

Simulasi Sistem Kendali Waktu Diskrit Menggunakan MATLAB

Johan Pawan

johan.pawan@hso.astra.co.id

johanpawan@yahoo.com

Lisensi Dokumen:

Copyright © 2003-2007 IlmuKomputer.Com

Seluruh dokumen di IlmuKomputer.Com dapat digunakan, dimodifikasi dan disebarkan secara bebas untuk tujuan bukan komersial (nonprofit), dengan syarat tidak menghapus atau merubah atribut penulis dan pernyataan copyright yang disertakan dalam setiap dokumen. Tidak diperbolehkan melakukan penulisan ulang, kecuali mendapatkan ijin terlebih dahulu dari IlmuKomputer.Com.

Dalam beberapa tahun terakhir ini perkembangan sistem kendali sangatlah pesat, apalagi di negara berkembang seperti Indonesia, dimana banyak industri-industri baru didirikan, oleh sebab itu pemahaman sistem kendali sangat dibutuhkan khususnya sistem kendali yang banyak digunakan dalam era sekarang ini yaitu Sistem Kendali Waktu Diskrit atau Sistem Kendali Digital.

Kehadiran komputer sebagai piranti pendukung dalam proses pembinaan tersebut memberi angin segar dalam perkembangan Sistem Kendali khususnya Sistem Kendali Waktu Diskrit. Banyak permasalahan Sistem Kendali dapat diatasi. Biaya yang dibutuhkan tidaklah sebesar biaya pendirian dan penyediaan alat sistem kendali, karena percobaan dapat dilakukan di laboratorium komputer, apalagi jika di dalam melakukan percobaan pengguna melakukan kesalahan pengoperasian, hal ini tidak menyebabkan rusaknya alat.

Untuk memahami Sistem Kendali Waktu Diskrit, maka dibutuhkan perangkat lunak (software) yang tepat dan berdaya guna. MATLAB sebagai sebuah bahasa perhitungan teknik berkualitas tinggi memenuhi syarat tersebut. Hampir seluruh parameter-parameter yang diperlukan dalam Sistem Kendali Digital tersedia pada MATLAB. Berbagai permasalahan Sistem Kendali Digital dapat diselesaikan dengan tepat dalam waktu singkat pada sebuah komputer.

MATLAB memiliki kemampuan yang sangat tinggi dalam perhitungan khususnya di bidang teknik, karena MATLAB dirancang untuk matematika. Kegunaan MATLAB secara umum adalah :

- Matematika dan komputasi
- Pengembangan Algoritma
- Pemodelan sistem, simulasi sistem, dan pembuatan prototype
- Analisis data, eksplorasi dan visualisasi
- Pembuatan aplikasi

Pada tutorial berikut akan dipaparkan penggunaan MATLAB pada Simulasi Sistem, yaitu Sistem Kendali Digital. Agar aplikasi MATLAB dalam simulasi sistem menjadi lebih mudah dipahami, perhitungan didahului dengan analisis perhitungan rumus secara manual dilanjutkan hasil dengan program MATLAB. Dalam artikel ini penulis menggunakan MATLAB 6.5 (Release 13). Pada bagian lain ikut pula disertakan M File program. M File cukup di copy ke dalam directory MATLAB dalam folder work atau **C:\MATLAB6p5\work**. Selanjutnya untuk menjalankan program dengan mengetikkan nama M File nya pada Command Window MATLAB.

Untuk dapat lebih mendalami setiap command yang digunakan, cukup dengan menulis perintah “ help (*command*) “ pada Command Window Matlab.

