

# PERANCANGAN ANTARMUKA PENDULUM TERBALIK MENGGUNAKAN VISUAL STUDIO

## DESIGN OF INTERFACE FOR INVERTED PENDULUM USING VISUAL STUDIO

Bill Josef Stepanus Simanjuntak<sup>1</sup>, Erwin Susanto<sup>2</sup>, Estananto<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>yoseffstefanus@gmail.com <sup>2</sup>erwinelektro@telkomuniversity.ac.id <sup>3</sup>estanto@telkomuniversity.ac.id

### Abstrak

Kestabilan merupakan hal yang harus diperhatikan dalam menciptakan suatu sistem. Tanpa adanya kestabilan, sebuah sistem tidak mungkin dapat berjalan sebagaimana yang diinginkan. Salah satu contoh untuk kita dapat mengetahui bagaimana sebuah sistem wajib memiliki sebuah kestabilan adalah dengan cara mengontrol sebuah pendulum terbalik, yang merupakan sebuah contoh dari sistem yang tidak stabil.

Pada tugas akhir ini berfokus pada perancangan aplikasi antarmuka pendulum terbalik dari penelitian sebelumnya yaitu kontrol *swing-up* dan kontrol stabilisasi. Aplikasi akan menampilkan nilai dan grafik hasil pembacaan sensor *Rotary Encoder* dimulai dari proses *Swing-Up* sampai ke proses *Stabilization*.

Hasil dari Tugas Akhir ini adalah dapat menampilkan grafik dan nilai sudut aktual dan posisi *cart* dari hasil pembacaan sensor *Rotary Encoder* pada pendulum terbalik dari mulai tahap proses *swing-up* sampai *stabilization* secara *real-time*.

**Kata Kunci:** Pendulum Terbalik, *Visual Studio*, *Real-Time*, *Rotary Encoder*, *Swing-Up*, *Stabilization*

### Abstract

*Stability is something that must be considered in creating a system. Without stability, a system cannot run as desired. One example for us to know how a system must have stability is to control an inverted pendulum, which is an example of an unstable system.*

*In this final project the focus is on the design of inverted pendulum interface applications from previous studies, namely swing-up controls and stabilization controls. The application will display the value and graph of the reading results of the Rotary Encoder sensor starting from the Swing-Up process to the Stabilization process.*

*The results of this Final Project are able to display the graph and the value of the actual angle and position of the cart from the reading of the Rotary Encoder sensor at the inverted pendulum from the start of the swing-up process to stabilization in real-time.*

**Keywords :** *Inverted Pendulum*, *Visual Studio*, *Real-Time*, *Rotary Encoder*, *Swing-Up*, *Stabilization*

### 1. Pendahuluan

Kestabilan merupakan hal yang harus diperhatikan dalam menciptakan suatu sistem. Salah satu contoh untuk kita dapat mengetahui bagaimana sebuah sistem wajib memiliki sebuah kestabilan adalah dengan cara mengontrol sebuah pendulum terbalik, yang merupakan sebuah contoh dari sistem yang tidak stabil.

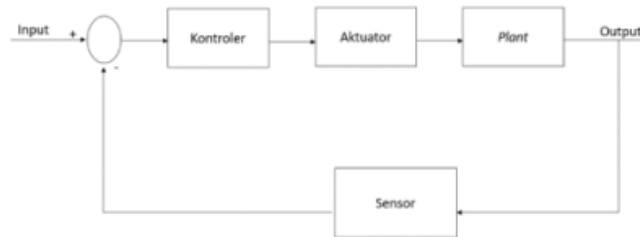
Penelitian dan pembelajaran mengenai pendulum terbalik dapat ditemukan pada cara kerja *humanoid robot* dan juga ada pada kendaraan roda dua bernama Segway dimana kendaraan tersebut harus bisa menyeimbangkan posisi porosnya ketika melakukan gerakan ke depan. Dari uraian di atas dapat kita simpulkan bahwa cara kerja dari sebuah pendulum terbalik dapat dijadikan pembelajaran secara umum mengenai teori kontrol dan kestabilan.

