

## Perancangan Modul Pembelajaran Sistem Kontrol dengan Menggunakan Matlab dan Simulink

**Khairul Hadi, Artono Dwijo Sutomo, dan Darmanto**

Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Sebelas Maret Surakarta

Jalan Ir. Sutami 36 A, Surakarta, 57126

\*Email: Khairul.l.hadi@student.uns.ac.id

**Abstrak** – Perancangan modul pembelajaran sistem kontrol dilakukan berdasarkan pada dua buah kasus studi yang tersedia pada *website* Control Tutorials for Matlab & Simulink. Kasus pertama yaitu sistem peluncuran dengan menerapkan kontrol PID untuk mencapai kecepatan 10m/s dengan performa yang sudah ditentukan. Dengan menggunakan kontrol yang sama pada sistem kedua yaitu sistem kecepatan *DC motor* untuk mencapai kecepatan sudut 0,1 rad/s juga dengan performa yang sudah ditentukan. Hasilnya dibuat dalam bentuk satu modul pembelajaran yang disusun dengan urutan pendahuluan, dasar teori dan langkah kerja.

**Kata kunci:** *sistem kontrol, kontrol PID, modul pembelajaran.*

**Abstract** – *A learning module has been designed based on two cases which are available on Control Tutorials for Matlab & Simulink's website. The first case, that is, cruise system is applied by using PID control to reach a speed of 10 m/s with some specific performances. By using similar control on the second case that is DC motor system to reach angular speed of 0.1 rad/s also with specified performances. The results is made in the form of learning module which composed of preface, basic theory and procedure.*

**Keyword:** *control system, PID control, learning module.*

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dewasa ini telah membawa manusia kepada peradaban yang lebih baik. Banyak sekali manfaat dan kemudahan yang telah dihasilkan dengan adanya perkembangan teknologi. Khususnya kemudahan teknologi yang bertumpu pada layanan otomatis, seperti *elevator*, *escalator*, kendaraan bermotor, sampai ke pesawat luar angkasa. Semua teknologi tersebut dapat bekerja secara otomatis penuh ataupun tidak, membutuhkan sistem kontrol yang sesuai dengan kebutuhannya. [2]

Sistem kontrol terdiri dari beberapa subsistem atau proses yang disusun agar dapat menghasilkan keluaran yang sesuai dengan kebutuhan performa yang diinginkan. Seperti contoh *elevator* terdahulu dimana manusia masih menjadi operatornya memiliki subsistem keamanan dimana jika tali *elevator* tersebut putus maka rem akan aktif secara otomatis untuk menjaga keselamatan penumpang didalam *elevator*. [1]

Namun permasalahannya sistem kontrol yang sudah banyak diterapkan di dunia industri sudah berkembang semakin kompleks. Sehingga perlu adanya sumber pembelajaran lain yang lebih mudah untuk dijangkau. Hal ini yang mendasari perancangan modul sistem kontrol menggunakan Matlab dan Simulink yang didasarkan pada studi kasus yang sudah tersedia pada situs <http://ctms.engin.umich.edu>, sehingga nantinya akan memudahkan dalam mempelajari dan memahami cara kerja sistem kontrol dalam lingkup dunia pendidikan.

## II. METODE PENELITIAN

### II.A. Alat yang Digunakan dalam Penelitian

Penelitian ini menggunakan sebuah Laptop Asus model : U41SV; berprosesor Intel(R) Core(TM) i3-2330M CPU @ 2.20GHz (4CPUs), ~2.2 GHz; *Random Access Memory* : 4096 MB, dan *Harddisk* sebesar 500 GB.