MATLAB®
The Language of Technical Computing



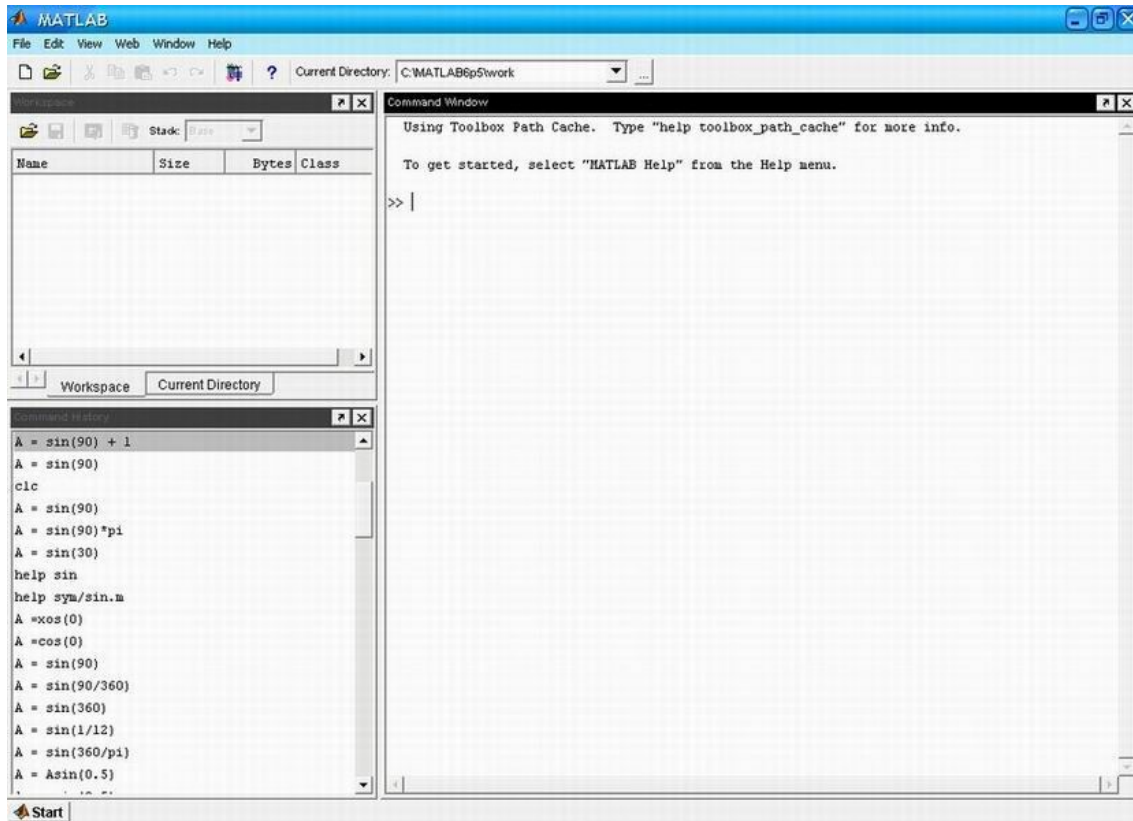
Copyright 1984–2002, The MathWorks, Inc.

Simulasi Sistem Kendali Waktu Diskrit Menggunakan MATLAB

Oleh:

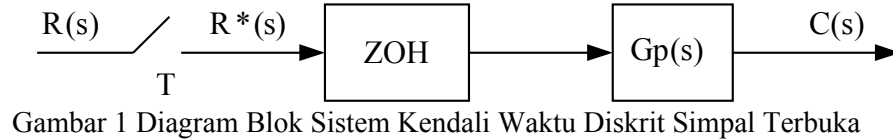
Johan Pawan

Tampilan Default MATLAB 6.5



• Pencarian Fungsi Alih Sistem – I (Orde Satu)

Suatu sistem diberikan dengan diagram blok seperti pada gambar 1 :

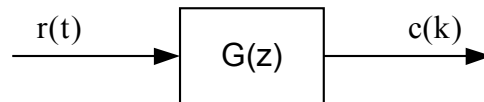


Gambar 1 Diagram Blok Sistem Kendali Waktu Diskrit Simalp Terbuka

dengan :

$$G_p(s) = \frac{1}{s+2}$$

berdasarkan sistem yang diberikan akan digambarkan grafik aliran sinyal, pencarian fungsi alih sistem diskrit, menghitung tanggapan sistem diskrit dengan transformasi z dimana diagram blok pada gambar 1 menjadi :

