Torsional System: Algorithm Developer

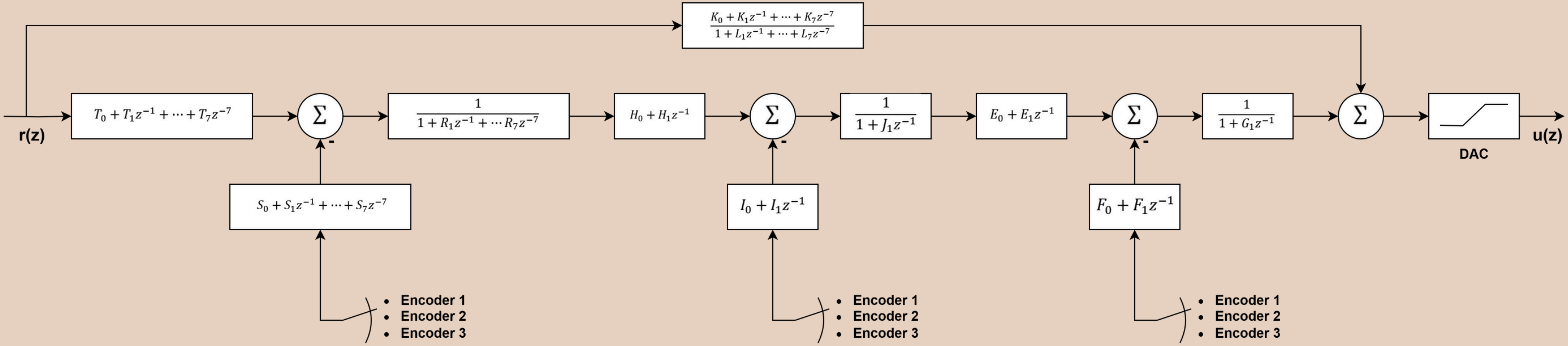
Progress Report, 19 Desember 2024

Muhammad Hanif Hibatullah (23224069)

Outline

- Analisis Algoritma DSP pada Sistem yang Lama
- Adaptasi atau Menulis Ulang Algoritma DSP Lama pada Simulink
- Penyesuaian Algoritma Lama pada DSP Board Baru

Analisis Algoritma DSP pada Sistem yang Lama

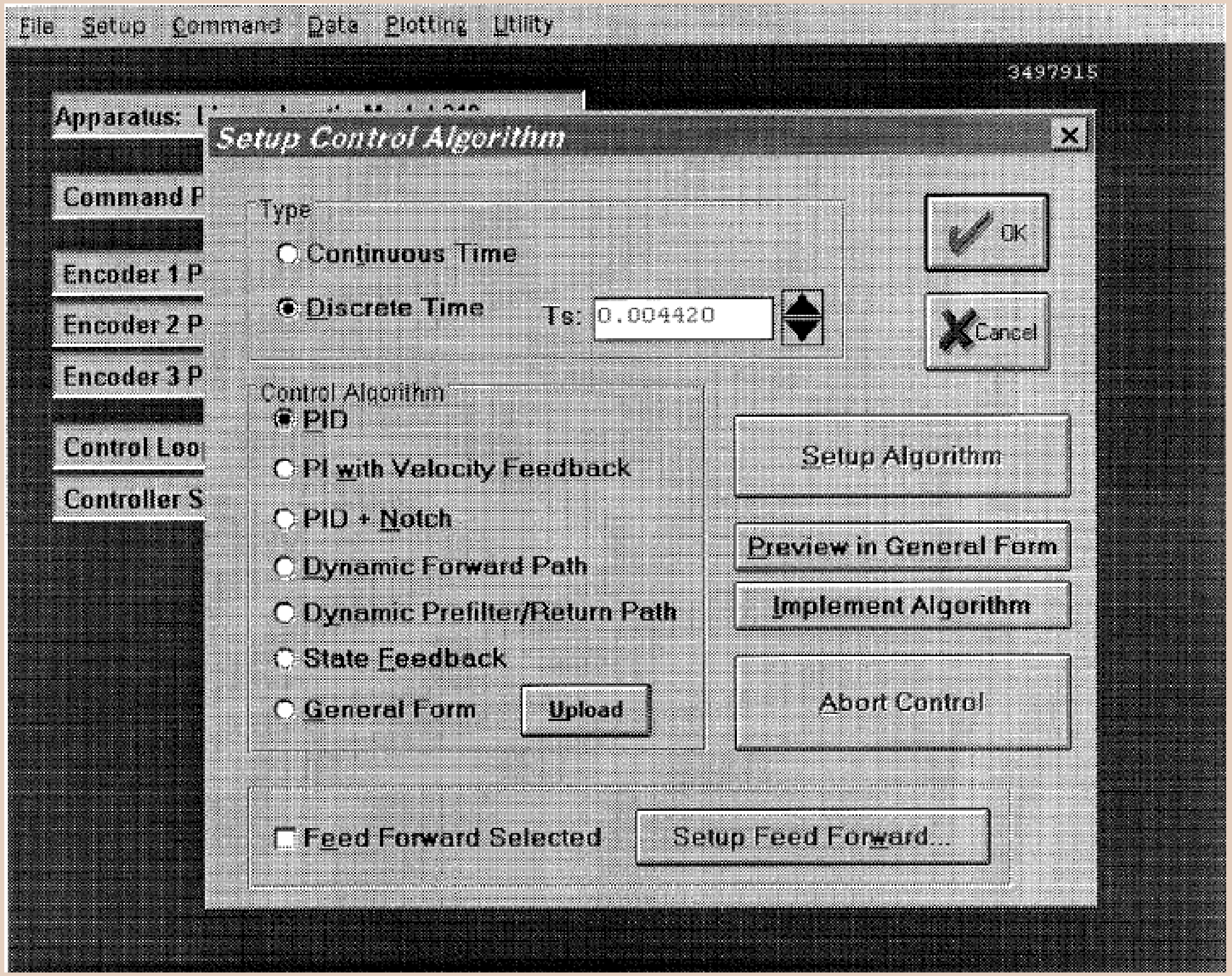


Secara umum Algoritma DSP pada sistem lama ini dapat dibentuk menjadi beberapa algoritma seperti PID, PID + Feedforward, ataupun secara langsung mengisi manual nilai parameter fungsi alih kontrolnya.

DSP lama memiliki kemampuan Time Sampling paling minimum untuk perhitungan algoritma control yaitu 0.884 ms (1.1kHz)

Servo loop closure involves computing the control algorithm at the sampling time. The real-time Controller executes the General Form equation of the control law at each sample period T_S. This period can be as short as 0.000884 seconds (approx. 1.1 KHz) or any multiple of this number.

Analisis Algoritma DSP pada Sistem yang Lama



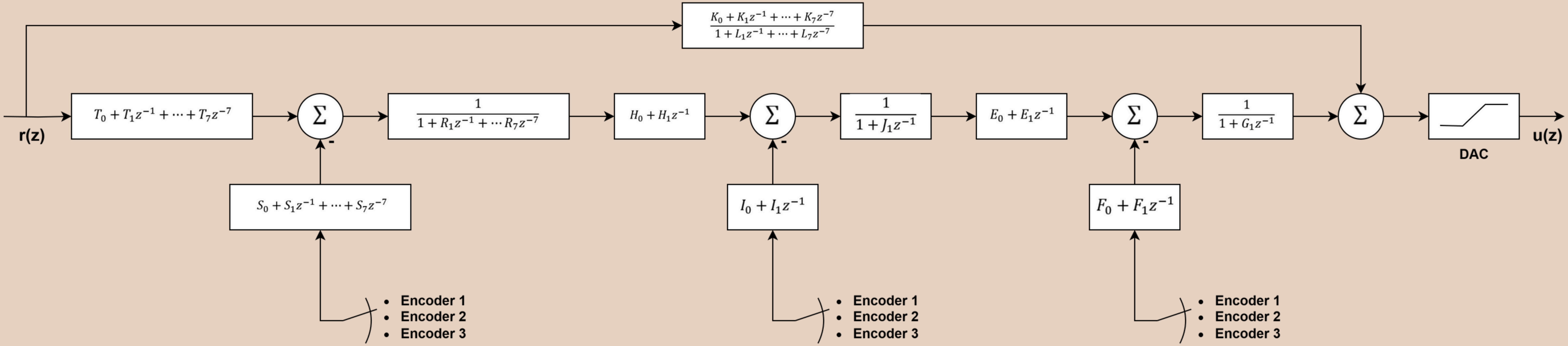
Jenis-jenis control algorithm berdasarkan General Formnya

Discrete Time Controller Specification

Control Algorithm	File Format	Control Algorithm	File Format
PID	[PID_D] Kp=n.n Kd=n.n Ki=n.n	Dynamic Prefilter/ Return Path	[DYNPR_D] T0=n.n ⋮ T7=n.n S0=n.n ⋮ S7=n.n R1=n.n ⋮ R7=n.n
PID w/ Velocity Feedback	[PID_D] Kp=n.n Kd=n.n Ki=n.n	State Feedback	[STATEF_D] Kpf=n.n K1=n.n K2=n.n K3=n.n K4=n.n K5=n.n K6=n.n
PID + Notch	[PIDNOTCH_D] Kp=n.n Kd=n.n Ki=n.n N0=n.n ⋮ N4=n.n D1=n.n ⋮ D4=n.n	General Form	[GENERAL_D] T0=n.n ⋮ T7=n.n S0=n.n ⋮ S7=n.n R1=n.n ⋮ R7=n.n H0=n.n H1=n.n I0=n.n I1=n.n J1=n.n E0=n.n E1=n.n F0=n.n F1=n.n G1=n.n
Dynamic Forward Path	[DYNFWD_D] S0=n.n ⋮ S7=n.n R1=n.n ⋮ R7=n.n	Feed Forward	[FF_D] K0=n.n ⋮ K6=n.n L1=n.n ⋮ L7=n.n

Analisis Algoritma DSP pada Sistem yang Lama

Contoh dari General Form ke PID



Kita tahu secara diskrit PID berbentuk seperti berikut.