Pada penelitian sebelumnya yang berjudul "Perancangan dan Implementasi Pendulum Terbalik Menggunakan Kendali PID", "Perancangan dan Implementasi Pendulum Terbalik Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy", dan "Perancangan Sistem Kendali Untuk Kestabilan Pendulum Terbalik Menggunakan Metode Logika Fuzzy" telah dibuat sebuah alat mengenai sistem keseimbangan yang berkaitan dengan cara kerja pendulum terbalik. Alat tersebut sudah melakukan dua proses untuk mencapai keseimbangan yaitu dengan cara *swing-up* dan stabilisasi pada batang pendulum terbalik, tetapi belum ada tampilan antarmuka (*user interface*) agar kita mengetahui grafik posisi sudut yang telah dicapai alat tersebut secara *real-time*. Pada bahasan tugas akhir ini akan menjelaskan dan membuat *user interface* dari alat tersebut agar bisa memantau sudut ataupun parameter lain yang telah dicapai alat tersebut untuk mencapai keadaan seimbang.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Pendulum Terbalik

Pendulum terbalik pada dasarnya adalah suatu batang yang berdiri tegak dimana kestabilannya sulit untuk dicapai. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu metode kendali untuk mempertahankan posisi tegaknya. Selain tidak stabil, sistem pendulum terbalik juga merupakan sistem yang nonlinear sehingga pengaturannya menjadi sulit jika menggunakan metode kendali konvensional.



Gambar 1. Diagram Blok sistem kendali *closed-loop*

Gambar 1. adalah merupakan blok diagram sistem kendali *closed-loop*. Pada sistem pendulum terbalik yang merupakan sistem kendali *closed-loop* dibutuhkan suatu *feedback* hasil pembacaan sensor untuk menyatakan nilai *error*. Nilai *error* sendiri didapat dari selisih antara sudut yang terbaca pada batang pendulum dengan sudut referensi dimana nilai negatif menandakan batang pendulum berputar berlawanan jarum jam dan sebaliknya serta selisih antara posisi *cart* pada lintasan terhadap *setpoint* dimana nilai negatif menandakan posisi *cart* berada di sisi kanan lintasan dan sebaliknya (pada kasus pendulum terbalik sudut referensi = 00 dan posisi referensi = 0 cm).

### 2.2 Microsoft Visual Studio 2017

Microsoft Visual Studio merupakan sebuah perangkat lunak lengkap (*suite*) yang dapat digunakan untuk melakukan pengembangan aplikasi, baik itu aplikasi bisnis, aplikasi personal, ataupun komponen aplikasinya, dalam bentuk aplikasi *console*, aplikasi Windows, ataupun aplikasi Web.

Microsoft Visual Studio dapat digunakan untuk mengembangkan aplikasi dalam *native code* (dalam bentuk bahasa mesin yang berjalan di atas Windows) ataupun *managed code* (dalam bentuk Microsoft Intermediate Language di atas .NET Framework).

#### 2.2.1 Bahasa Pemrograman VB.NET (Visual Basic)

Microsoft Visual Basic .NET adalah sebuah alat untuk mengembangkan dan membangun aplikasi yang bergerak di atas sistem .NET Framework dengan menggunakan bahasa BASIC. Bahasa Visual Basic .NET sendiri menganut paradigma bahasa pemrograman berorientasi objek yang dapat dilihat sebagai evolusi dari Microsoft Visual Basic versi sebelumnya yang diimplementasikan di atas .NET Framework. Banyak sekali perubahan yang dilakukan oleh Microsoft antara Visual Basic Classic dengan Visual Basic .NET, dan Visual Basic .NET ini tidak kompatibel dengan versi terdahulu.

### 2.3 Penelitian Sebelumnya

Pada tiga penelitian yang sebelumnya telah dirancang pendulum terbalik dengan kontrol stabilisasi (menggunakan metode PID dan *Fuzzy Logic*) dan kontrol *swing-up* (menggunakan metode *Fuzzy Logic*).

Pada penelitian pertama, “**Perancangan dan Implementasi Pendulum Terbalik Menggunakan Kendali PID**” menjelaskan tentang perancangan kendali PID untuk mendapatkan parameter PID, yaitu penguat proporsional ( $K_p$ ), penguat integral ( $K_i$ ) dan penguat turunan ( $K_d$ ). Parameter PID yang telah didapat akan disimulasikan pada MATLAB lalu diimplementasikan pada sistem pendulum terbalik.

Pada penelitian kedua, “**Perancangan Sistem Kendali Untuk Kestabilan Pendulum Terbalik Menggunakan Metode Logika Fuzzy**” menjelaskan tentang perancangan sistem kestabilan pendulum terbalik menggunakan metode *fuzzy logic controller* dan metode gain konstan untuk kestabilan posisi *cart*. Sistem pendulum terbalik yang dirancang juga dapat mempertahankan kestabilan ketika diberi gangguan baik sinyal impuls maupun sinyal pulsa.