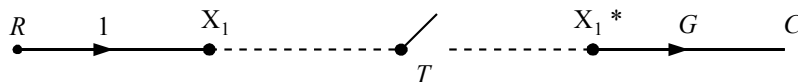


Gambar 2 Diagram Blok Sistem Kendali Waktu Diskrit Simalp Terbuka

√ Pembahasan :

a) Fungsi alih diskrit

Gambar grafik aliran sinyal sistem diperlihatkan pada gambar 3 :



Gambar 3 Grafik Aliran Sinyal

$$X_1 = R$$

$$C = GX_1^*$$

dengan mengambil transformasi z dari persamaan di atas maka diperoleh :

$$X_1(z) = R(z)$$

$$C(z) = G(z)X_1(z)$$

penyelesaian selanjutnya menghasilkan :

$$C(z) = G(z)R(z)$$

$$G(z) = \frac{C(z)}{R(z)}$$

dimana $G(z)$ dapat diperoleh dengan :

$$G(z) = \mathbf{Z} [G(s)]$$

$G(s)$ adalah perkalian antara fungsi alih *zero-order hold* dan fungsi alih *kendalian* sehingga diperoleh

$$G(z) = \mathbf{Z} \left[\frac{1 - e^{-Ts}}{s} G_p(s) \right]$$

$$G(z) = \frac{z-1}{z} \mathbf{Z} \left[\frac{1/2 \cdot 2}{s(s+2)} \right]$$

$$G(z) = \frac{1}{2} \frac{z-1}{z} \frac{z(1-e^{-2T})}{(z-1)(z-e^{-2T})}$$

dengan memasukkan nilai periode pencuplikan ($T = 1s$) pada persamaan di atas maka :

$$G(z) = \frac{1}{2} \frac{1-e^{-2}}{z-e^{-2}}$$

dengan demikian fungsi transfernya adalah :

$$G(z) = \frac{0.432332358}{z-0.135335238}$$

♥ Listing Program MATLAB (nama M File : fungsi_01) :

```
% Program untuk mencari fungsi alih sistem diskrit dengan
% menggunakan pencuplik ideal dan ZOH dan mensimulasikan
% tanggapan sistem diskrit dimana digunakan transformasi z
% Dimana diketahui:
%          1
% Gp(s) = ----
%          s + 2
clc
echo off
% Selanjutnya masukkan nilai penyebut dan pembilang dari Gp(s)
num1=[0 1];
den1=[1 2];
% Dalam kasus ini diambil periode pencuplikan (Ts)=1 sekon
Ts=1;
% Selanjutnya dicari pembilang dan penyebut fungsi alih diskrit:
[num,den]=c2dm(num1,den1,Ts,'zoh')
printsys(num,den,'z')
Catatan = char('-Pembilang Fungsi Alih Diskrit = num')
disp('-Penyebut Fungsi Alih Diskrit = den')
```

♥ Tampilan pada Command Window MATLAB :

```
num =

    0    0.4323

den =

    1.0000   -0.1353

num/den =
```

```

0.43233
-----
z - 0.13534

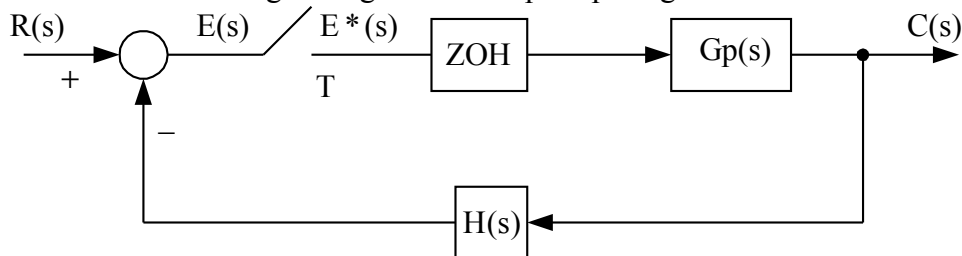
Catatan =

-Pembilang Fungsi Alih Diskrit = num
-Penyebut Fungsi Alih Diskrit = den
    
```

Untuk perhitungan dengan nilai $G_p(s)$ yang lain maka editlah dalam program nilai **num** dan **den** dalam program.