$$K_p + \frac{K_i}{1 - z^{-1}} + K_d(1 - z^{-1})$$

Yang dapat disederhanakan menjadi berikut

$$\frac{K_p(1 - z^{-1}) + K_i + K_d(1 - 2z^{-1} + z^{-2})}{1 - z^{-1}}$$

$$\frac{(K_p + K_i + K_d) + (-K_p - 2K_d)z^{-1} + K_d z^{-2}}{1 - z^{-1}}$$

Dengan memilih parameter $T = S$ di mana

$$S_0 = T_0 = K_p + K_i + K_d$$

$$S_1 = T_1 = -K_p - 2K_d$$

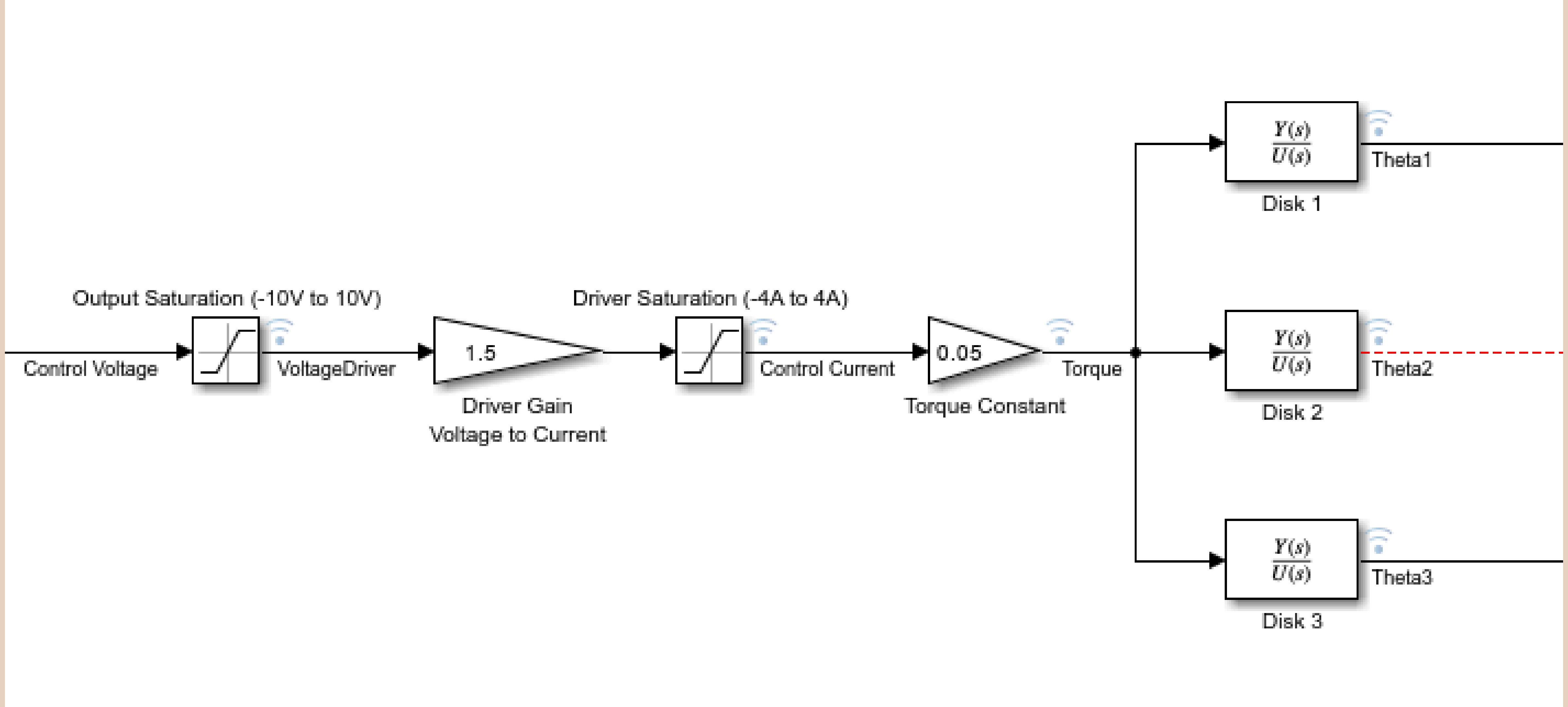
$$S_2 = T_2 = K_d$$

Serta memilih $R_1 = -1, H_0 = E_0 = 1$ dan parameter lain nilainya nol, diperoleh pengendali PID dari bentuk General Form tersebut.

Analisis Algoritma DSP pada Sistem yang Lama

Simulasi Algoritma Control Lama pada Simulink

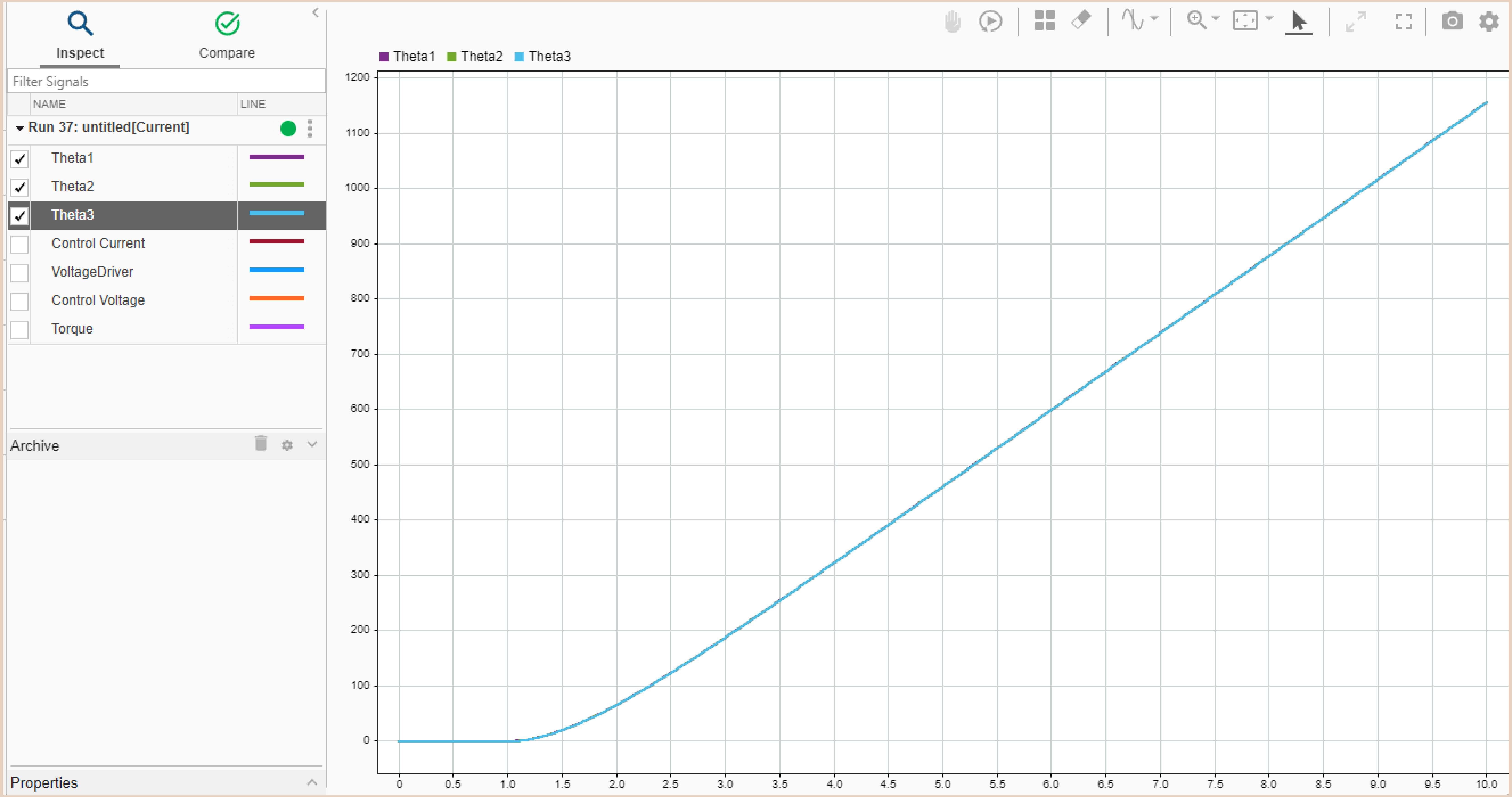
Open Loop (Model Plant)



Catatan:

- Output Saturation dari batasan input control box ECP205 yaitu -10 sampai 10V
- Driver Gain dari dokumentasi driver BLH-S1-4/15 (1.5A/V)
- Driver Saturation dari continuous current yang dapat dihasilkan driver yaitu 4 A RMS
- Torque Constant dari Spesifikasi Motor (0.0865 Nm/A)
- Fungsi alih dari penurunan model plant pada presentasi-presentasi sebelumnya

Open Loop Simulation Result (Model Plant)

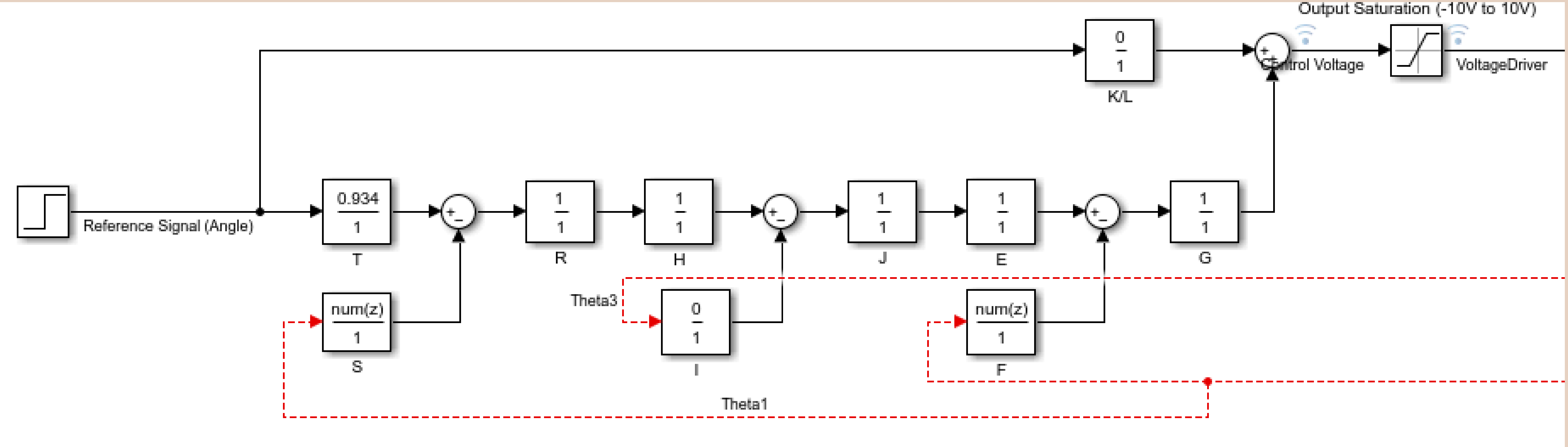


Input Step pada t = 1 s

Analisis Algoritma DSP pada Sistem yang Lama

Simulasi Algoritma Control Lama pada Simulink

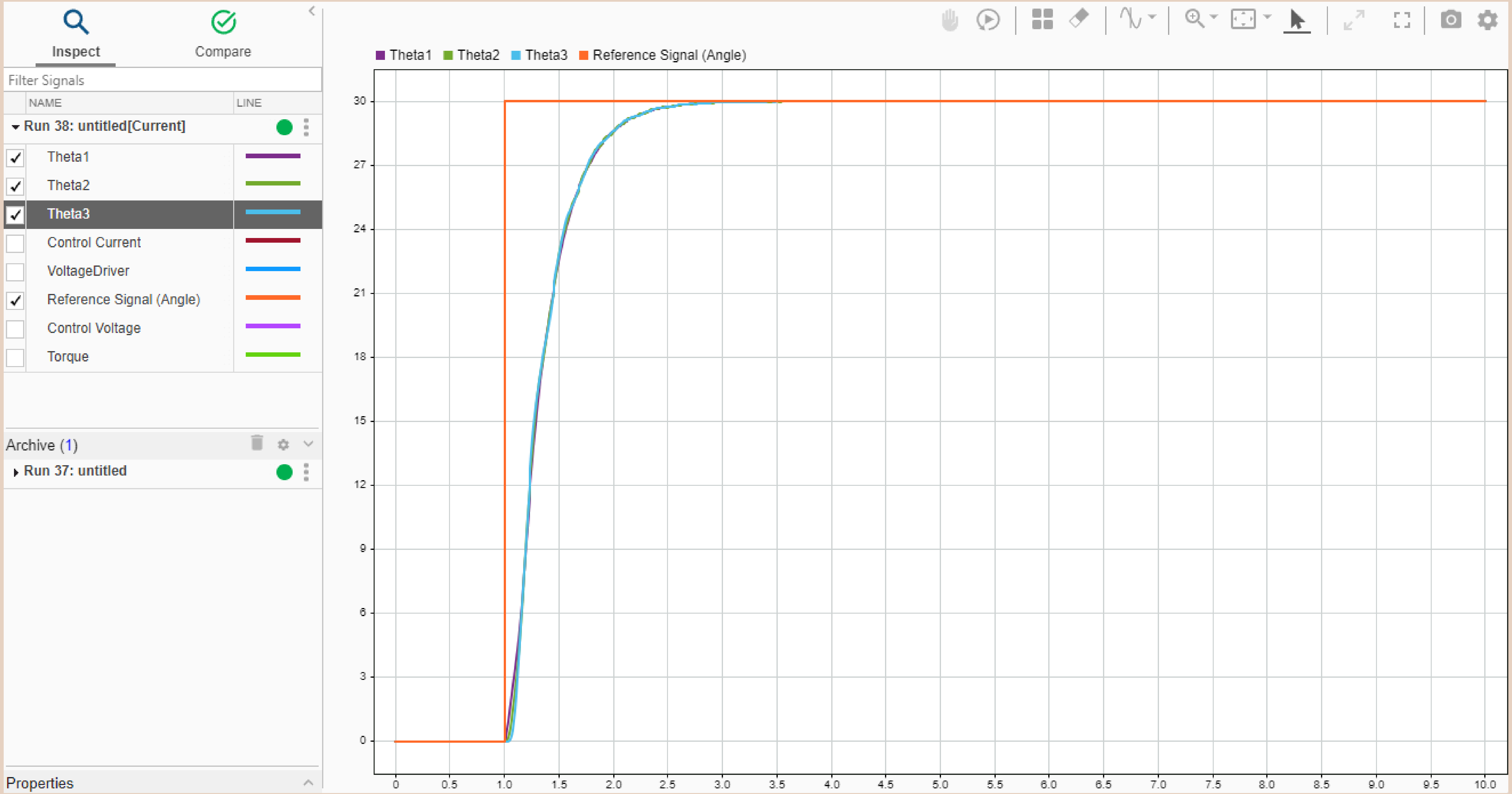
Closed Loop (General Form)



