

Perancangan dan Pengukuran konstanta waktu sistem yang dapat disimpan dan ditampilkan secara grafis

Djoko Untoro Suwarno^{1,a)}

¹Laboratorium Teknik Kendali
Program Studi Teknik Elektro,
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta
Jl. Paingan, Maguwoharjo, Sleman Indonesia, 55284

^{a)} joko_unt@usd.ac.id (corresponding author)

Abstrak

Kemajuan di bidang komponen elektronika menghasilkan berbagai modul sensor dan modul mikrokontroler yang banyak dipakai. Melalui board Arduino dapat dilakukan interfacing dengan banyak modul sensor. Hal ini sebagai pendorong untuk pemanfaatan teknologi dalam pendidikan sains. Pengukuran konstanta waktu suatu sistem memerlukan peralatan yang dapat mengukur dengan waktu sampling yang cepat, seperti osciloskop atau DAQ menggunakan komputer. Pengukuran parameter yang berubah terhadap waktu dapat dilakukan dengan mudah menggunakan bantuan mikrokontroler. Pada penelitian ini telah dirancang dan diuji coba modul untuk pengukuran konstanta waktu sistem RC yang dapat terhubung dengan komputer sebagai media penyimpanan dan penampil secara grafis. Peralatan yang dibuat sendiri dapat menangkap sinyal masukan berupa tegangan analog untuk 2 saluran masukan dengan resolusi pengukuran waktu sebesar 4 mikro detik. Peralatan yang dibuat sendiri membutuhkan biaya yang relatif murah dengan kemampuan yang tidak kalah dengan pabrikan.

Kata-kata kunci: Pengukuran konstanta waktu RC, mikrokontroler, ADC

PENGANTAR

Salah satu karakteristik suatu sistem yang menunjukkan sistem tersebut lambat atau cepat yaitu konstanta waktu sistem. Dengan mengetahui konstanta waktu sistem, keluaran sistem dapat diperkirakan. Persoalan konstanta waktu sistem banyak dijumpai dalam buku teks mekanika fisika atom, perpindahan panas, termodinamika, elektronika, sistem biologi dll. [1][2][3]

Pengukuran konstanta waktu memerlukan pengukuran variabel tertentu dan pengukuran waktu. Pengukuran konstanta waktu rangkaian RC memerlukan pengukuran tegangan terhadap waktu [4].

Pada penelitian akan dibahas tentang pengukuran konstanta waktu untuk rangkaian RC dan pengolahan data pengukuran untuk konstanta waktu yang besar.

DEFINISI DAN PENGUKURAN KONSTANTA WAKTU

Konstanta waktu sistem orde satu

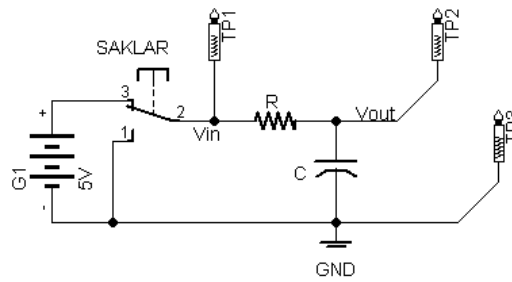
Rangkaian pengisian dan pengosongan muatan kapasitor melalui resistor ditunjukkan pada Gambar 17. Persamaan differensial rangkaian RC [5] ditunjukkan pada persamaan (1) dan (2) berikut

$$RC \frac{dV_{out}}{dt} + V_{out} = V_{in} \quad (1)$$

Dengan hambatan R dalam satuan Ω

Kapasitor C dalam satuan F

konstanta waktu $T = RC$ dalam satuan detik



Gambar 17. Rangkaian RC

Untuk masukan V_{in} berupa fungsi undak satuan (unit step function) maka keluaran V_{out}