• Pencarian Fungsi Alih Sistem – II (Orde Dua)

Suatu sistem diberikan dengan diagram blok seperti pada gambar 4 :



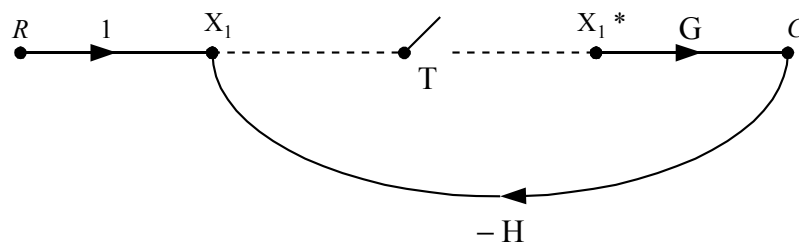
Gambar 4 Diagram Blok Sistem Kendali Waktu Diskrit Simpal Tertutup dengan :

$$G_p(s) = \frac{4s}{(s+2)^2 + 4^2} \quad ; \quad H(s) = 2$$

berdasarkan sistem yang diberikan akan digambarkan grafik aliran sinyal dan pencarian fungsi alih sistem diskrit.

√ Pembahasan :

Gambar grafik aliran sinyal sistem diperlihatkan pada gambar 5 :



Gambar 5 Grafik Aliran Sinyal

$$X_1 = R - GHX_1^*$$

$$C = GX_1^*$$

dengan mengambil transformasi z dari persamaan di atas maka diperoleh :

$$X_1(z) = R(z) - \overline{GH}(z)X_1(z)$$

$$C(z) = G(z)X_1(z)$$

penyelesaian untuk $X_1(z)$ menghasilkan

$$X_1(z) = \frac{R(z)}{1 + \overline{GH}(z)}$$

$$C(z) = \frac{G(z)}{1 + \overline{GH}(z)} R(z)$$

$$\frac{C(z)}{R(z)} = \frac{G(z)}{1 + \overline{GH}(z)}$$

$$T(z) = \frac{G(z)}{1 + \overline{GH}(z)}$$

dimana $G(z)$ dapat diperoleh dengan :

$$G(z) = \mathbf{Z}[G(s)]$$

$G(s)$ adalah perkalian antara fungsi alih *zero-order hold* dan fungsi alih *kendalian* sehingga diperoleh :

$$G(z) = Z \left[\frac{1 - e^{-Ts}}{s} G_p(s) \right]$$

$$G(z) = \frac{z-1}{z} Z \left[\frac{4}{(s+2)^2 + 4^2} \right]$$

$$G(z) = \frac{z-1}{z} \left[\frac{ze^{-2T} \sin 4T}{z^2 - 2ze^{-2T} \cos 4T + e^{-2*2T}} \right]$$

dengan memasukkan nilai periode pencuplikan ($T = 1s$) pada persamaan di atas maka :

$$G(z) = \frac{z-1}{z} \left[\frac{ze^{-2} \sin 4}{z^2 - 2ze^{-2} \cos 4 + e^{-4}} \right]$$

$$G(z) = \frac{-0.10242208z + 0.10242208}{z^2 + 0.176922089z + 0.018315638}$$

selanjutnya $T(z)$ diperoleh dengan :

$$T(z) = \frac{G(z)}{1 + \overline{GH}(z)}$$

$$T(z) = \frac{\frac{-0.10242208z + 0.10242208}{z^2 + 0.176922089z + 0.018315638}}{1 + 2 \left[\frac{-0.10242208z + 0.10242208}{z^2 + 0.176922089z + 0.018315638} \right]}$$