Catatan:

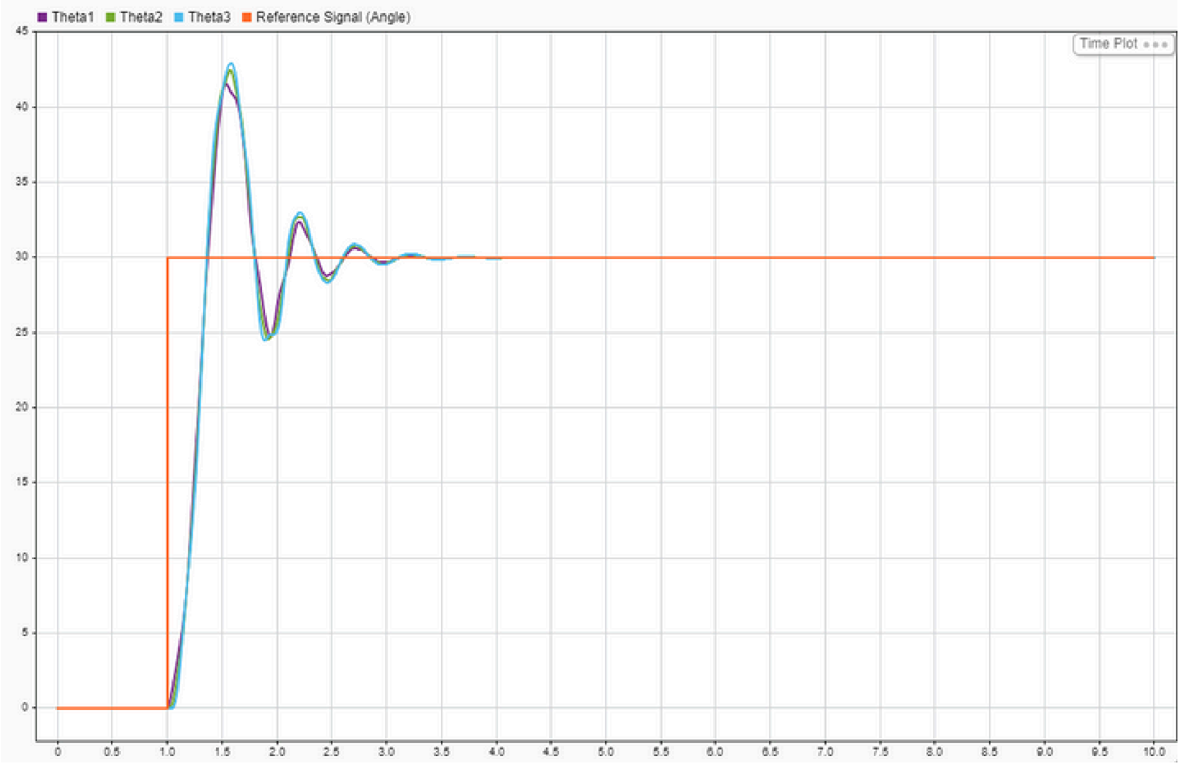
- Parameter dari fungsi alihnya diatur sesuai dengan dokumen manual ECP

Closed Loop Simulation (General Form)