## II.B. Piranti Lunak

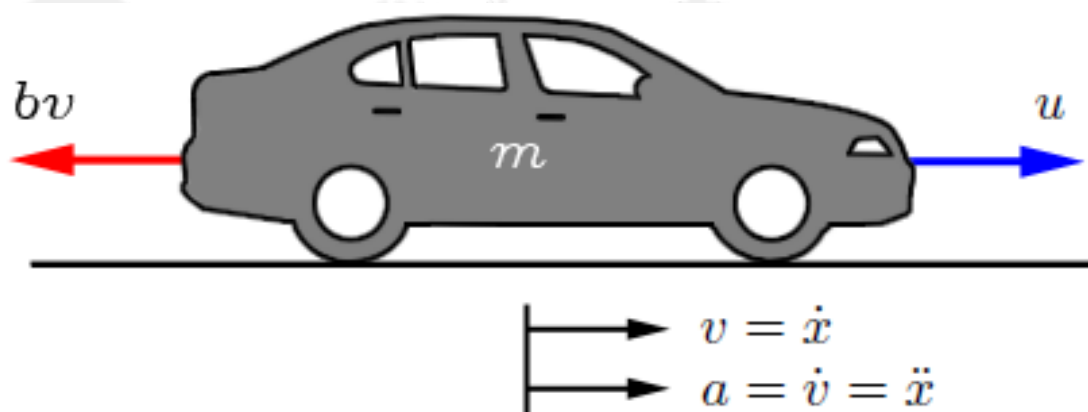
Perangkat lunak yang digunakan adalah *software* Matlab edisi R2013a (8.1.0.604) beserta Simulink nya.

## II.C. Asumsi Bahan Penelitian

Asumsi bahan penelitian yang digunakan adalah 7 buah kasus yaitu :

### 1. Kontrol peluncuran

Diasumsikan sebuah kendaraan yang memiliki massa  $m$  diberikan gaya terkendali  $u$  ditunjukkan dengan diagram benda bebas pada gambar 2-1.

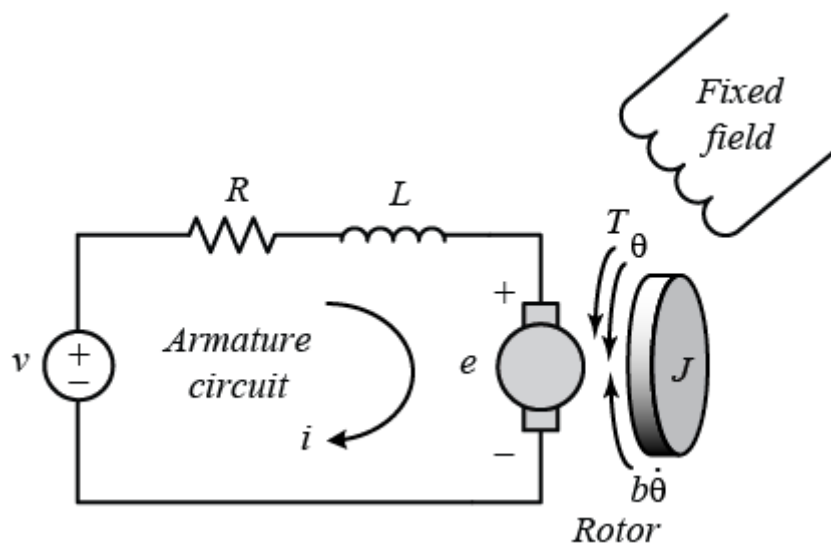


Gambar 2.1 Diagram benda bebas kontrol peluncuran. [3]

Pada kasus sederhana ini diasumsikan bahwa gaya  $u$  dapat dikendali langsung dengan mengabaikan dinamika ban, jalan dan lain – lainnya yang mempengaruhi gaya tersebut. Gaya tahan  $bv$  adalah akibat seretan udara dan perputaran roda yang diasumsikan berubah secara linier dengan kecepatan  $v$  dan mengarah berlawanan dengan arah kendaraan.

### 2. Kecepatan motor

Pada kasus ini diasumsikan sebuah motor DC (*Direct-Current*) yang dapat menghasilkan gerakan rotari dan, dengan dipasangkan roda atau drum dan kabel, bisa menghasilkan gerakan translasi. Diagram benda bebas nya ditunjukkan oleh gambar 2-2 berikut ini.