dengan demikian fungsi transfernya adalah :

$$T(z) = \frac{-0.10242208z + 0.10242208}{z^2 - 0.02792207z + 0.223159798}$$

♥ Listing Program MATLAB (nama M File : fungsi_02) :

```
% Program untuk mencari fungsi alih sistem diskrit dengan
% menggunakan pencuplik ideal dan ZOH
% Dimana diketahui:
%          4s
% Gp(s) = -----
%          S^2+4s+20
% H(s) = 2
clc
echo off
% Selanjutnya masukkan nilai penyebut dan pembilang dari Gp(s)
num1=[0 4 0];
den1=[1 4 20];
% Dalam kasus ini diambil periode pencuplikan (Ts)=1 sekon
Ts=1;
% Selanjutnya dicari pembilang dan penyebut fungsi alih diskrit
dengan menjalankan instruksi:
[Ac,Bc,Cc,Dc]=tf2ss(num1,den1);
[Ad,Bd]=c2d(Ac,Bc,Ts);
[numd,dend]=ss2tf(Ad,Bd,Cc,Dc);
num=numd
den=2*numd+dend
printsys(num,den,'z')
Catatan = char('-Pembilang Fungsi Alih Diskrit = num')
disp('-Penyebut Fungsi Alih Diskrit = den')
```

♥ Tampilan pada Command Window MATLAB :

```
num =

      0   -0.1024    0.1024

den =

      1.0000   -0.0279    0.2232

num/den =

      -0.10242 z + 0.10242
      -----
      z^2 - 0.027922 z + 0.22316

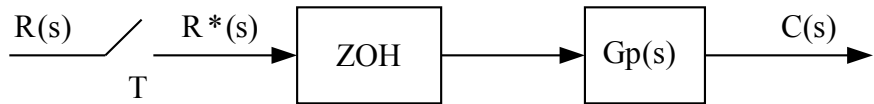
Catatan =

-Pembilang Fungsi Alih Diskrit = num

-Penyebut Fungsi Alih Diskrit = den
```


- **Tanggapan Sistem – Kontinu dan Diskrit**

Suatu sistem dengan fungsi alih kendalian :



Gambar 6 Diagram Blok Sistem Kendali Waktu Diskrit Simpal Terbuka

$$G_p(s) = \frac{1}{s+1} ; \quad R(s) = \frac{1}{s}$$

Berdasarkan fungsi alih kendalian yang diberikan akan dicari fungsi alih sistem diskritnya, tanggapan undak sistem kontinu, dan tanggapan undak sistem diskritnya.

√ Pembahasan :

Pertama-tama kita cari fungsi alih diskrit :

$$G(z) = Z \left[\frac{1-e^{-Ts}}{s} G_p(s) \right]$$

$$G(z) = \frac{z-1}{z} Z \left[\frac{1}{s(s+1)} \right]$$

$$G(z) = \frac{z-1}{z} \frac{z(1-e^{-T})}{(z-1)(z-e^{-T})}$$

dengan memasukkan nilai periode pencuplikan ($T = 1s$) pada persamaan di atas maka :

$$G(z) = \frac{0.632120558}{z - 0.367879441}$$

a) Untuk analisis keadaan kontinu

$$G_p(s) = \frac{1}{s+1}$$

maka

$$C(s) = G_p(s)R(s) = \frac{1}{s+1} \frac{1}{s} = \frac{1}{s} + \frac{-1}{s+1}$$

dan hasil tanggapan undak yang diperoleh adalah :

$$c(t) = 1 - e^{-t}$$

untuk $t = 0$, maka :

$$\begin{aligned} c(0) &= 1 - e^{-0} \\ c(0) &= 0 \end{aligned}$$

untuk $t = 1$, maka :

$$c(1) = 1 - e^{-1}$$

$$c(1) = 0.632120558$$

untuk $t = 2$, maka :

$$c(2) = 1 - e^{-2}$$

$$c(2) = 0.864664716$$

untuk $t = \infty$, maka :