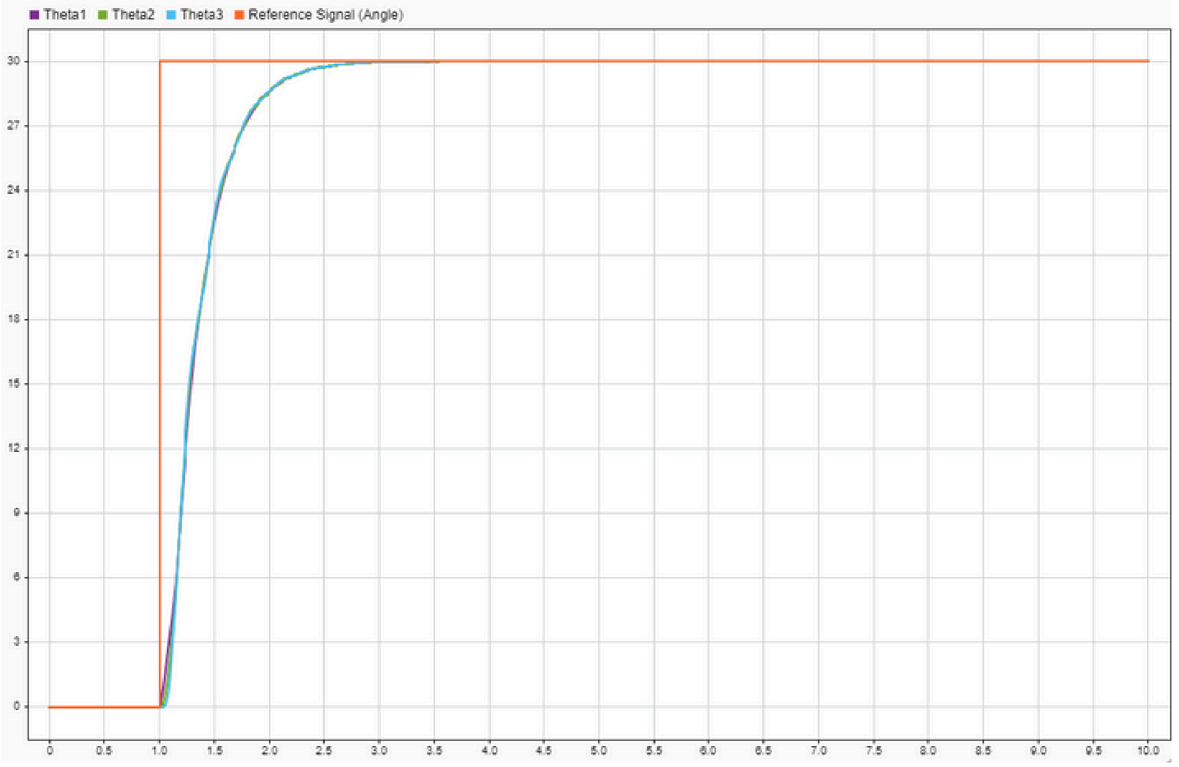


Input (Angle) 30 pada t = 1 s, Sampling Time = 0.01 s

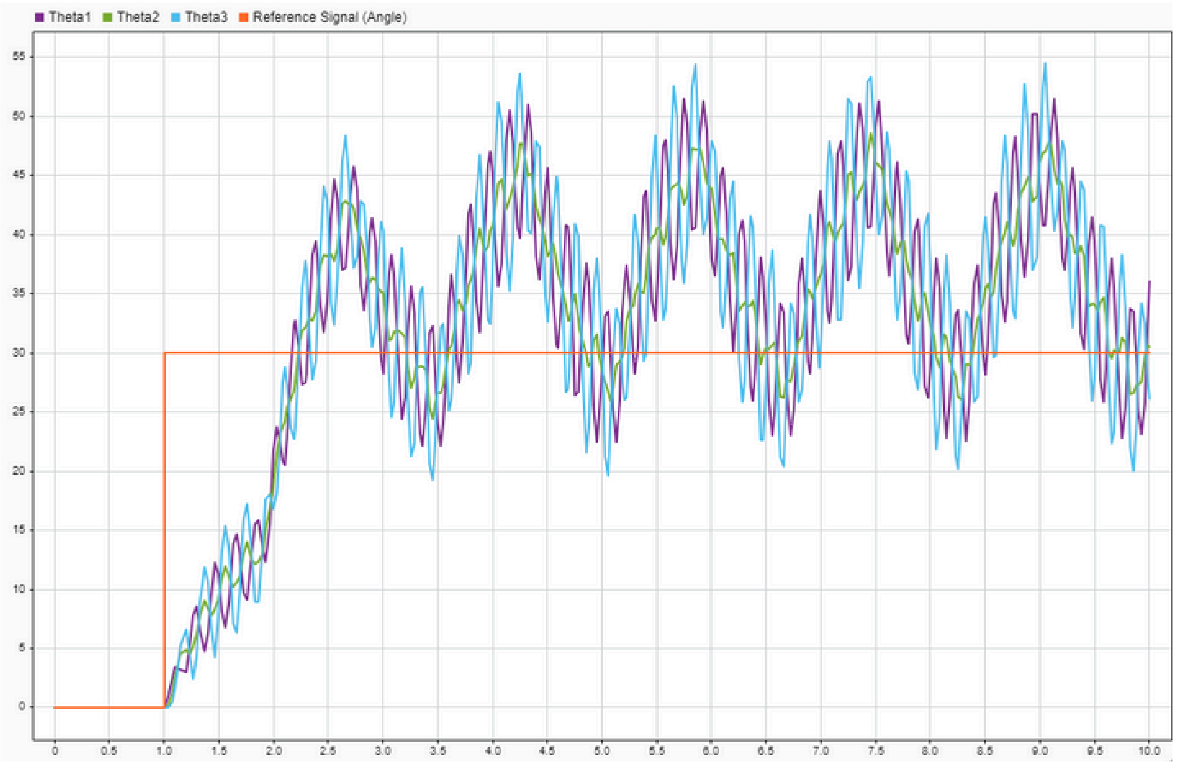
CLOSED LOOP SIMULATION CONTROL 1



Ts = 0.001s



Ts = 0.01s

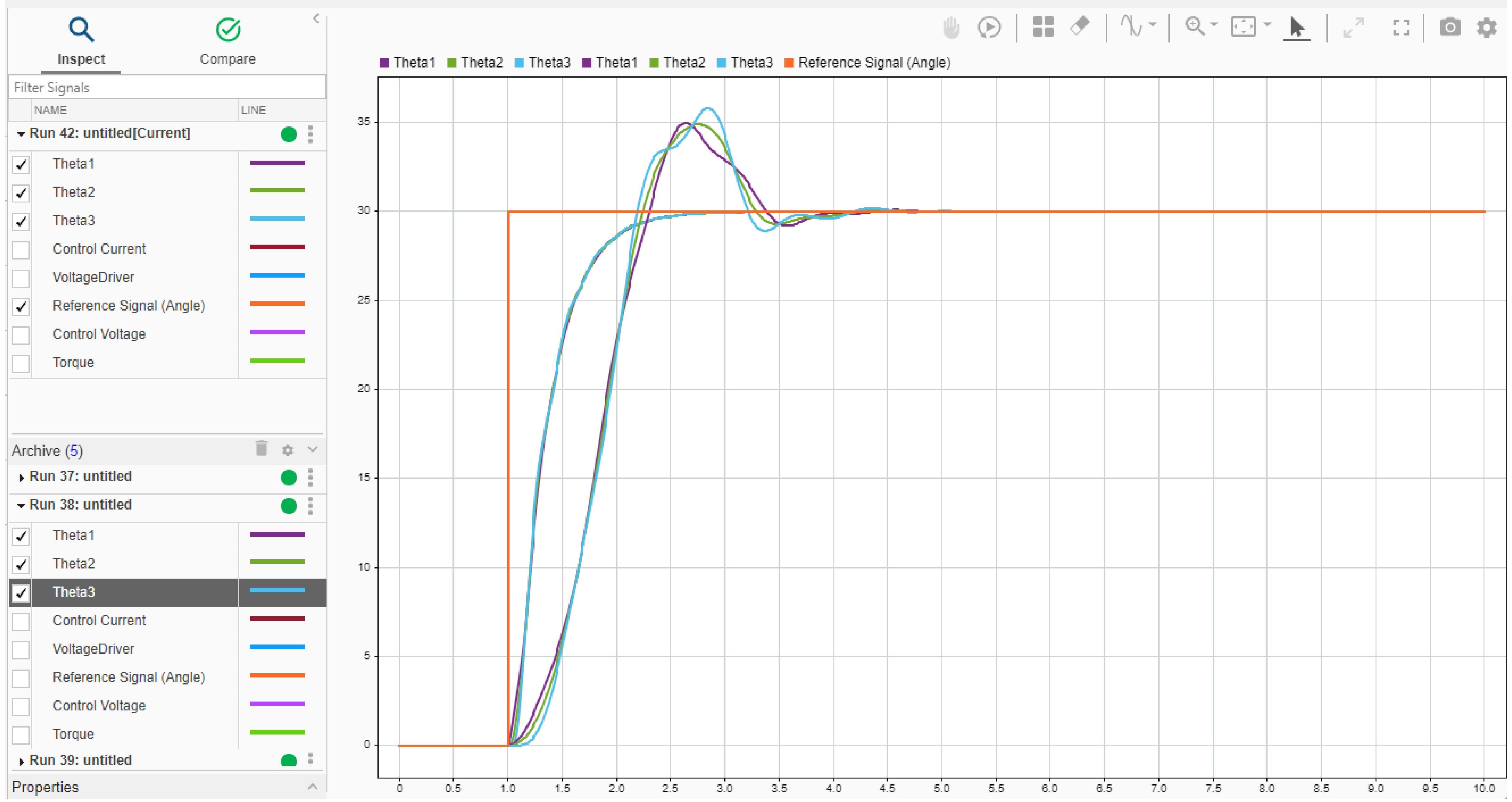


Ts = 0.1s

Variasi Sampling Time

CLOSED LOOP SIMULATION CONTROL 1

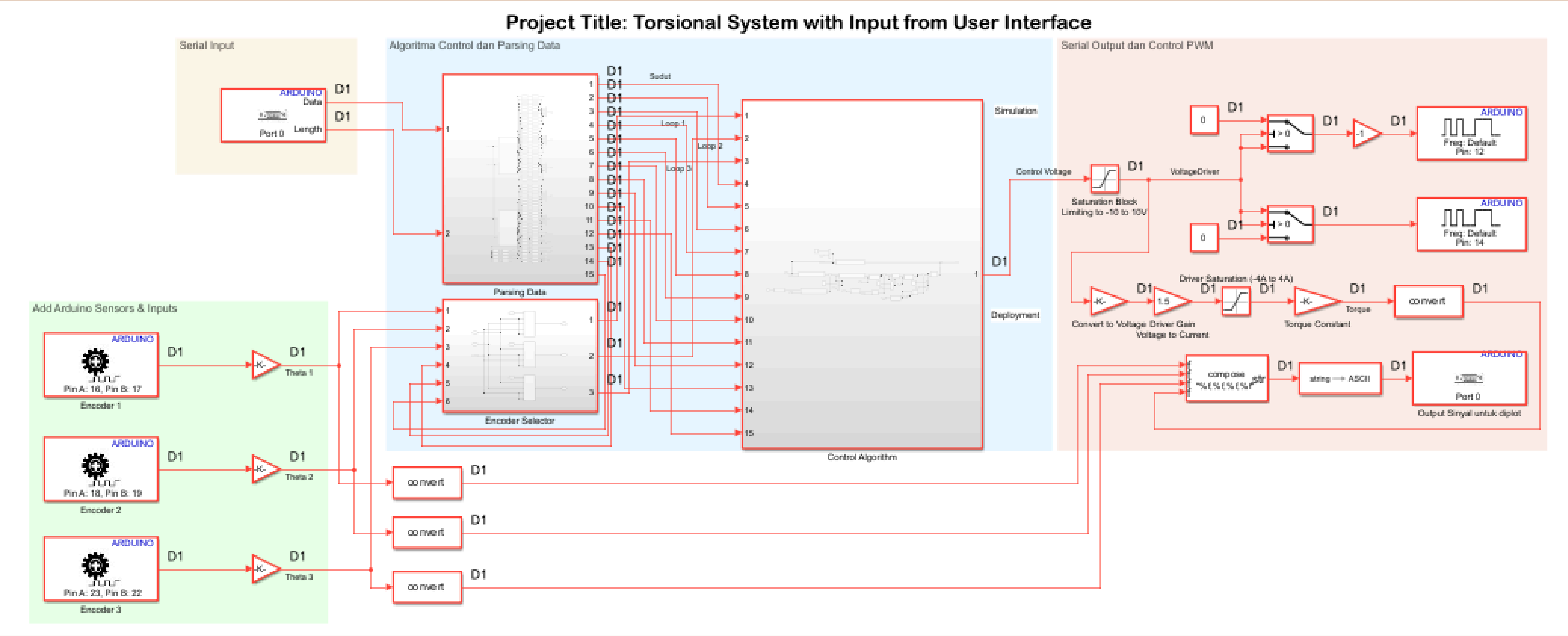
Adding 2 mass on disk 1 and 1 mass on disk 3 (comparison with no masses)



Input (Angle) 30 pada t = 1 s, Sampling Time = 0.01 s

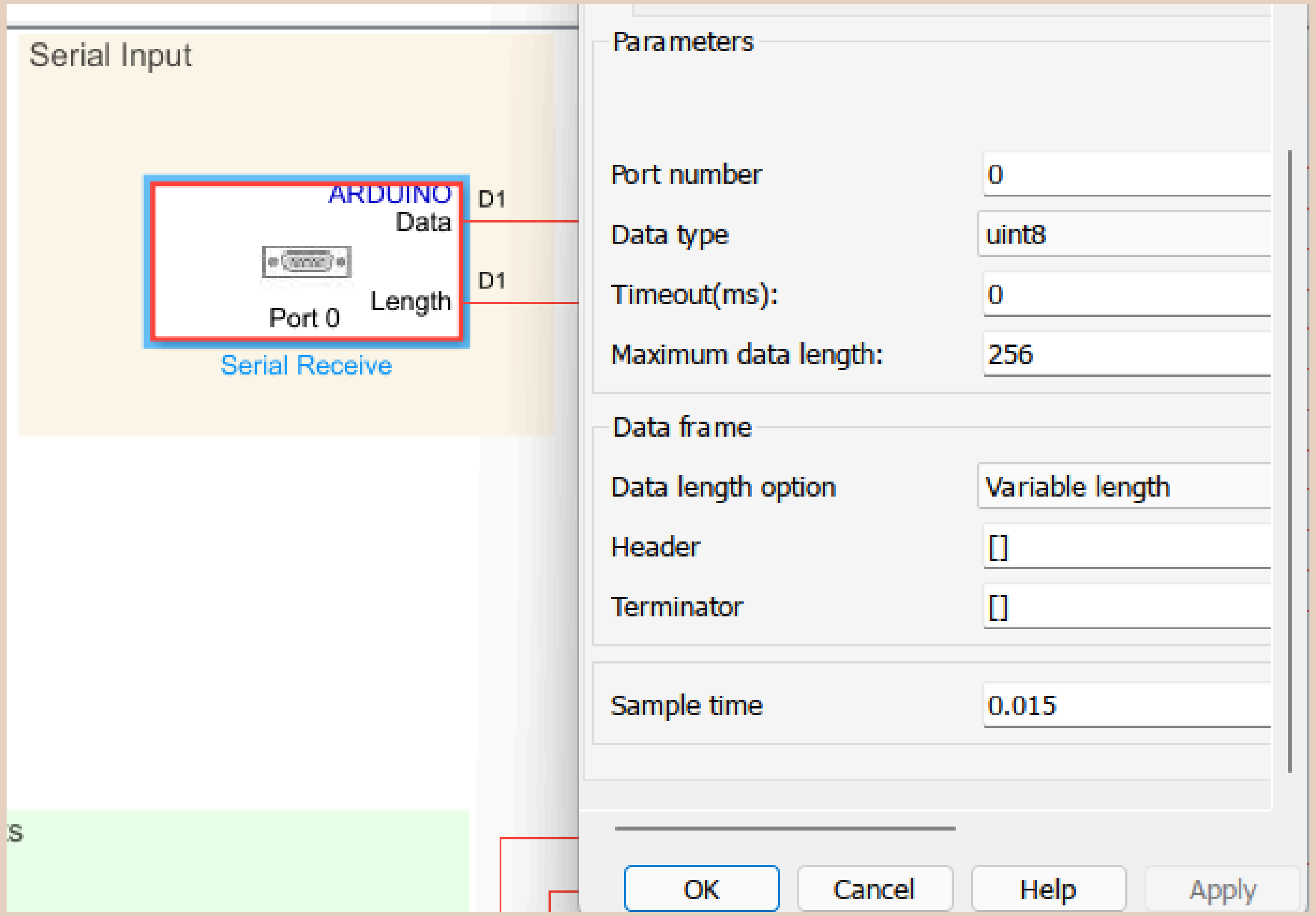
Adaptasi/Rewrite Algoritma DSP Lama pada Simulink

Top Level Sistem

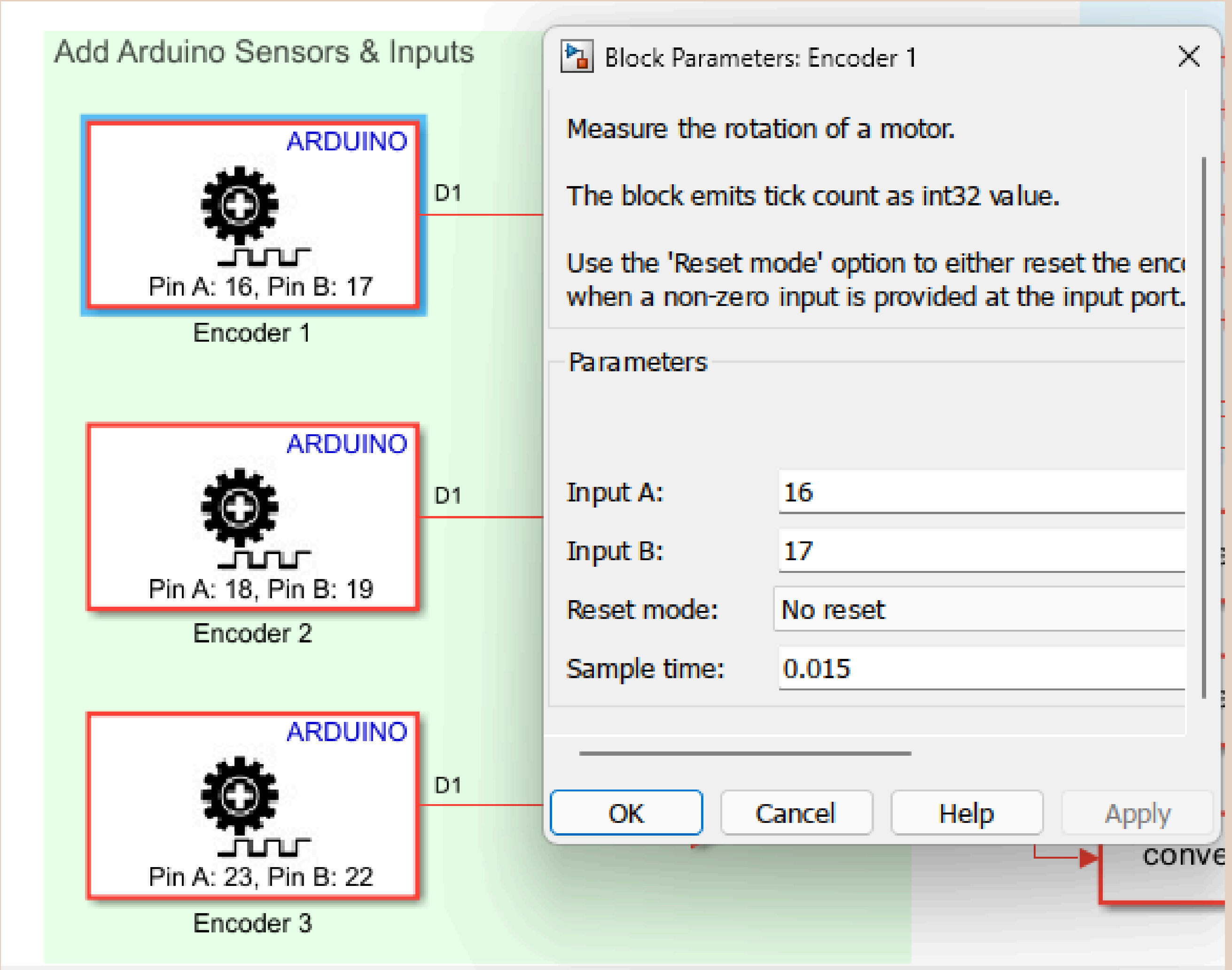


Adaptasi/Rewrite Algoritma DSP Lama pada Simulink

Serial Input



Encoder



- Format data input seperti berikut (sudut 3 char, parameter 6 char, enc 1 char)

Input Format

#0,10.218,-9.404,0,0,0,0,0,0,0.934,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0$