Gambar 2.2 Diagram benda bebas motor DC. [3]

Dari gambar 2-2 diasumsikan bahwa masukan sistem yang digunakan adalah voltase yang diberikan pada dinamo motor, dimana keluarannya adalah kecepatan putar dari *shaft*. *Shaft* dan rotor diasumsikan rigid. Kemudian model gesekan diasumsikan dimana torsi gesek sebanding dengan kecepatan sudut *shaft*. Asumsi parameternya yaitu momen inersia rotor ( $J$ ) sebesar  $0,01 \text{ Kg.m}^2$ , konstanta gesek ( $b$ ) sebesar  $0,1 \text{ N.m.s}$ , konstanta emf ( $Ke$ ) sebesar  $0,01 \text{ v/rad/s}$ , konstanta torsi motor ( $Kt$ ) sebesar  $0,01 \text{ N.m/Amp}$ , tahanan listrik ( $R$ ) sebesar  $1 \text{ ohm}$  dan induktansi listrik ( $L$ ) sebesar  $0,5 \text{ H}$ .

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sudah dilakukan studi terhadap sistem kontrol pada tujuh kasus yaitu kontrol peluncuran, kecepatan motor, posisi motor, suspensi, pendulum terbalik, pesawat terbang dan bola dan balok. Ketujuh studi kasus tersebut dilakukan dengan menerapkan lima buah metode kontrol yaitu PID, *root locus*, frekuensi, ruang-keadaan dan digital menggunakan Matlab dan Simulink. Dengan asumsi kondisi dan performa pada masing – masing kasus tersebut telah dipilih metode kontrol yang menghasilkan keluaran paling mendekati performa yang diinginkan dengan pembahasannya berikut ini.

### III.A. Kontrol Peluncuran

Diasumsikan sebuah kendaraan roda empat diberikan gaya  $u$  pada keadaan diam sehingga bergerak dengan kecepatan stabil 10 m/s seperti pada gambar 2.1. Berdasarkan diagram bebas pada gambar 2.1 penerapan metode kontrol diawali dengan membuat model sistem dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$m\dot{v} + bv = u \quad (3.1)$$

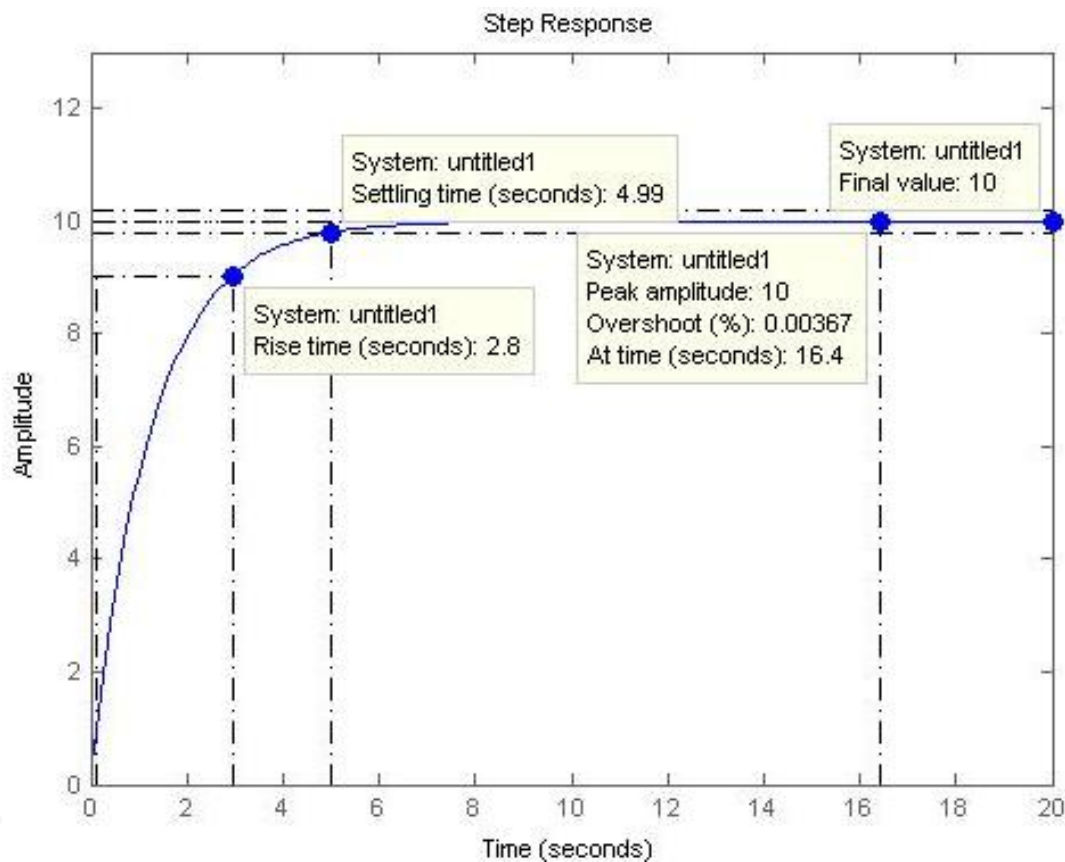
Massa kendaraan ( $m$ ) diasumsikan sebesar 1000 kg, koefisien redaman ( $b$ ) sebesar 50 Ns/m , kecepatan referensi ( $r$ ) sebesar 10 m/s. Karena keluaran yang diinginkan pada kasus ini adalah kecepatan maka persamaan keluarannya adalah :