$$c(\infty) = 1 - e^{-\infty}$$

$$c(\infty) = 1$$

b) Untuk analisis keadaan diskrit

$$G(z) = \frac{0.632120558}{z - 0.367879441}$$

maka

$$C(z) = G(z)R(z) = \frac{0.632120558}{z - 0.367879441} \frac{z}{z - 1}$$

$$\frac{C(z)}{z} = \frac{0.632120558}{(z - 0.367879441)(z - 1)}$$

Kemudian :

$$\frac{C(z)}{z} = \frac{k_0}{z - 0.367879441} + \frac{A}{z - 1}$$

Setelah itu akan dicari koefisien-koefisien polenya :

$$k_0 = \left[(z - 0.367879441) \frac{C(z)}{z} \right]_{z = 0.367879441}$$

$$k_0 = \left[(z - 0.367879441) \frac{0.632120558}{(z - 0.367879441)(z - 1)} \right]_{z = 0.367879441}$$

$$k_0 = \frac{0.632120558}{-0.632120558}$$

$$k_0 = -1$$

$$A = \left[(z - 1) \frac{C(z)}{z} \right]_{z = 1}$$

$$A = \left[(z - 1) \frac{0.632120558}{(z - 0.367879441)(z - 1)} \right]_{z = 1}$$

$$A = \frac{0.632120558}{0.632120558}$$

$$A = 1$$

Jadi ekspansi fraksi parsialnya diperoleh :

$$\frac{C(z)}{z} = \frac{-1}{z - 0.367879441} + \frac{1}{z - 1}$$

$$C(z) = \frac{-z}{z - 0.367879441} + \frac{z}{z - 1}$$

sehingga tanggapan undaknya diperoleh sebagai berikut :

$$c(k) = -(0.367879441)^k + 1^k$$

untuk $k = 0$, maka :

$$c(0) = -(0.367879441)^0 + 1^0$$

$$c(0) = 0$$

untuk $k = 1$, maka :

$$c(1) = -(0.367879441)^1 + 1^1$$

$$c(1) = 0.632120559$$

untuk $k = 2$, maka :

$$c(2) = -(0.367879441)^2 + 1^2$$

$$c(2) = 0.864664716$$

maka $k = \infty$, maka :