Pada penelitian ketiga, “**Perancangan Dan Implementasi Pendulum Terbalik Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy**” menjelaskan tentang perancangan kontrol *swing-up* pada pendulum terbalik menggunakan metode kontrol logika *fuzzy*. Bagian utama dari perancangan ini adalah pengolahan data yang berasal dari sensor *Absolute Rotary Encoder* berupa nilai sudut yang nantinya akan menentukan gerakan translasi pada *cart* pendulum. Pembacaan data dari sensor *Absolute Rotary Encoder* dibantu menggunakan mikrokontroler Arduino, proses inisiasi gerakan *cart* pendulum mengandalkan kecepatan tertentu yang diberikan motor DC, setelah proses inisiasi selesai kecepatan motor DC untuk gerakan translasi akan ditentukan dari besarnya sudut pada pendulum yang terbaca oleh *Absolute Rotary Encoder*, terakhir penambahan sensor posisi yang juga berupa *Rotary Encoder* diperlukan agar *cart* pendulum tidak menabrak bagian ujung lintasan.

## 2.4 Graphical User Interface (GUI)

GUI adalah tipe antarmuka yang digunakan oleh pengguna untuk berinteraksi dengan sistem operasi melalui gambar-gambar grafik, ikon, menu, dan menggunakan perangkat penunjuk (pointing device) seperti mouse atau track ball<sup>[7]</sup>. Desain *user interface* termasuk dalam bidang ilmu interaksi antara manusia dan komputer (HCI: *human computer interaction*). Interaksi antara manusia dan komputer adalah ilmu tentang perancang desain untuk membuat manusia dan komputer bekerja sesuai tujuan yang ingin dicapai secara efektif<sup>[8]</sup>.

Kelebihan dari GUI yaitu, desain grafis lebih menarik, GUI memungkinkan user untuk berinteraksi dengan komputer secara lebih baik, memudahkan pengguna, menarik minat pengguna, resolusi gambar yang tinggi. Namun ada juga kekurangannya yaitu, memakan memori yang sangat besar, bergantung pada perangkat keras, membutuhkan banyak tempat pada layar komputer, tidak fleksibel.

## 3. Perancangan Sistem

### 3.1 Gambaran Umum Sistem Antarmuka Pendulum Terbalik

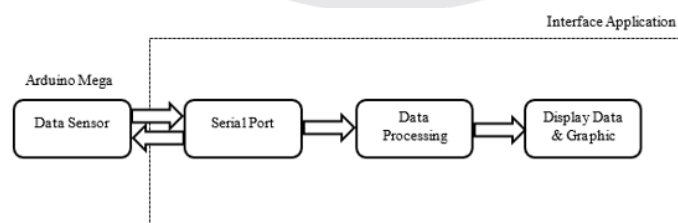
Pada bab ini akan dibahas perancangan sistem aplikasi antarmuka berbasis Visual Basic pada aplikasi Microsoft Visual Studio untuk memonitoring hasil pencapaian sudut pada pendulum terbalik. Proses kerja sistem bermula dari diperoleh data hasil pengukuran sensor *absolute rotary encoder* dan *incremental rotary encoder* yang terdapat pada purwarupa pendulum terbalik. Sensor ini dapat membaca nilai sudut karena adanya perubahan posisi pada porosnya yang dibaca dalam bentuk sinyal pulsa dan dikonversikan menjadi nilai yang dibutuhkan (sudut).

Nilai sudut yang diperoleh baik itu pada saat proses *swing-up* dan proses stabilisasi akan masuk ke dalam mikrokontroler yaitu Arduino Mega 2560. Selanjutnya data sudut yang sudah masuk ke Arduino Mega 2560 akan dikirimkan ke Visual Studio dengan perangkat laptop. Nilai yang ditampilkan akan berupa grafik yang terdiri atas proses *swing-up*, proses stabilisasi dan posisi *cart*, nilai tersebut akan berubah-ubah sesuai dengan hasil pengukuran sensor karena sistem bersifat real-time yang dimana itu adalah output dari sistem.

Berikut adalah diagram blok sistem pendulum terbalik.