$$y = v \quad (3.2)$$

Kemudian dengan menerapkan transformasi Laplace dan asumsi kondisi awal adalah diam maka didapatkan fungsi transfer pada model sistem peluncuran sebagai berikut :

$$P(s) = \frac{1}{ms+b} \quad (3.3)$$

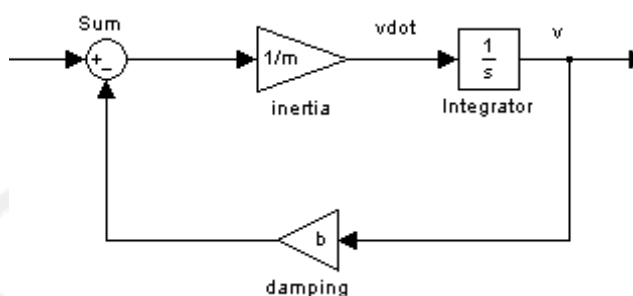
Dengan menggunakan fungsi `pid` pada Matlab dan menentukan nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  akan dihasilkan fungsi transfer kontrol PID ( $C$ ) yang digunakan bersamaan dengan fungsi transfer sistem ( $P[s]$ ) untuk mendapatkan nilai *feedback* atau dalam kasus ini adalah kecepatan. Yang mana jika diplotkan terhadap satuan waktu akan menghasilkan grafik sebagai berikut :



Gambar 3.1 Grafik performa kontrol PID pada sistem peluncuran

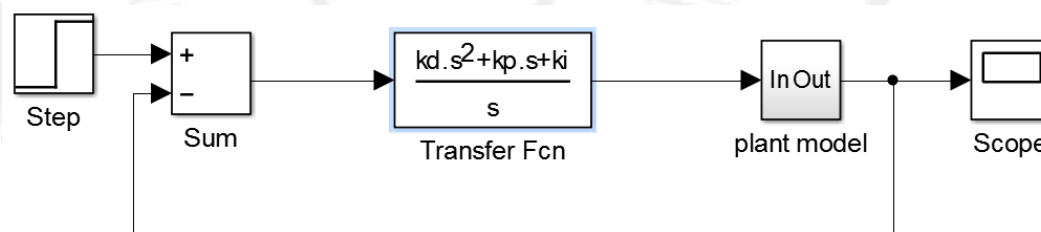
Grafik pada gambar 3.1 merupakan hasil dari kontrol PID menggunakan Matlab dimana nilai konstanta PID yang ditentukan yaitu  $K_p$  sebesar 800,  $K_i$  sebesar 40 dan  $K_d$  sebesar 20. Grafik tersebut menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan kecepatan dari diam hingga 90% dari kecepatan referensi 10 m/s adalah 2,8 detik. Dengan ketentuan *steady-state error* kurang dari 2% waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kecepatan referensi adalah 4,99 detik. Nilai kecepatan tertinggi yang ditunjukkan oleh grafik tersebut terjadi pada waktu 16,4 detik dengan kelebihan 0,00367% dari kecepatan referensi dan nilai akhir yang sesuai dengan kecepatan referensi sebesar 10 m/s. ini artinya metode PID yang telah diterapkan pada sistem peluncuran telah memenuhi semua ketentuan performa yang diinginkan.