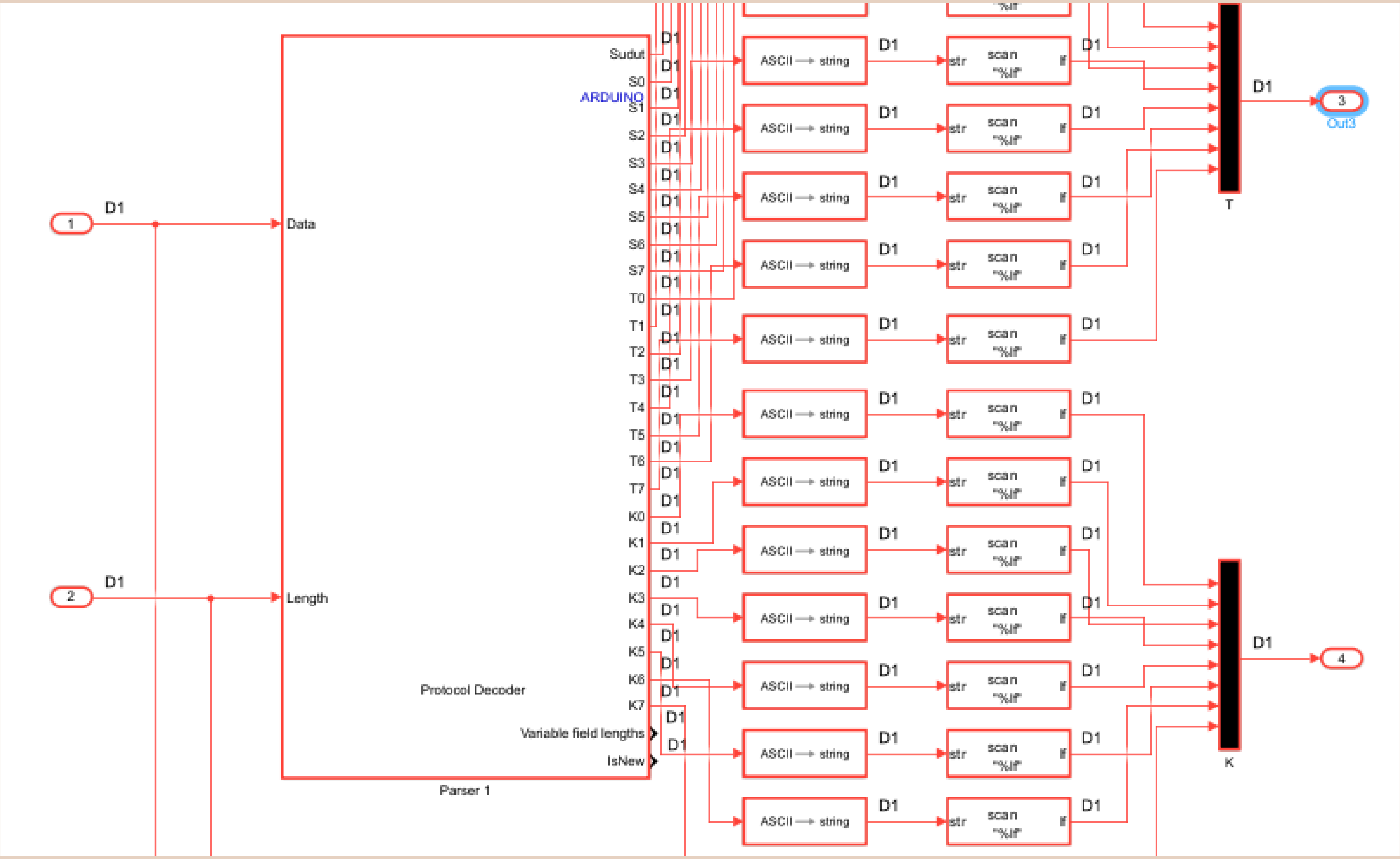
%0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,1,0,18.956,-18.84,0,2,2,2^

#Sudut, S0, ..., S7, T0, ..., T7, K0, ..., K7$

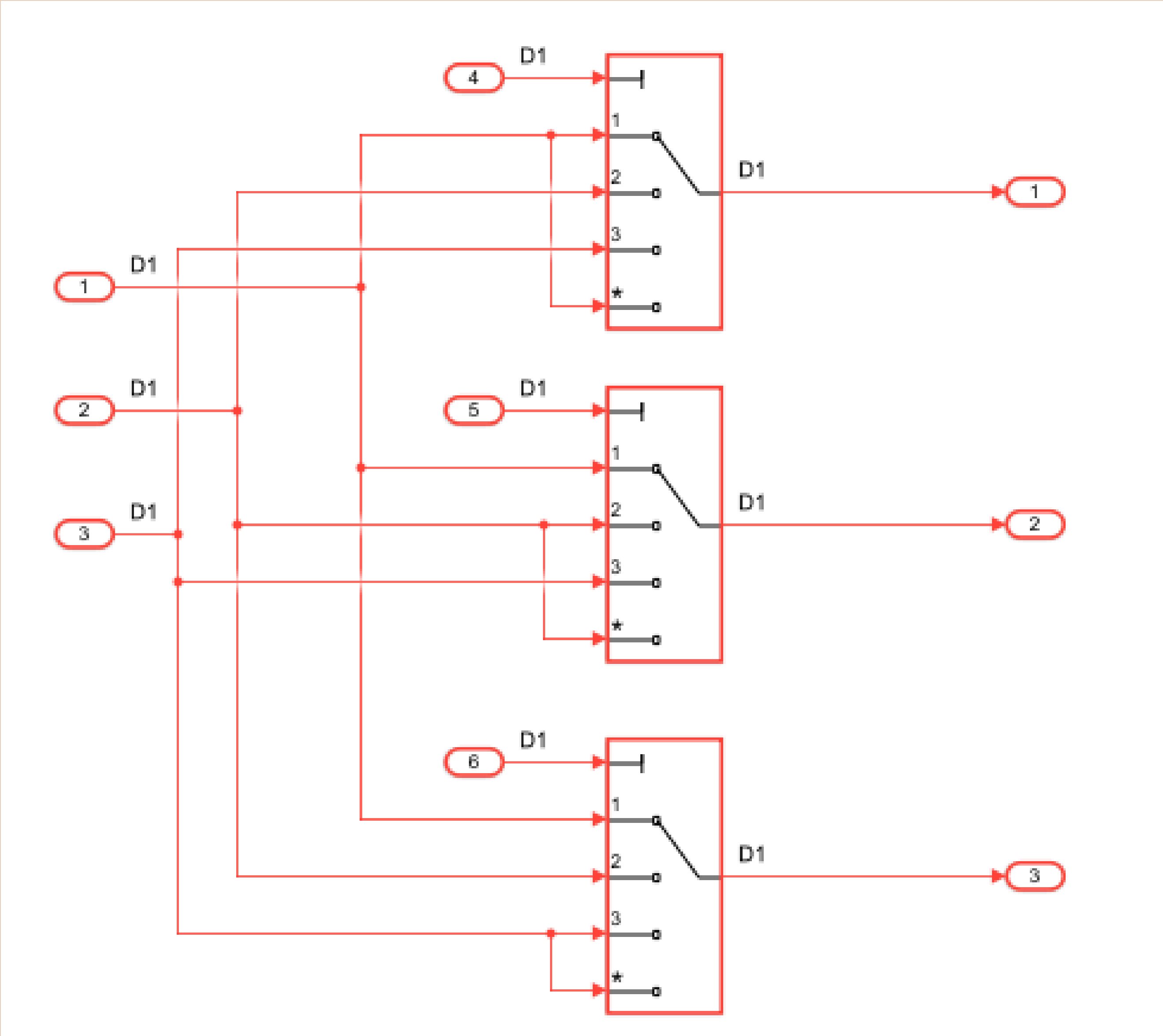
%L1, ..., L7,R1, ..., R7, H0, H1, I0, I1, J1, E0, E1, F0, F1, G1, l1, l2, l3^

