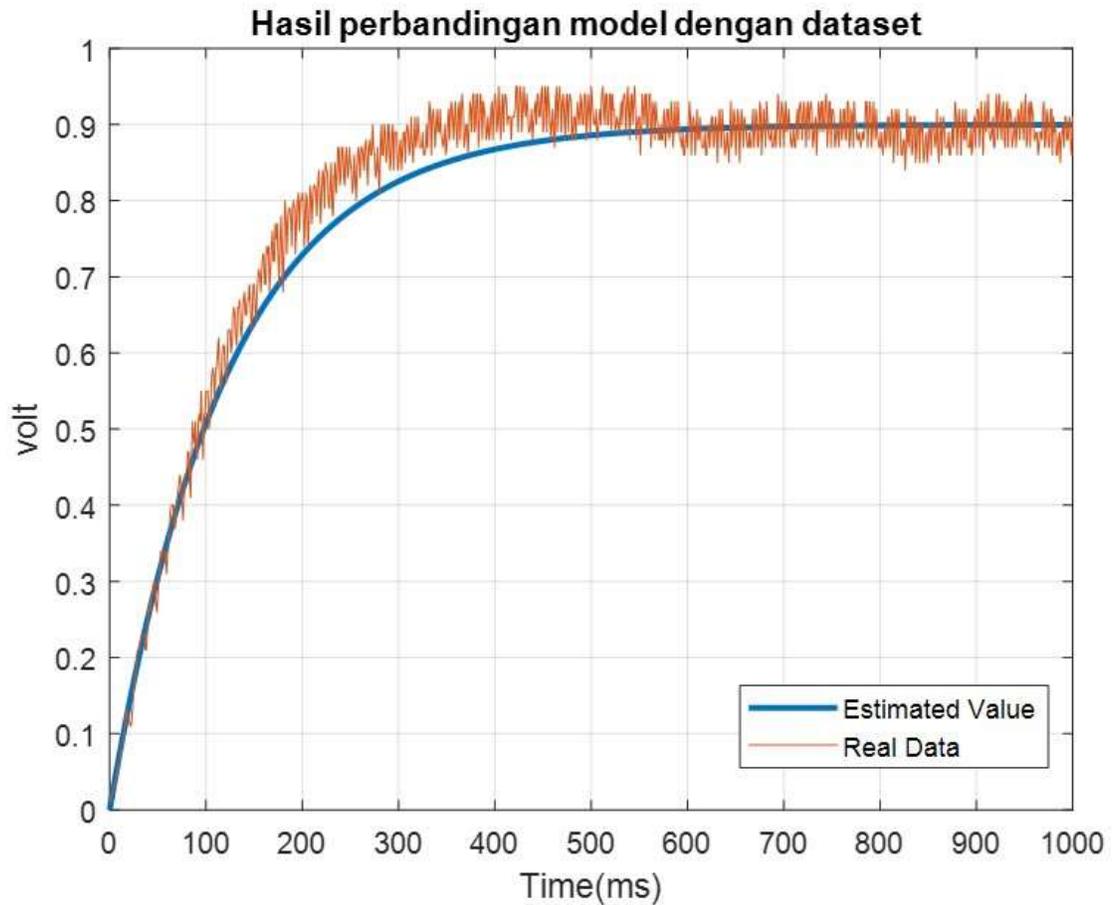


Tanggapan sistem dari persamaan fungsi alih $G(s) = \frac{0.9}{120.5s+1}$, terhadap masukan unit step diperlihatkan pada Gambar berikut.



f. Validasi model

Proses selanjutnya adalah validasi model, yakni melakukan perbandingan antara hasil identifikasi sistem yang telah dilakukan dengan data sebenarnya. Praktikan harus membandingkan grafik real dengan model yang didapatkan seperti berikut, dimana tampilan figure MATLAB menjadi :



```
%Tanggapan peralihan terhadap masukan undak satuan  
t = 0:1:1000;  
ymodel = step(num,den,t);  
%pengambilan data selama time scale yang digunakan untuk permodelan  
plot(t,ymodel,'LineWidth',2)  
hold on  
plot(data(1:1000),'r','LineWidth',1)
```

```
legend('Estimated Model','Real Data')  
  
xlabel('Time');  
  
ylabel('TachoVoltage (volt)')  
  
grid on
```

Program untuk menghitung nilai RMSE :

```
[m,n] = size(ymodel);  
Q=data(1:m,:)-ymodel(1:m,:);  
X=1;  
B=0;  
A=Q.^2;  
while X~=m+1  
    B=A(X,1)+B;  
    X=X+1;  
    C=B/X;  
end  
RMSE=C^(0.5)
```