Beralih kepada Simulink, untuk dapat membuat sistem kontrol PID pada kasus ini diawali dengan pembuatan model sistem sebagai *plant* yang ditunjukkan pada gambar 3.2 berdasarkan persamaan 3.3.



Gambar 3.2 Model sistem peluncuran pada Simulink

Kemudian model peluncuran tersebut disatukan menjadi suatu subsistem yang disebut *plant model* dan digabungkan dengan kontrol PID sehingga menjadi satu sistem kontrol peluncuran yang ditunjukkan oleh gambar 4.3 berikut.



Gambar 3.3 Model sistem kontrol PID pada Simulink

*Step* pada yang ditunjukkan oleh gambar 3.3 merupakan masukan sistem sehingga harus diatur dengan nilai akhir  $u$  dan nilai awal 0. Pada keluaran akan ditampilkan oleh *scope* dengan hasil grafik yang sama pada Matlab.

### III.B. Kecepatan *Motor* DC

Diasumsikan sebuah *motor* DC dengan diagram benda bebas ditunjukkan oleh gambar 3.2 memiliki masukan berupa sumber tegangan (V) yang diterapkan pada *armature* dan keluaran berupa kecepatan sudut ( $\theta$ ) pada *shaft*. *Shaft* dan *rotor*

dianggap menyatu kukuh kemudian dibuat model gesekan dimana torsi gesekan sebanding dengan kecepatan sudut *shaft*. Sehingga dapat dirumuskan sebuah sistem model dalam persamaan 3.4 dan 3.5.

$$J\ddot{\theta} + b\dot{\theta} = K i \quad (3.4)$$

$$L \frac{di}{dt} + Ri = V - K\dot{\theta} \quad (3.5)$$

Berikut ini adalah parameter fisis yang digunakan :

(J)	momen inersia <i>rotor</i>	= 0.01 kg.m <sup>2</sup>
(b)	konstanta gesekan viskositas <i>motor</i>	= 0.1 N.m.s
(K <sub>e</sub> )	konstanta gaya elektromotif	= 0.01 V/rad/sec
(K <sub>t</sub> )	konstanta torsi <i>motor</i>	= 0.01 N.m/Amp
(R)	tahanan listrik	= 1 Ohm
(L)	induktansi listrik	= 0.5 H

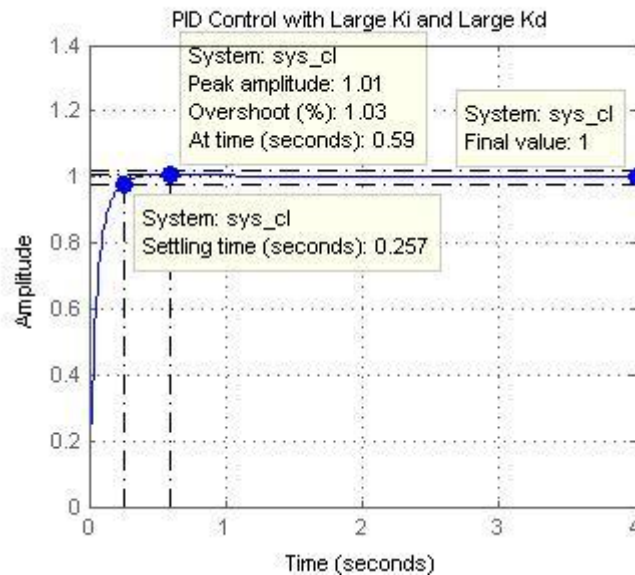
Dengan menggunakan transformasi laplace maka didapatkan fungsi transfer yang ditunjukkan pada persamaan 3.6.

$$P(s) = \frac{\dot{\theta}(s)}{V(s)} = \frac{K}{(Js+b)(Ls+R)+K^2} \left[ \frac{\text{rad/s}}{V} \right] \quad (3.6)$$

Dari fungsi ini dapat dilakukan pembuatan model kontrol PID menggunakan matlab, dimana pada kasus ini konstanta PID (*K<sub>p</sub>*, *K<sub>i</sub>*, *K<sub>d</sub>*) masing – masing ialah 100, 200 dan 10 untuk mencapai kecepatan sudut 0,1 rad/s. Dengan performa yang ditentukan masing – masing yaitu waktu *settling* kurang dari 2 detik, *overshoot* kurang dari 5%, *steady-state error* kurang dari 1%.