Adaptasi/Rewrite Algoritma DSP Lama pada Simulink

Parsing Data

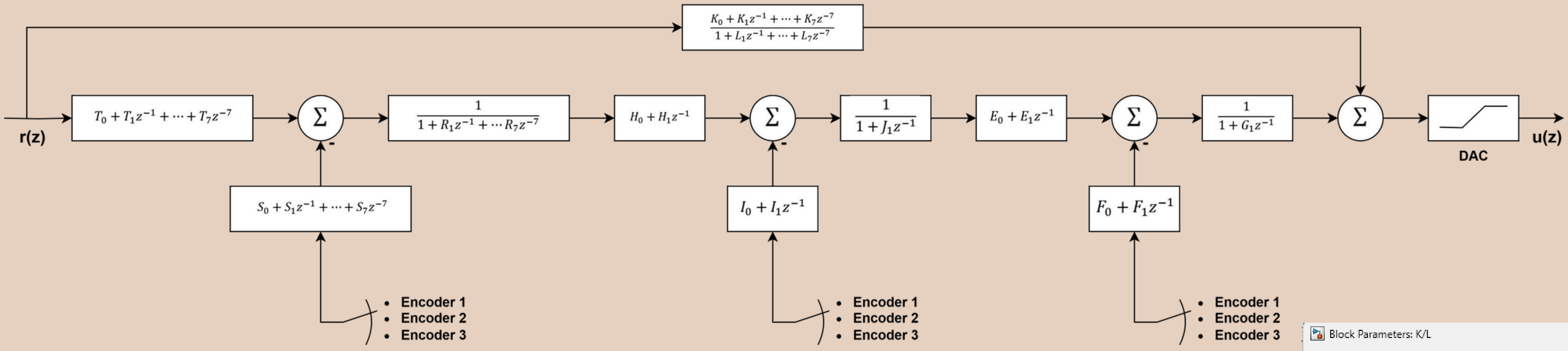


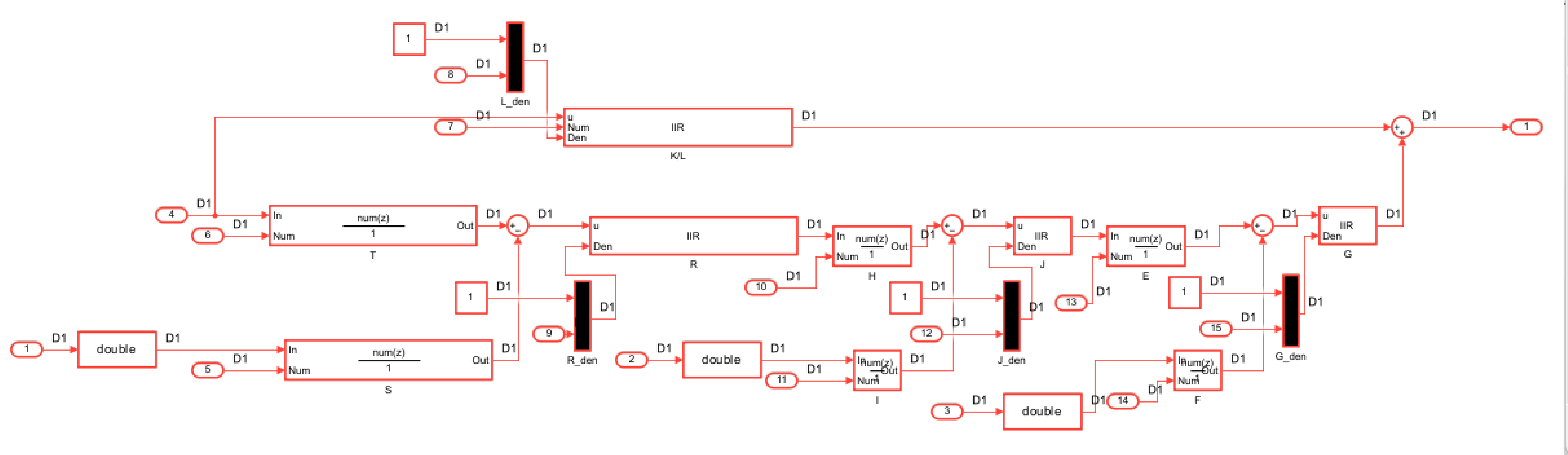
Encoder Selector

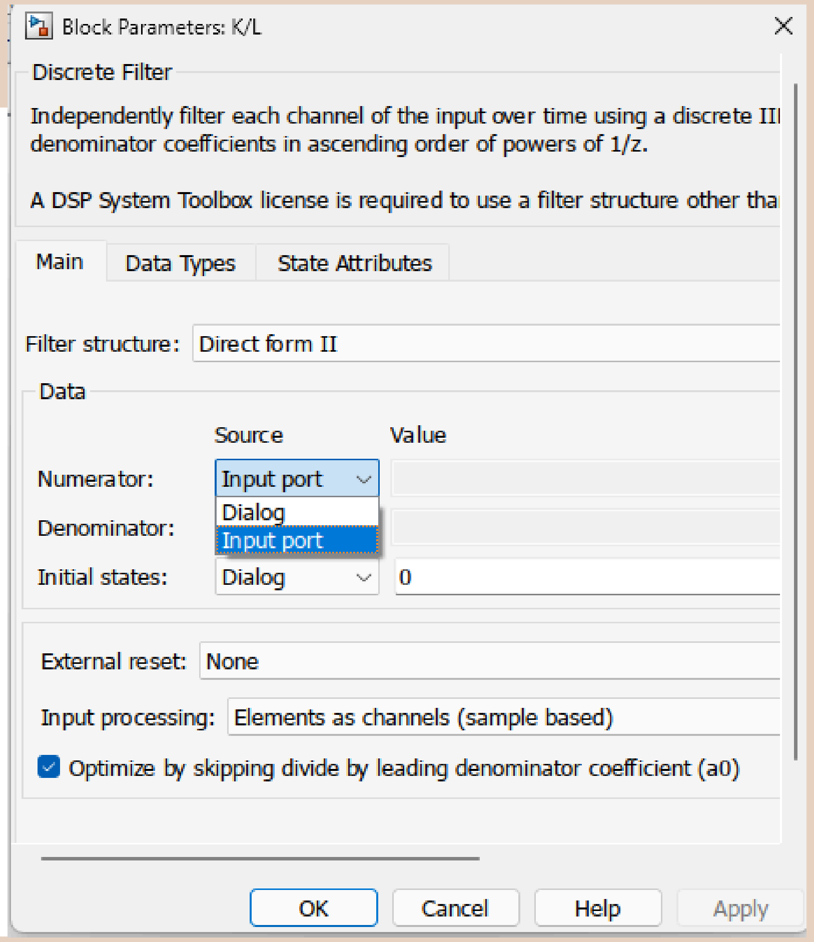


Adaptasi/Rewrite Algoritma DSP Lama pada Simulink

Control Algorithm

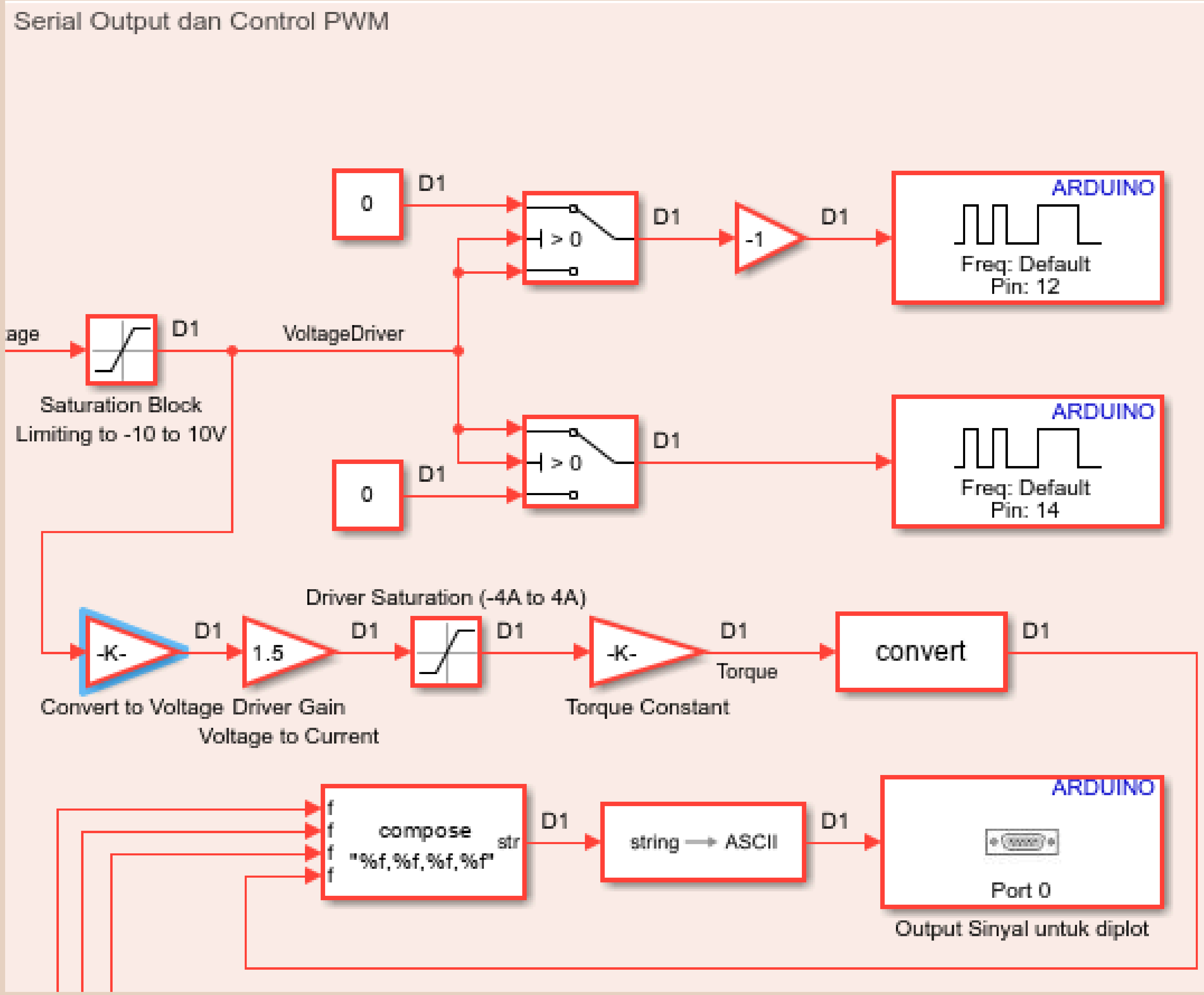






Adaptasi/Rewrite Algoritma DSP Lama pada Simulink

Control PWM dan Serial Output



- Untuk control voltage karena menggunakan BTS7960 yang inputnya berupa PWM. Digunakan saturation block yang dibatasi (-255 sampai 255) atau (-10V sampai 10V)
- Sedangkan format data outputnya seperti berikut

Output Format:

Header: (

Terminator:)

Separator: Comma

Data: Theta1, Theta2, Theta3, Torque

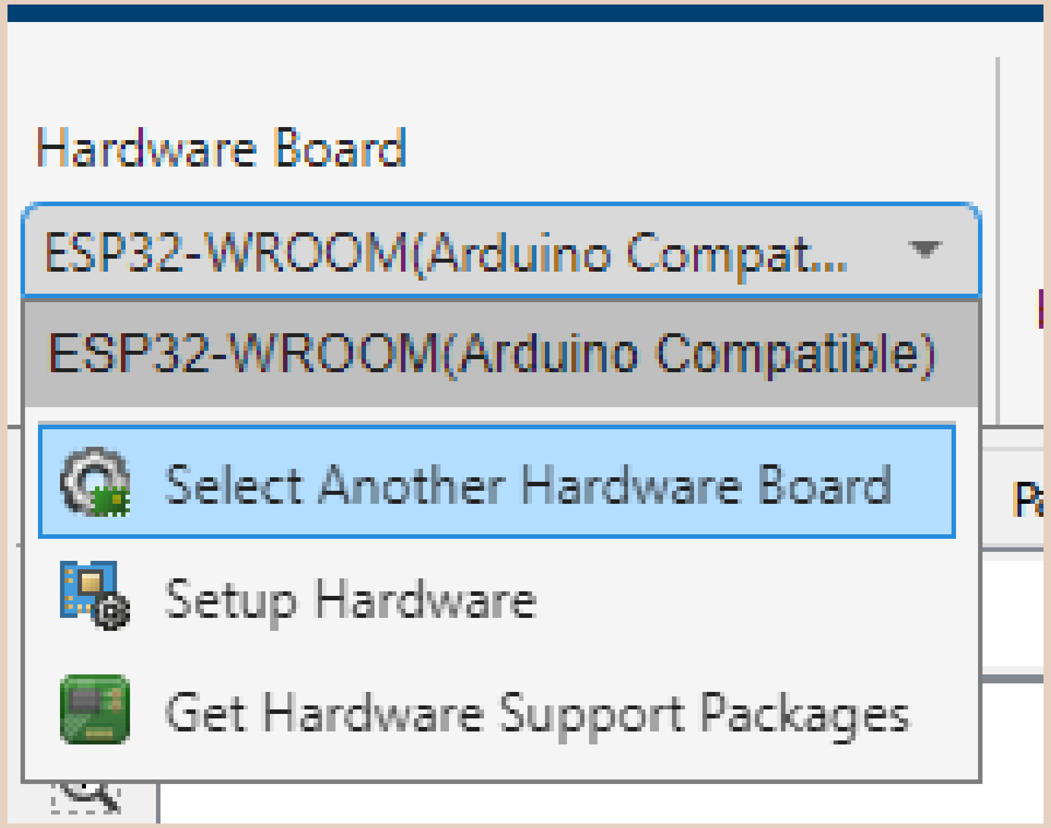
Resolusi: 6 Angka belakang koma

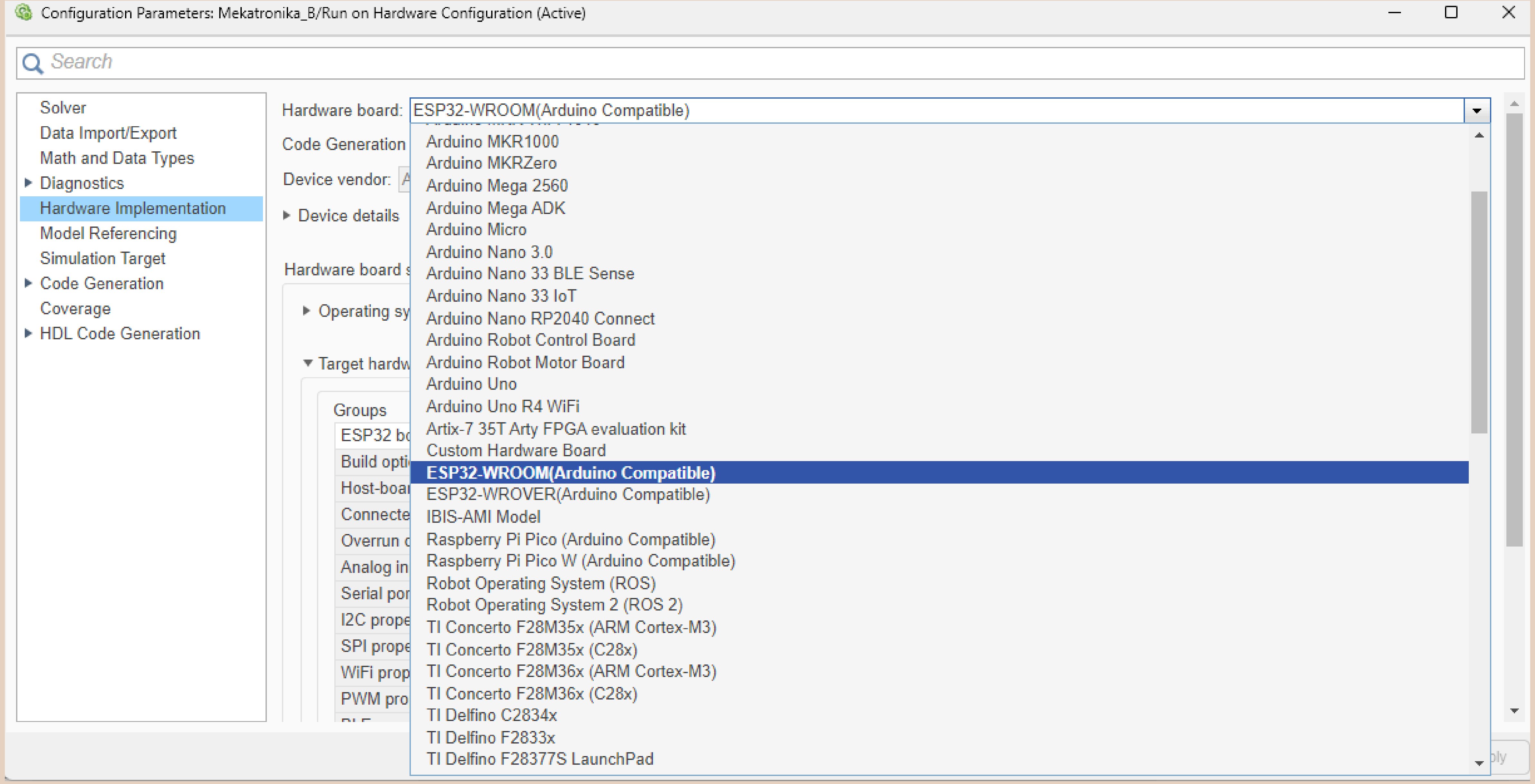
Contoh Data: (100.312456,2.3410,322235.122222,-0.033112)