#### 3.1.1 Diagram Blok

Diagram Blok Sistem Antarmuka

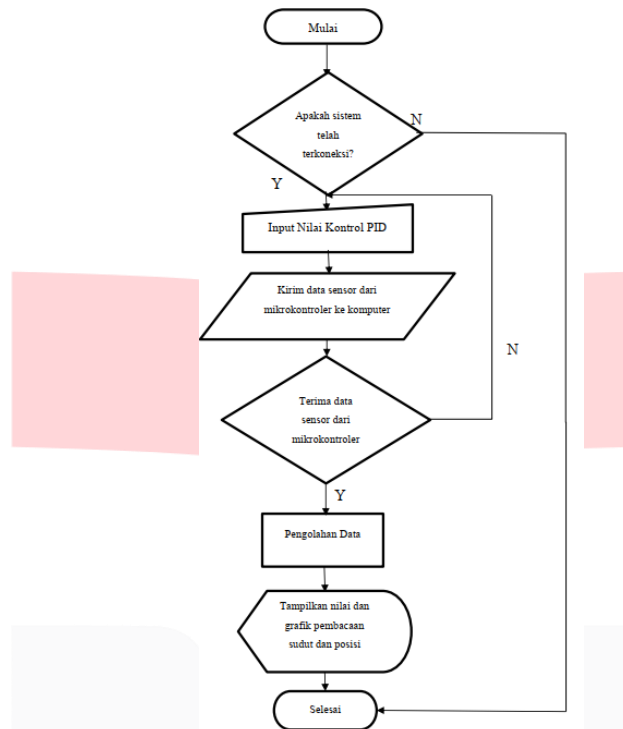


Gambar 2. Diagram Blok Sistem Antarmuka

Berdasarkan diagram blok pada gambar 4, sistem aplikasi yang akan dikembangkan pada penelitian tugas akhir ini berupa suatu sistem aplikasi pemantauan hasil baca sensor *Rotary Encoder*, dimana nantinya sistem aplikasi antarmuka akan menampilkan data hasil pengujian sensor *Rotary Encoder* berupa sudut dan posisi *cart*. Mula – mula sistem akan memperoleh data berupa nilai sudut (proses *swing-up* dan *stabilization*) dan posisi *cart*, data tersebut dikirimkan dari mikrokontroler Arduino Mega 2560

secara serial ke aplikasi antarmuka. Selanjutnya data akan diproses oleh aplikasi yang berbasis Bahasa *Visual Basic*. Setelah diproses, data serial yang telah diterima dari mikrokontroler akan ditampilkan dalam bentuk tampilan angka dan tampilan grafik terhadap waktu.

### 3.1.2 Flowchart



Gambar 3. Flowchart Sistem

Pada gambar 5 merupakan diagram alir yang menunjukkan kerja sistem antarmuka yang akan dirancang pada tugas akhir ini. Prinsip kerja sistem ini adalah sistem akan mengecek apakah alat sudah terkoneksi dengan mikrokontroler atau belum. Jika sudah, selanjutnya sistem memberikan perintah untuk mengirim data posisi sudut yang sudah terukur dari mikrokontroler ke aplikasi antarmuka. Sebaliknya jika sistem antarmuka belum terkoneksi dengan mikrokontroler atau tidak ada perangkat yang terdeteksi oleh aplikasi antarmuka maka sistem akan langsung mengakhiri proses atau selesai. Selanjutnya pada saat proses pengiriman data dari mikrokontroler, jika data berhasil diterima dan dibaca oleh aplikasi maka akan langsung diproses oleh sistem. Jika belum terkirim, sistem akan melakukan proses sebelumnya sampai data berhasil terkirim ke sistem/aplikasi antarmuka. Selanjutnya data tersebut akan diproses oleh sistem dan langsung ditampilkan dalam bentuk nilai dan grafik.

## 3.2 Desain Perangkat Lunak

### 3.2.1 Perangkat Lunak pada Sistem

Pada Tugas Akhir ini digunakan dua perangkat lunak yaitu sebagai berikut:

- Arduino IDE, digunakan dalam mikrokontroler untuk mengolah sekaligus mengirimkan data ke aplikasi antarmuka dan implementasi pada hardware.
- Microsoft Visual Studio, digunakan untuk merancang sistem aplikasi antarmuka yang nantinya akan menampilkan nilai dan grafik hasil pembacaan sudut dan posisi dari sensor *Rotary Encoder*.

### 3.2.2 Perancangan Aplikasi Antarmuka

Pada tugas akhir ini penulis akan menggunakan *software* Microsoft Visual Studio untuk merancang aplikasi antarmuka. Adapun tahap yang dilalui dalam perancangan aplikasi ini adalah sebagai berikut:

- (1) Tahap Analisis Kebutuhan

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap kebutuhan sistem yang akan dirancang. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui proses dan data dari sistem aplikasi antarmuka *inverted pendulum* yang akan dibangun. Penulis menganalisis mulai dari tahap-tahap dalam proses penampilan data sampai pada penampilan data.