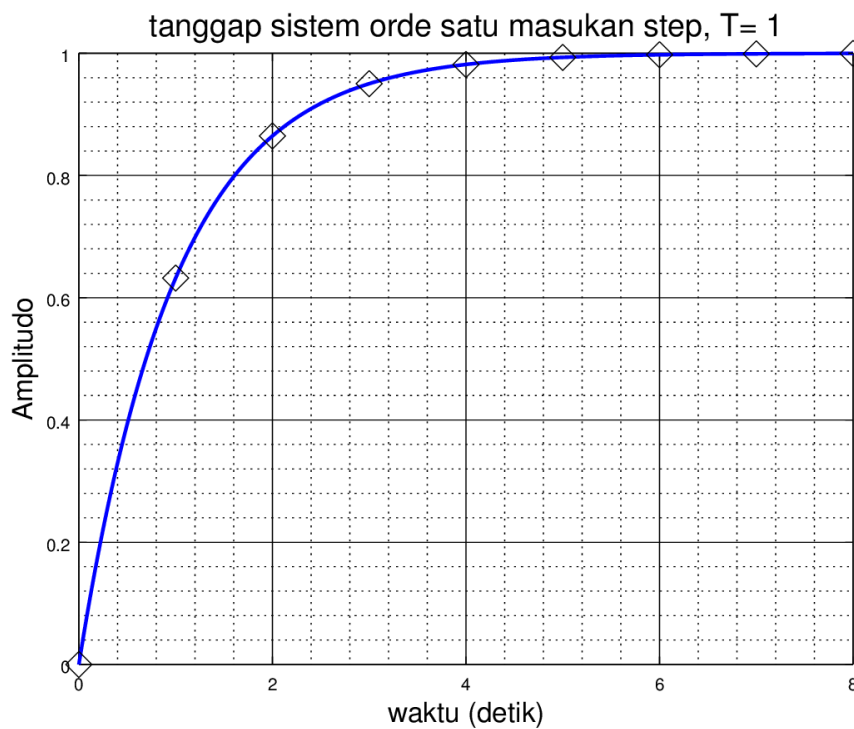
$$V_{out}(t) = V_0 \cdot (1 - e^{-t/RC}) \tag{2}$$

Perhitungan sistem orde satu dengan masukan berupa fungsi undak disajikan pada tabel 1 berikut.

Table 1. Perhitungan respons sistem terhadap masukan berupa fungsi undak

Waktu	Respon sistem Y(t)	Error terhadap masukan
0τ	0.00000	100%
1τ	0.63212	36,79%
2τ	0.86466	13,53%
3τ	0.95021	4,98%
4τ	0.98168	1,83%
5τ	0.99326	0,67%
6τ	0.99752	0,48%

Grafik respons sistem orde satu disajikan pada Gambar 18



Gambar 18. kurva respons sistem orde satu dan pengaruh konstanta waktu)

Definisi untuk konstanta waktu τ . [5]

Waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai keadaan 63,2% dari keadaan tunak untuk masukan berupa fungsi undak.

Pengukuran tegangan RC memerlukan pengubah tegangan analog menjadi data digital melalui ADC dan pengukuran waktu yang tepat. Pada tabel 2 disajikan perubahan analog ke digital berikut

Table 2. Pengaruh banyaknya bit ADC, Vref dan Resolusi ADC

N bit ADC	Banyaknya tingkatan	Resolusi Vref = 5,12V	Board
8 bit	256 tingkatan	20 mV/kode	Arduino UNO
10 bit	1024 tingkatan	5 mV/kode	Arduino UNO
12 bit	4096 tingkatan	1.25 mV/kode	-

Resolusi ADC ditunjukkan pada persamaan (3) berikut

$$\text{res ADC} = \frac{V_{\text{ref}}}{2^n - 1} \text{ (volt/kode)} \tag{3}$$

METODE PENELITIAN

Pengukuran konstanta waktu RC untuk rangkaian pada Gambar 17 menggunakan board Arduino UNO. Test Point 1 (TP) 1 dihubungkan dengan masukan Analog A0, Test Point 2 (TP2) dihubungkan dengan masukan Analog A1, sedangkan TP3 dihubungkan dengan Ground. VCC diambil dari board Arduino.

Board Arduino UNO diisi script untuk membaca masukan Analog A0 dan A1, ditunda sesaat (misal 1ms) dan dikirim ke serial port. Hasil pengukuran dari serial port ditampilkan dalam bentuk angka menggunakan Serial Monitor dan data dalam bentuk grafik menggunakan Serial Plotter dari IDE Arduino. Data yang dikirim secara serial disimpan menggunakan software tools Terminal.exe.

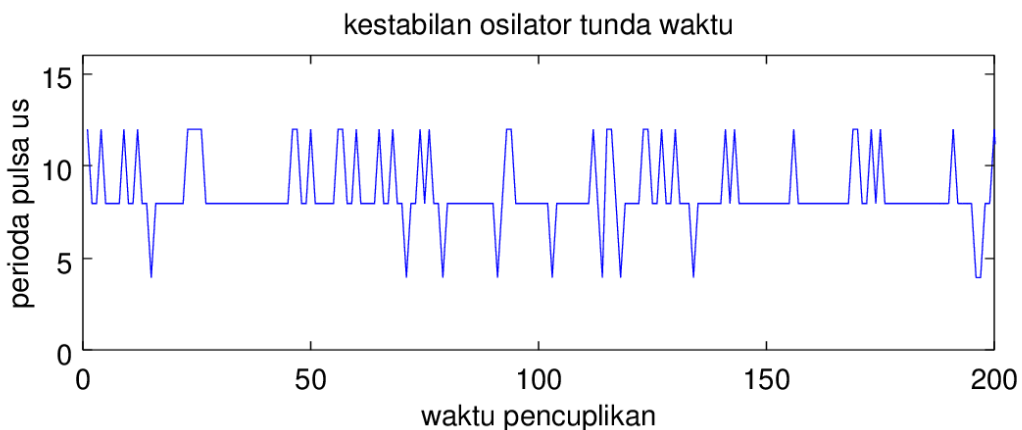
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran waktu delay 1 detik