Penyesuaian Algoritma Lama pada DSP Board Baru

Upload Algoritma Simulink ke ESP32

1. Menyesuaikan Board DSP

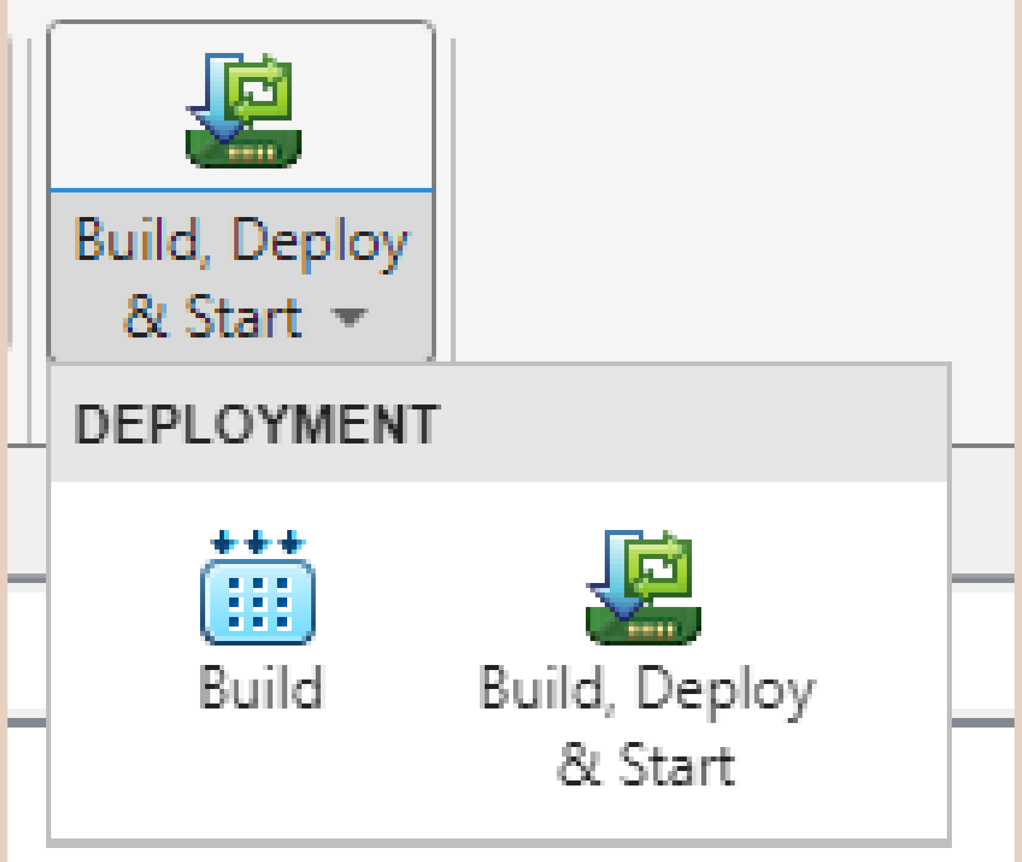


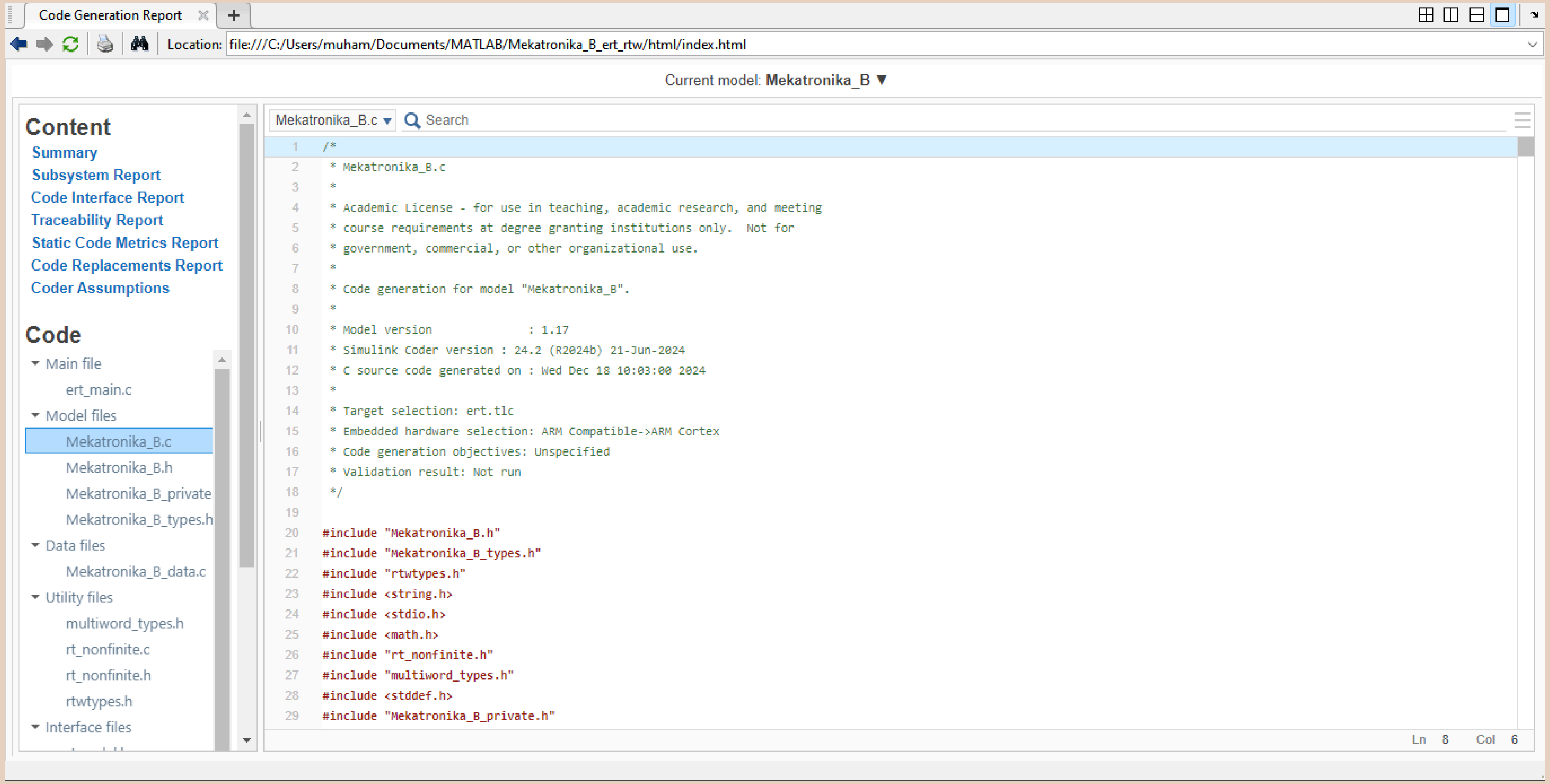


Penyesuaian Algoritma Lama pada DSP Board Baru

Upload Algoritma Simulink ke ESP32

2. Build, Deploy & Start



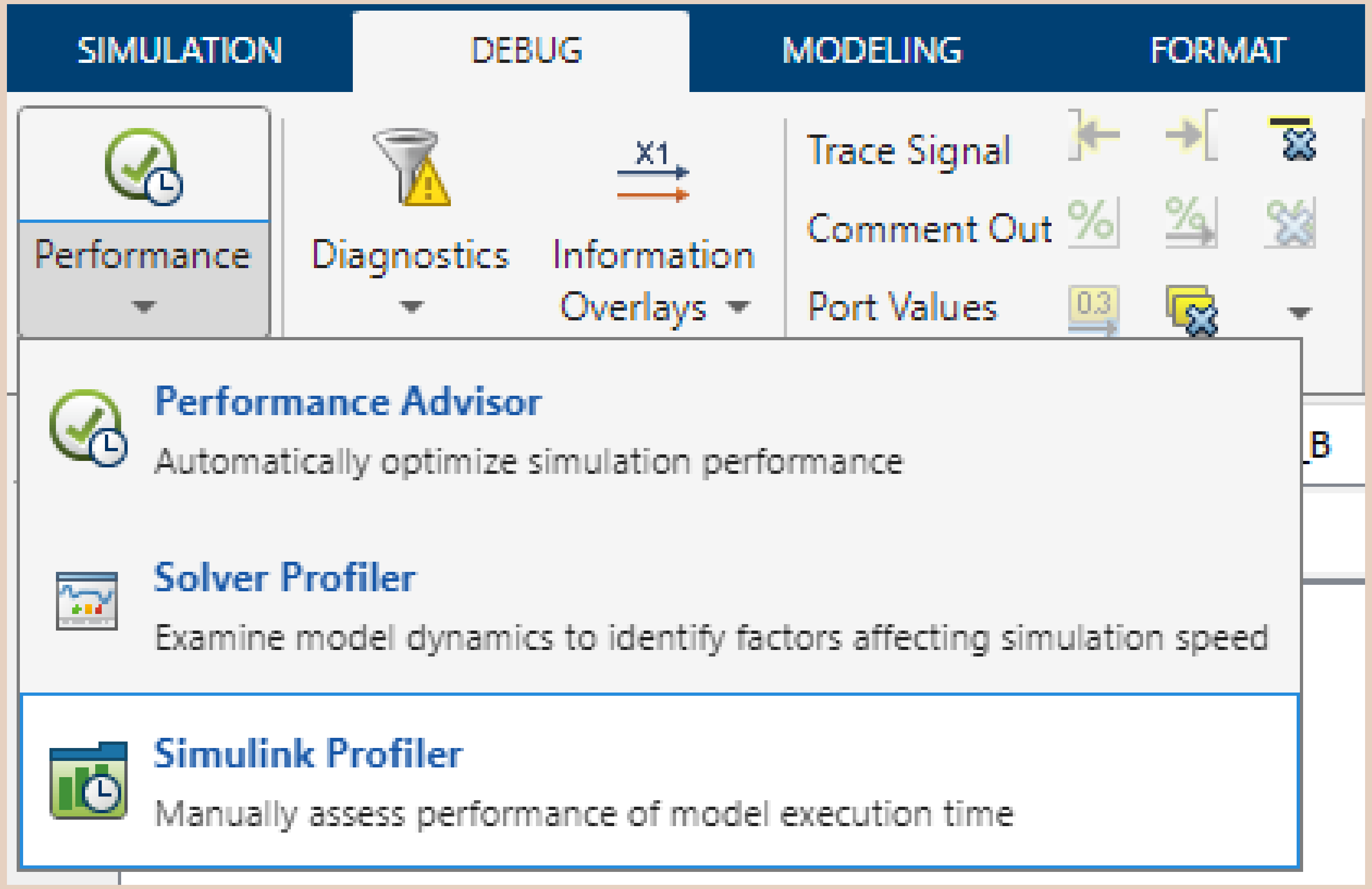


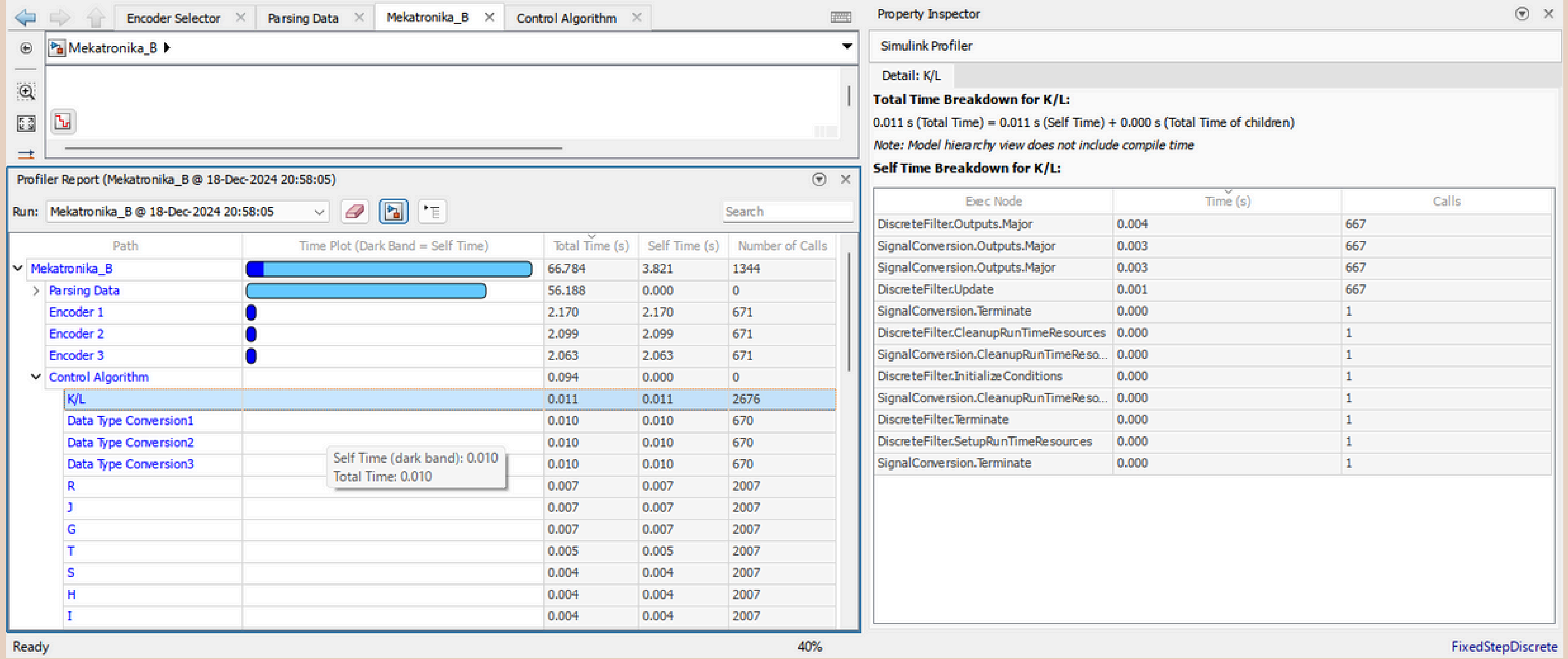
Code Generation

Penyesuaian Algoritma Lama pada DSP Board Baru

Upload Algoritma Simulink ke ESP32

3. Profiling Time Execution





Profiler Report

Setelah dianalisis, ternyata waktu yang diperlukan untuk memproses algoritmanya hanya sekitar **50us**. Tetapi time sampling paling minimal yang bisa diberikan adalah sekitar **3.23 ms** dikarenakan Block Encoder pada Simulink ini membatasi sampling timenya.

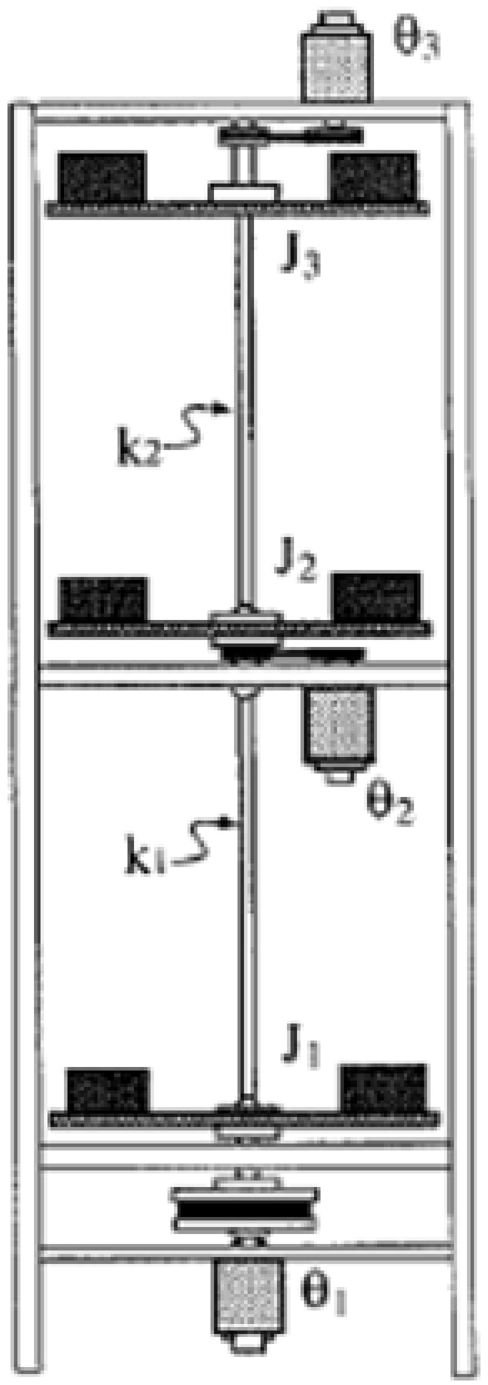
Penyesuaian Algoritma Lama pada DSP Board Baru

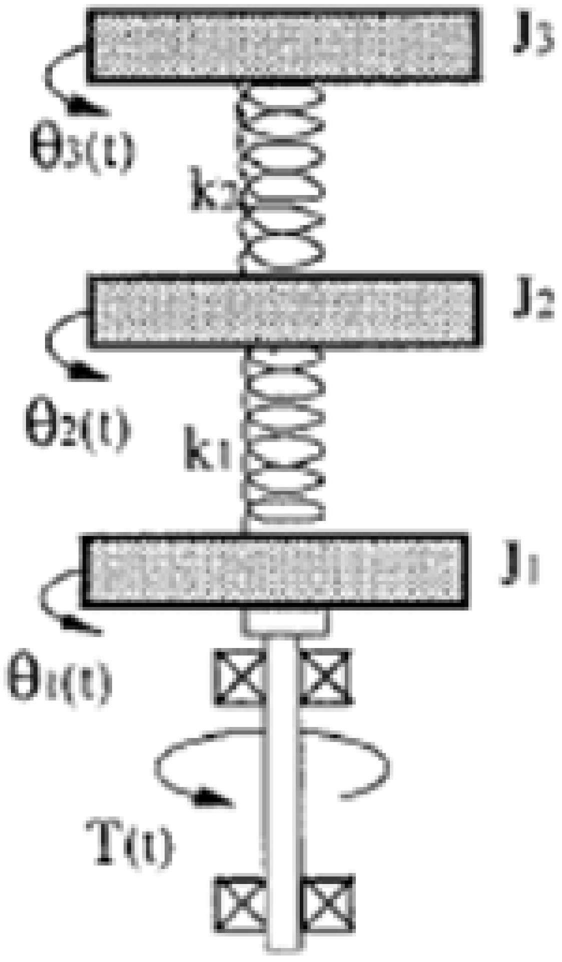
Beberapa perbedaan utama DSP lama dan baru:

- Pada algoritma DSP baru, time samplingnya tidak dapat diatur manual oleh user. Untuk mengubah time sampling, harus mengupload ulang dengan mengubah parameter time sampling pada beberapa block (Serial Receive, Encoder, Constant, dll.)
- Keterbatasan ukuran data yang dapat dikirim seperti parameter yang hanya bisa 6 karakter. Sebenarnya bagian ini bisa diatur lebih besar lagi tetapi mungkin memakan resources lebih banyak lagi pada memory ESP32 yang terbatas.
- Resolusi sinyal control pada DSP lama lebih besar (16 bit) sedangkan pada DSP baru yaitu ESP32 dengan Simulink hanya 8 bit.
- Lebih configurable mengingat DSP lama sudah tidak bisa diprogram lagi dibandingkan ESP32 yang dapat diprogram baik menggunakan Arduino IDE, Python, ataupun Simulink.

TERIMA KASIH

PEMODELAN SISTEM TORSIONAL





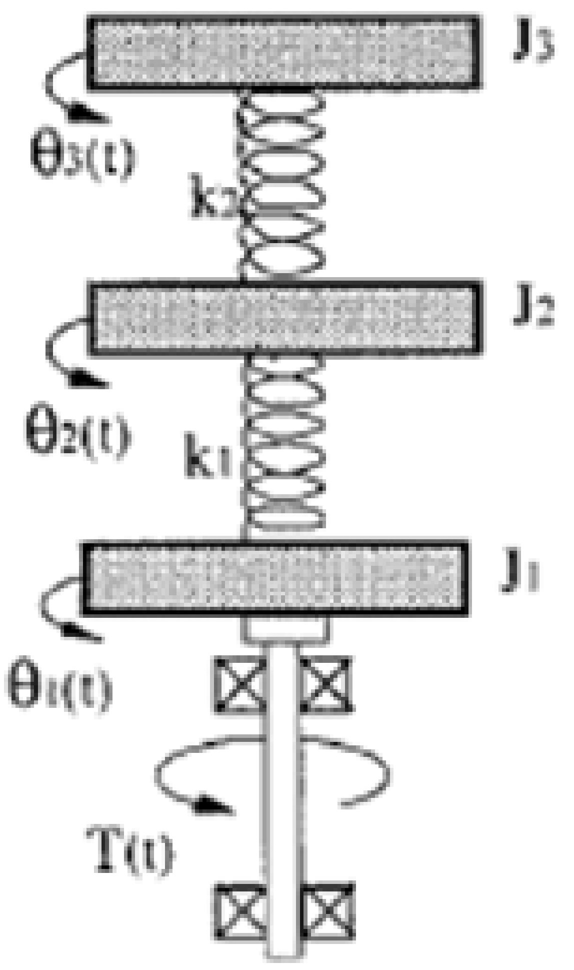
$$J_1\ddot{\theta}_1 + c_1\dot{\theta}_1 + k_1\theta_1 - k_1\theta_2 = T(t)$$

$$J_2\ddot{\theta}_2 + c_2\dot{\theta}_2 + (k_1 + k_2)\theta_2 - k_1\theta_1 - k_2\theta_3 = 0$$

$$J_3\ddot{\theta}_3 + c_3\dot{\theta}_3 + k_2\theta_3 - k_2\theta_2 = 0$$

Reference: Dokumen LabManual ECP205 (hal. 70 - 72)