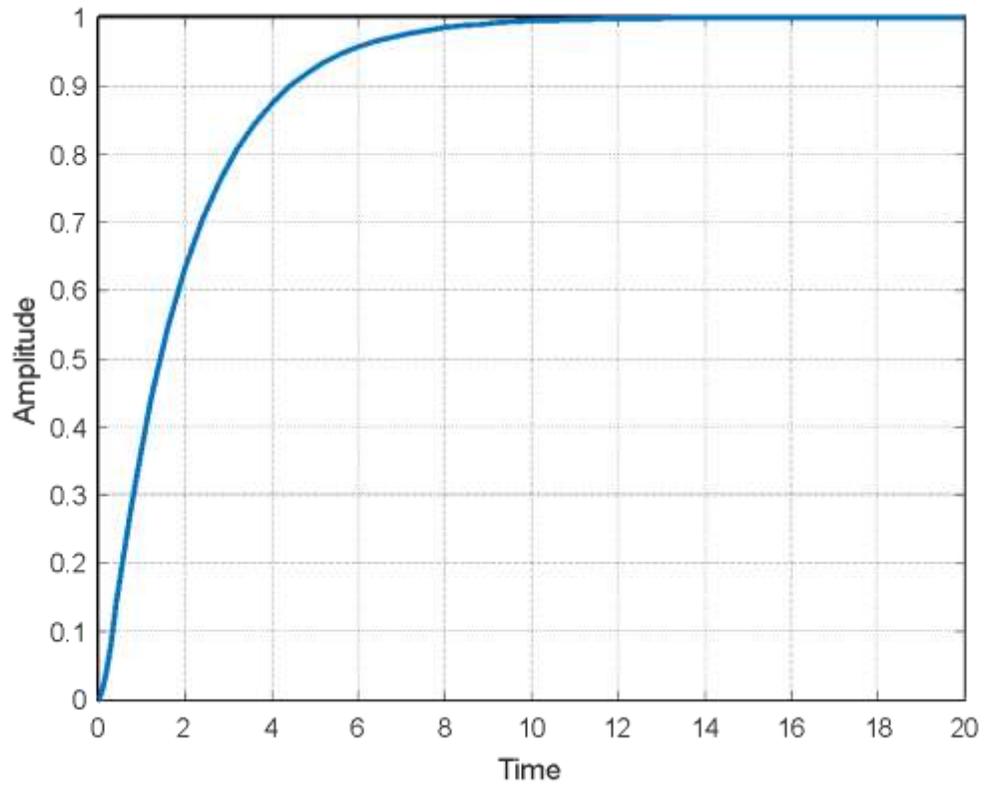
Dari hasil percobaan ini, didapatkan nilai RMSE = 0.0383 jika nilai RMSE lebih dari 1 maka, perlu dilakukan permodelan lagi.

1.9 Percobaan sistem orde-2

- a) Ulangi percobaan no 2ab, hasil import akan muncul di dalam workspace lalu tampilkan data tersebut dalam bentuk grafik menggunakan code