Potongan Script Arduino untuk menguji ketelitian tunda waktu 1 detik

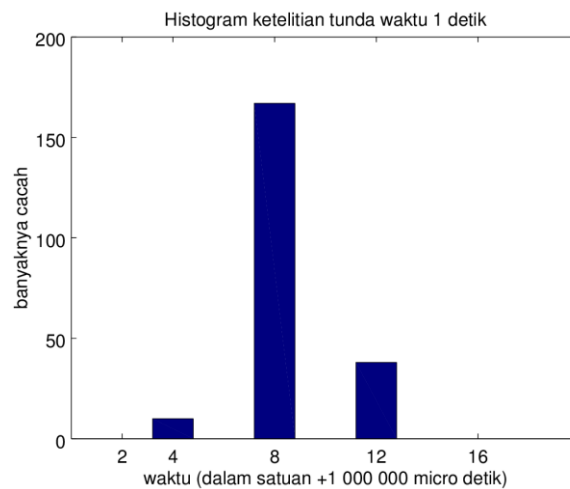
```
waktu = micros();
delay(1000);
dwaktu = waktu - micros();
Serial.println(dwaktu);
```

Hasil pengukuran tunda waktu 1 detik



Gambar 19. Kestabilan osilator waktu tunda

Gambar 3 menunjukkan kestabilan waktu tunda 1 detik yaitu berkisar antara 1,000004 detik sampai 1,000012 detik, dengan ketelitian 4 ppm sampai 12ppm.



Gambar 20. histogram nilai waktu

Gambar 4 memperlihatkan histrogram nilai waktu tunda. Nilai yang paling sering muncul yaitu 8ppm.

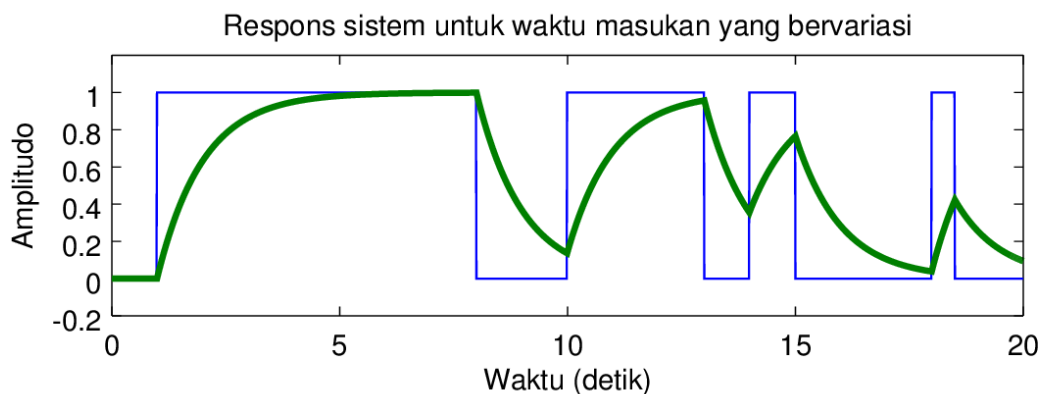
Kalibrasi basis waktu

Pengukuran waktu sangat tergantung pada kristal dan timer yang dipakai. Untuk board Arduino menggunakan kristal 16 MHz, sedangkan board Arduino Pro 3,3 V menggunakan kristal 8 MHz. Hal ini akan berdampak pada basis waktu dan resolusi dari interupsi timer. Table 3 menunjukkan resolusi pewaktuan pada mikrokontroler keluarga AVR.

Table 3. kalibrasi waktu timer pada AVR Arduino

TCCR2B	Prescaler	Freq [KHz],	Period [usec]
0x0	(TC stopped)		
0x1	1	16000	0.0625
0x2	8	2000	0.500
0x3	32	500.	2.000
0x4	64	250	4.000
0x5	128	125	8.000
0x6	256	62.5	16.000
0x7	1024	15.625	64.000

Pengujian sistem untuk mengetahui tanggapan terhadap masukan yang lambat (melebihi konstanta waktu sistem) dan masukan yang cepat (kurang dari konstanta waktu sistem) ditunjukkan pada Gambar 21. Contoh sistem dengan konstanta waktu 1 detik, mendapat masukan dengan lebar pulsa melebihi 6 kali konstanta waktu mampu mencapai keluaran yang maksimal. Masukan yang kurang dari konstanta waktu menyebabkan keluaran sistem belum selesai, masih ada nilai yang tersimpan pada kapasitor. Bila sistem mendapat masukan naik, tegangan yang masih tersimpan pada kapasitor menjadi nilai awal sistem.