PEMODELAN SISTEM TORSIONAL



Free-free, 3 DOF

$$\frac{\theta_1(s)}{T(s)} = \frac{N_1(s)}{D(s)}$$

$$\frac{\theta_2(s)}{T(s)} = \frac{N_2(s)}{D(s)}$$

$$\frac{\theta_3(s)}{T(s)} = \frac{N_3}{D(s)}$$

where:

$$N_1(s) = J_2J_3s^4 + [J_2c_3+J_3c_2]s^3 + [J_2k_2+c_2c_3+J_3k_1+J_3k_2]s^2 + [c_2k_2+c_3k_1+c_3k_2]s + k_1k_2$$

$$N_2(s) = k_1\,[J_3s^2 + c_3s + k_2]$$

$$N_3(s) = k_1\,k_2$$

$$D(s) = J_1J_2J_3s^6 + [J_1J_2c_3+J_1J_3c_2+J_2J_3c_1]s^5 + [J_1(J_2k_2+J_3k_1+J_3k_2+c_2c_3)+J_2(J_3k_1+c_1c_3)+J_3\,c_1c_2]s^4 + [J_1(c_2k_2+c_3k_1+c_3k_2) + J_2(c_1k_2+c_3k_1) + J_3(c_1k_1+c_1k_2+c_2k_1) + c_1c_2c_3]s^3 + [(J_1+J_2+J_3)k_1k_2 + c_1(c_2k_2+c_3k_1+c_3k_2) + c_2c_3k_1]s^2 + [(c_1+c_1+c_1)k_1k_2]s$$

harusnya (c1+c2+c3)

Reference: Dokumen LabManual ECP205 (hal. 70 - 72)

PEMODELAN SISTEM TORSIONAL

Menentukan konstanta k, c dan J (disk)

SS:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1167 & -2.92 & 1167 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1474 & 0 & -2895 & -0.526 & 1421 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1421 & 0 & -1421 & -0.526 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 6960 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

State Space Model for No Masses on Disk (Free-Free, 3 DOF)

$$X = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \dot{\theta}_1 \\ \theta_2 \\ \dot{\theta}_2 \\ \theta_3 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k_1/J_1 & -c_1/J_1 & k_1/J_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ k_1/J_2 & 0 & -(k_1+k_2)/J_2 & -c_2/J_2 & k_2/J_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & k_2/J_3 & 0 & -k_2/J_3 & -c_3/J_3 \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1/J_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_6 \end{bmatrix}$$

State Space Model (Free-Free, 3 DOF)

```
J1 = 1/6960;
c1 = 2.92*J1;
k1 = 1167*J1;
J2 = k1/1474;
k2 = J2*1421;
c2 = J2*0.526;
J3 = k2/1421;
c3 = J3 * 0.526;
% Adding 0.5 kg mass with 5 cm distance from the center of disk to disk 1
% J1 = J1 + 0.05^2 * 0.5;
```

Reference: Dokumen LabManual ECP205 (hal. 124)