$$c(\infty) = -(0.367879441)^\infty + 1^\infty$$

$$c(\infty) = 1$$

♥ Listing Program MATLAB (nama M File : tanggapsistem) :

```
clc
echo off
% Program untuk menghitung ekspansi fraksi parsial dan tanggapan
% undak sistem waktu diskrit
% Fungsi alih sistem tersebut diberikan oleh :
%          1          1
% G(s) = ----- ; R(s) = ---
%          s + 1          s
% R(s) adalah masukan tangga satuan
% Kemudian keluarannya dituliskan sebagai:
%          1
% C(s)= G(s) R(s) = -----
%          s(s+1)
% Untuk mendapatkan ekspansi parsialnya, maka dijalankan instruksi:
num1 = [0 1];
den1 = [1 1];
num2 = [0 1];
den2 = [1 0];
nums = conv (num1,num2);
dens = conv (den1,den2);
disp('Fungsi Alih Kontinu: ')
printsys(num1,den1)
CTF=tf(num1,den1);
disp(' ')
disp('Ekspansi Fraksi Parsial keluarannya: ')
[r,p,k]=residue (nums,dens)
Catatan = char('-Pembilang Fungsi Alih Kontinu = num')
disp('-Penyebut Fungsi Alih Kontinu = den')
disp(' ')
disp('Press any key to continue...')
pause
```

```

disp('Perhitungan Fungsi Alih,Ekspansi Fraksi Parsial,Tanggapan
Undak Sistem Waktu Diskrit')
% Fungsi alih sistem diskrit hendak diperoleh dari fungsi alih
kontinu :
%
%          1
% G(s) =  -----
%          s + 1
% Kemudian keluarannya dituliskan sebagai:

%
%          1
% C(s)= G(s) R(s) = -----
%                   s(s+1)
% Fungsi alih sistem diskrit yang hendak diperoleh :
%
%          0.63212
% G(z) =  -----
%          z - 0.36788
%
% Kemudian keluarannya dituliskan sebagai:
%
%          [          0.63212      ]   [   z   ]
% C(z)= G(z) R(z) =[ -----]   [-----]
%          [          z - 0.36788 ]   [ z-1 ]
%
% Untuk mendapatkan ekspansi parsialnya,maka dijalankan instruksi:
% Masukkan periode pencuplikan :
Ts=1;
% Selanjutnya masukkan pembilang dan penyebut dari masukan tangga
satuan
num3=[1  0];
den3=[1 -1];
% Selanjutnya konversi dari sistem kontinu ke diskrit dengan
menjalankan instruksi :
[num,den]=c2dm(num1,den1,Ts,'zoh')
numz=conv (numd,num3);
denz=conv (dend,den3);
disp(' ')
disp(' Fungsi Alih Diskrit diperoleh yaitu : ')
printsys(num,den,'z')
disp('Ekspansi Fraksi Parsial keluaran Sistem Diskrit : ')
[r p k]=residuez (numz,denz)
% Untuk mendapatkan plot tanggapan undak sistem jalankan instruksi:
DTF=tf(numd,dend,Ts);
disp(' ')
disp('Perbandingan Tanggapan Undak Sistem Kontinu dan Sistem
Diskrit ----->')
step(CTF,'r',DTF,'--')
grid on
Catatan = char('-Pembilang Fungsi Alih Diskrit = num')
disp('-Penyebut Fungsi Alih Diskrit = den')
disp(' ')
disp('-Garis merah = Tanggapan Undak Sistem Kontinu')
disp(' ')
disp('-Garis biru putus-putus = Tanggapan Undak Sistem Diskrit')

```

♥ Tampilan pada Command Window MATLAB :

```

Fungsi Alih Kontinu:

num/den =

      1
-----
s + 1

Ekspansi Fraksi Parsial keluarannya:

r =

      -1
       1

p =

      -1
       0

k =

      []

Catatan =

-Pembilang Fungsi Alih Kontinu = num
-Penyebut Fungsi Alih Kontinu = den

Press any key to continue...
Perhitungan Fungsi Alih,Ekspansi Fraksi Parsial,Tanggapan Undak
Sistem Waktu Diskrit

num =

      0      0.6321

den =

      1.0000      -0.3679

Fungsi Alih Diskrit diperoleh yaitu :

num/den =

      0.63212
-----
z - 0.36788
Ekspansi Fraksi Parsial keluaran Sistem Diskrit :
    
```

```
r =  
  
    1.0000  
   -1.0000
```

```
p =  
  
    1.0000  
    0.3679
```

```
k =  
  
    0
```