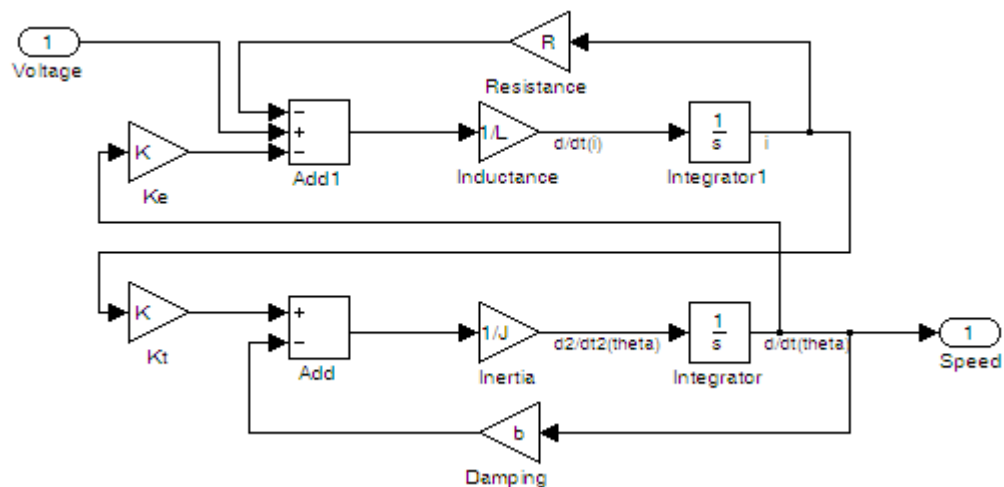
Hasil dari kontrol PID yang telah diterapkan dapat ditunjukkan pada gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.4 Grafik kontrol PID oleh Matlab

Berdasarkan grafik pada gambar 3.4 performa dapat terlihat bahwa nilai *overshoot* jauh dibawah 5% dan waktu *settling* hanya memiliki selisih 0,057 detik dari performa yang diinginkan. Maka dengan begitu dapat disimpulkan bahwa kontrol PID tersebut sudah memenuhi kriteria. Sehingga dapat dilanjutkan dengan memodelkan pada simulink.

Dalam menggunakan simulink terlebih dahulu variabel yang akan digunakan dideklarasikan pada *workspace* di matlab. Berdasarkan persamaan 3.6 fungsi transfer sistem *motor* DC ( $P(s)$ ) dapat dimodelkan pada simulink yang ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Model sistem *motor* DC pada Simulink

Kemudian model sistem tersebut disatukan menjadi suatu subsistem yang disebut *plant model* dan digabungkan dengan kontrol PID sehingga menjadi satu sistem kontrol *motor* DC yang ditunjukkan oleh gambar 3.3. *Step* pada yang ditunjukkan oleh gambar 3.3 merupakan masukan sistem sehingga harus diatur dengan nilai awal 0. Pada keluaran akan ditampilkan oleh *scope* dengan hasil grafik yang sama pada Matlab.

## V. SIMPULAN

Telah dibuat modul berbasis studi kasus pada dua buah kasus untuk mempelajari sistem kontrol dengan menggunakan perangkat lunak Matlab dan Simulink edisi R2013a (8.1.0.604).

## PUSTAKA

- [1] Nise, Norman S. (2011). *Control System Engineering. sixth edition.* California : John Wiley & Sons, inc.
- [2] Oktavian, D. (2015). Desain sistem kontrol dan monitoring temperatur berbasis PC. Skripsi. Teknik Elektro UGM.
- [3] Messner, B. & Tilbury, D. (1997). Control Tutorials for Matlab & Simulink. 04 Februari 2017. <http://ctms.engin.umich.edu>