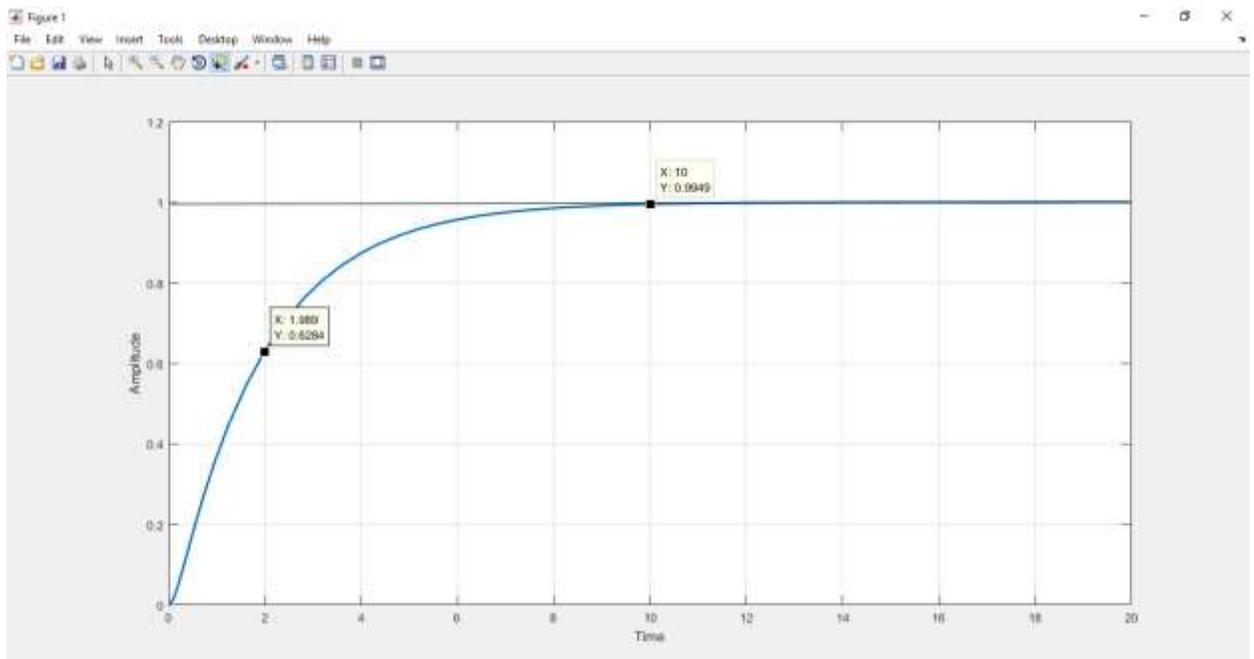
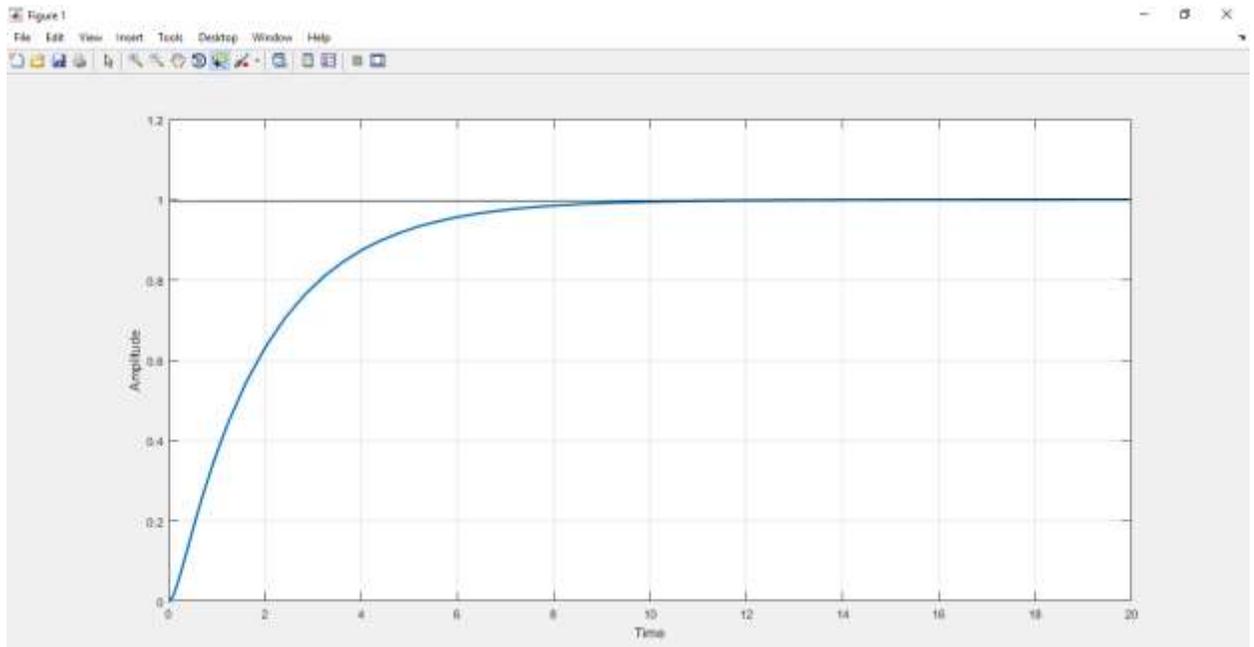
```
>> plot(data)
```

Grafik percobaan akan tertampil sebagai berikut.



b) Figure di atas menunjukkan hasil respon step dari sistem orde kedua overdamped. Perlu diketahui jika sumbu X merepresentasikan waktu (t) sedangkan sumbu Y merupakan amplitudonya. Pada percobaan kali ini, praktikan akan diminta untuk menganalisis respon transien sistem orde kedua.

c) Perkirakan nilai K dan τ sebagai berikut :