Gambar 21. respons sistem dengan masukan pulsa, lebar pulsa bervariasi terhadap konstanta waktu

Pengukuran konstanta waktu dengan orde di bawah 10 detik masih bisa ditampilkan dalam satu layar. Setelah mencapai 6 x konstanta waktu maka sistem akan mencapai daerah yang tunak (*steady state*) seperti terlihat pada Gambar 22. Perhitungan konstanta waktu (*TC Time Constant*) dimulai saat keluaran mulai berubah sampai keluaran sistem tidak berubah seperti ditunjukkan pada persamaan (4).

$$TC = \frac{t_{ss} - t_0}{6} \tag{4}$$

Dengan t_{ss} merupakan waktu saat keluaran mencapai keadaan tunak
 t_0 merupakan waktu saat keluaran sistem mulai terjadi perubahan



Gambar 22. Pengukuran konstanta waktu yang relatif cepat

Dari definisi tentang konstanta waktu (*Time Constant*) keluaran sistem saat mencapai 36,8% untuk masukan berupa fungsi impuls dan 63,2% untuk masukan berupa fungsi undak dari keadaan tunak keluaran sistem. Keadaan tunak tercapai bila tidak keluaran sistem tidak mengalami perubahan yang cukup signifikan. Pengukuran konstanta waktu yang besar dan tidak terlihat adanya keadaan tunak (atau mencapai 63,2%) dilakukan dengan logaritmis dari keluaran.

Penurunan persamaan linearisasi keluaran ditunjukkan pada persamaan (5), (6) dan (7)

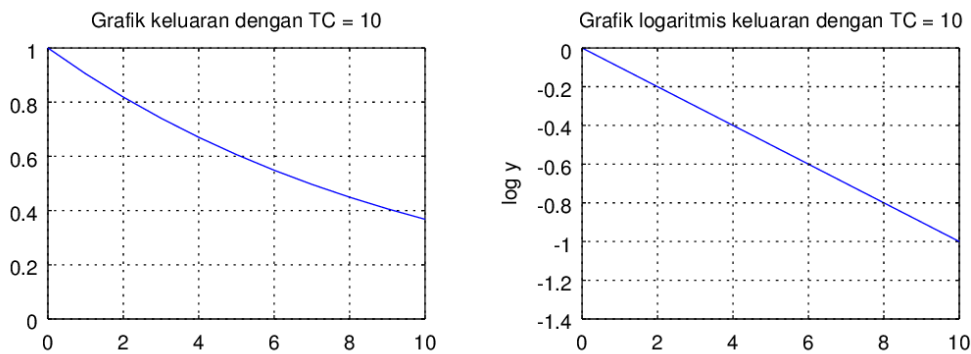
$$y(t) = Ae^{-t/TC} \tag{5}$$

Dilakukan logaritmis kedua sisi

$$\log(y) = \log(A) - t/TC \tag{6}$$

Sehingga

$$TC = \frac{t}{\log(A) - \log(y)} \tag{7}$$



Gambar 23. Pengukuran konstanta waktu yang besar menggunakan logaritmis dari keluaran

Dari grafik nilai TC dihitung $TC = \frac{t_1 - t_0}{\log(y_1) - \log(y_0)}$

Dalam pengukuran konstanta waktu berperan menunjukkan seberapa cepat atau lambat sistem dalam merespon adanya masukan (stimulus).

KESIMPULAN

Dari penelitian diperoleh hasil sebagai berikut

1. Pengukuran konstanta waktu memerlukan pengukuran waktu yang presisi, ketelitian waktu yang dapat dilakukan oleh mikrokontroler sebesar 8 ppm.
2. Pengukuran konstanta waktu dapat didekati saat sistem sudah tidak mengalami perubahan hal ini terjadi pada saat 6τ dengan *error* yang diperoleh $< 0.25\%$.
3. Pengukuran konstanta waktu yang besar dilakukan dengan memberikan fungsi logaritmis pada keluaran sebagai fungsi waktu dan menghasilkan kurva garis lurus.

DAFTAR PUSTAKA

1. Angeles, J. (2011). *Dynamic Response of Linear Mechanical Systems, Modeling, Analysis and Simulation*. New York: Springer.
2. Silva, C. W. (2018). *Modeling of Dynamic System with Engineering Application*. New York: CRC Press
3. Altmann, W. (2005). *Practical Process Control for Engineers and Technicians*. San Fransisco: Newnes, Elsevier.
4. Miclus, D. M. (2018). *Transient Response of RC Circuit*. <http://www.Analogdialog.com>.
5. Katsuhiko. Ogata (2010), *Modern Control Engineering*, Fifth Edition, Prentice Hall, New Jersey