Perbandingan Tanggapan Undak Sistem Kontinu dan Sistem Diskrit
----->

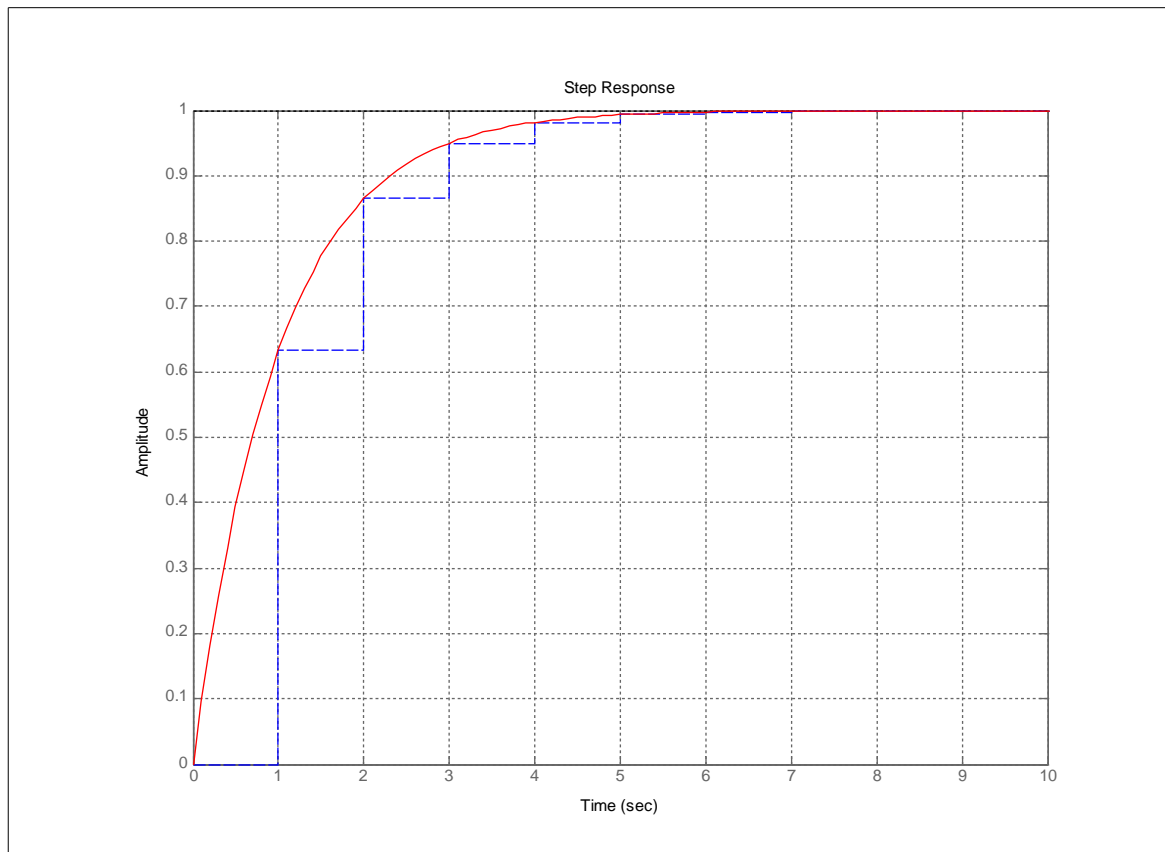
Catatan =

-Pembilang Fungsi Alih Diskrit = num

-Penyebut Fungsi Alih Diskrit = den

-Garis merah = Tanggapan Undak Sistem Kontinu

-Garis biru putus-putus = Tanggapan Undak Sistem Diskrit



Disini telah diulas, beberapa simulasi sistem dengan matlab. Sebenarnya masih banyak model-model simulasi lain yang dapat dilakukan dengan menggunakan matlab, simulasi sistem dengan simulink dengan diagram pada berbagai sistem dengan beragam parameter juga dapat dilakukan dengan matlab, semoga dapat dibahas oleh penulis pada artikel berikutnya. Pada penulisan artikel ini, penulis yakin masih terdapat banyak kekurangan. Pertanyaan, saran maupun kritik dari pembaca sangat penulis harapkan sebagai masukan agar dapat menulis lebih baik kedepannya.

Biografi Penulis



Johan Pawan. Lahir di Polewali , Sulawesi Selatan, 28 Januari 1981. Menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Elektro di Universitas Atma Jaya – Makassar tahun 2003 dan S2 di Magister Manajemen Universitas Hasanuddin pada tahun 2005. Pada study S1 penulis mendalami simulasi sistem dengan perangkat lunak MATLAB. Pernah dipercaya menjadi asisten Praktikum Fisika dan asisten dosen Rangkaian Listrik. Saat ini penulis bekerja PT. Astra International, Tbk Honda – Makassar. Saat ini juga menekuni aplikasi software antara lain Corel Draw, Corel Rave, Photoshop, dan Visual Basic. Penulis dapat dihubungi melalui email johan.pawan@hso.astra.co.id atau via YM dengan id: [johanpawan](#)