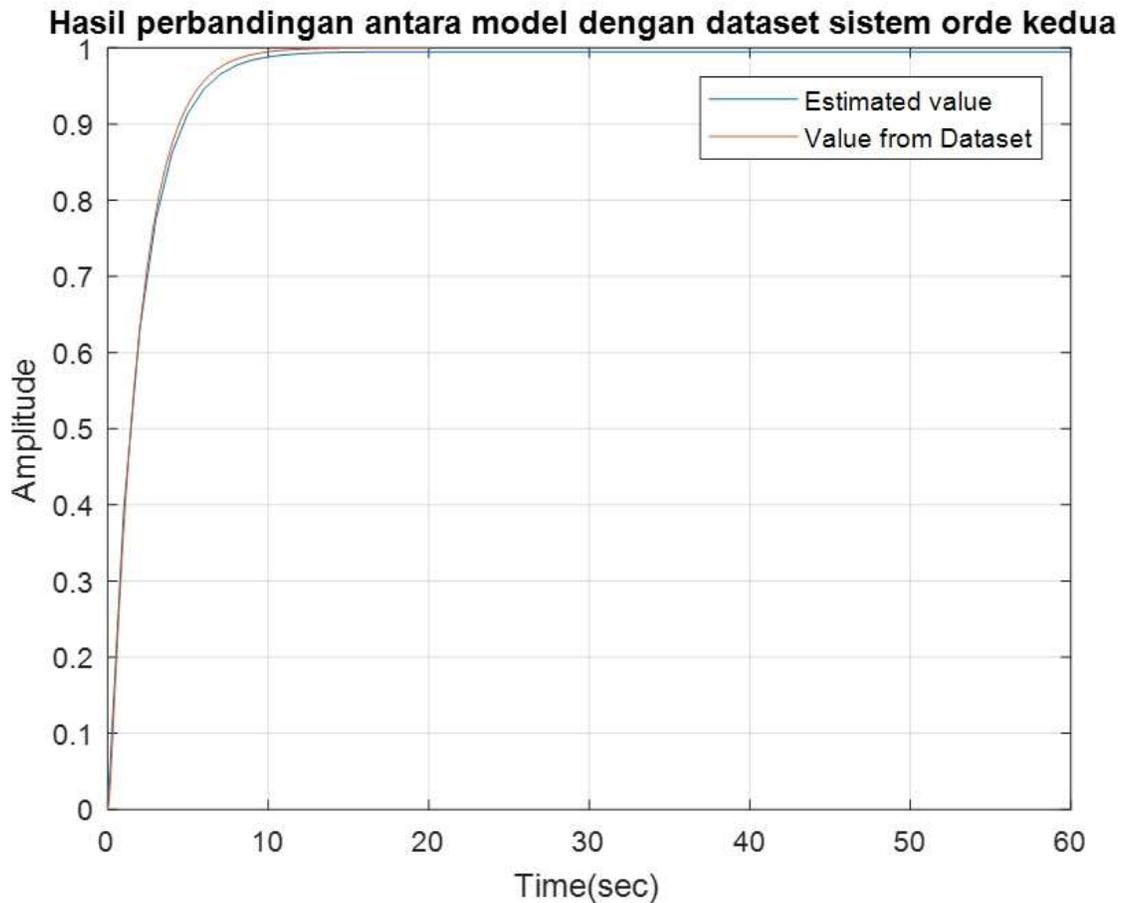


63.2% dari 0.9949 adalah 0.6287 sehingga praktikan perlu mengamati dari Figure 1, pada saat sumbu $Y = 0.6287$. Berada pada sumbu X berapa ? Dari gambar di atas dapat diketahui sistem mencapai kecepatan sebesar 0.6287 ketika $t = 1.989$ sekon. Sehingga dapat diketahui nilai $K = 0.9949$ dan $\tau = 1.989$ jika dituliskan ke dalam bentuk fungsi alih sistem orde pertama menjadi :

$$G(s) = \frac{0.9949}{1.989s+1}$$

d. Validasi model

Proses selanjutnya adalah validasi model, yakni melakukan perbandingan antara hasil identifikasi sistem yang telah dilakukan dengan data sebenarnya. Praktikan harus membandingkan grafik real dengan model yang didapatkan seperti berikut, dimana tampilan figure MATLAB menjadi :



```
%Tanggapan peralihan terhadap masukan undak satuan
num = [0 0.9949];
den = [1.989 1];
t = 0:1:60;
ymodel = step(num,den,t);
%pengambilan data selama time scale yang digunakan untuk permodelan
plot(t,ymodel)
```

```
hold on
plot(data, 'r')
legend('Estimated Model', 'Value from Dataset')
xlabel('Time(sec)');
ylabel('Amplitude')
grid on
```

Program untuk menghitung nilai RMSE :

```
data = SecondOrderSystem(:,2);
[m,n] = size(ymodel);
Q=data(1:m,:)-ymodel(1:m,:);
X=1;
B=0;
A=Q.^2;
while X~=m+1
    B=A(X,1)+B;
    X=X+1;
    C=B/X;
end
R=C^(0.5)
```

Hasil perbandingan antara proses identifikasi dengan data simulasi sistem orde kedua
RMSE 0.3676