#### (2) Tahap Desain

Pada Tugas Akhir ini penulis menggunakan laptop sebagai media untuk menampilkan data, oleh karena itu perlu dirancang antarmuka aplikasi yang dapat memberikan informasi secara tepat dan mudah dipahami oleh pengguna. Dalam merancang antarmuka ini, penulis menggunakan *GUI Windows Forms App (.NET Framework)* dari *Visual Studio*.

#### (3) Tahap Pemrograman (Coding)

Tahap pemrograman ini merupakan tahap dimana dilakukan implementasi dari hasil analisis dan desain tersebut ke dalam bahasa pemrograman, sehingga akan dihasilkan aplikasi sesuai dengan yang telah direncanakan.

Komponen perangkat keras yang digunakan pada sistem ini terdiri dari sensor, mikrokontroler, dan PC/Laptop. Berikut adalah komponen-komponen tersebut:

1. Mikrokontroler : Arduino Mega2560
2. Sensor 1 : Absolute Rotary Encoder
3. Sensor 2 : Incremental Rotary Encoder
4. Laptop/PC : Asus A456UQ

## 4. Pengujian dan Analisis Sistem Aplikasi

### 4.1 Pengujian Sistem

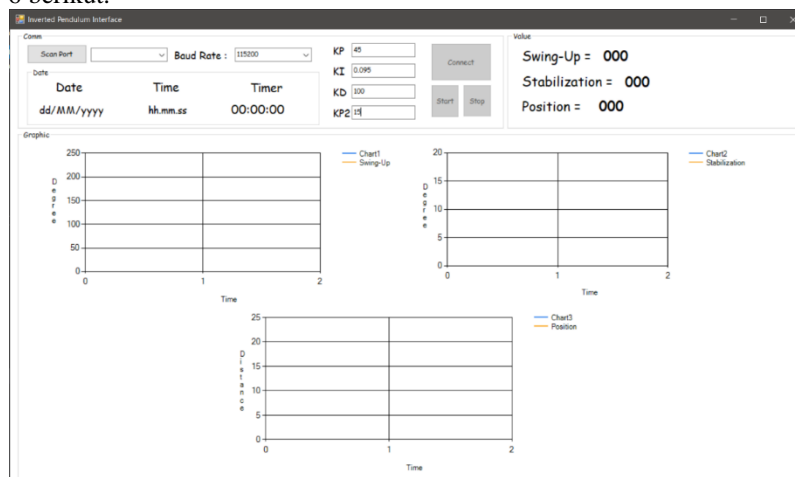
Untuk mengetahui apakah sistem yang telah dirancang pada tugas akhir ini layak atau tidak, maka dilakukan pengujian terhadap sistem yang telah dirancang.

### 4.2 Penjelasan Cara Kerja Sistem *Inverted Pendulum*

Ini bertujuan untuk memberikan edukasi kepada pembaca cara kerja dari sistem *inverted pendulum* secara menyeluruh baik itu dari instrumennya dan juga aplikasi antarmuka.

Mula-mula instrumen pendulum terbalik menerima titik acuan pada sensor *incremental rotary encoder* (membaca posisi cart) yaitu 0 cm (posisi di tengah lintasan) untuk mempertahankan kesetimbangan pada sudut  $0^0$  melalui program yang di-*upload* pada mikrokontroler.

Selanjutnya kita membuka Aplikasi Antarmuka, lalu memasukkan nilai kontrol PID, seperti pada gambar 6 berikut.



Gambar 4. Tampilan Komponen *Group Box Communication*

Nilai kontrol PID tersebut didapat dari penelitian sebelumnya yang berjudul "Perancangan dan Implementasi Pendulum Terbalik Menggunakan Kendali PID" [3]. Setelah nilai kontrol PID dimasukkan maka tekan tombol start pada aplikasi dan sistem akan berjalan (instrument pendulum terbalik akan beroperasi jikalau sudah menerima data dan perintah dari sistem antarmuka). Selanjutnya sistem antarmuka akan menampilkan nilai dan juga grafik dari pembacaan sudut dan posisi yang diperoleh dari sensor.

### 4.3 Pengujian Tingkat Kepuasan Masyarakat terhadap Aplikasi Antarmuka

Pengujian dilakukan penulis menentukan ada 20 responden yang akan dimintai pendapat mengenai aplikasi antarmuka. Penulis akan menunjukkan tampilan awal aplikasi, tampilan aplikasi pada saat menampilkan nilai dan grafik pada saat pengujian. Selanjutnya penulis akan meminta penilaian terhadap aplikasi antarmuka, yaitu antara Puas, Tidak Puas, atau Cukup.

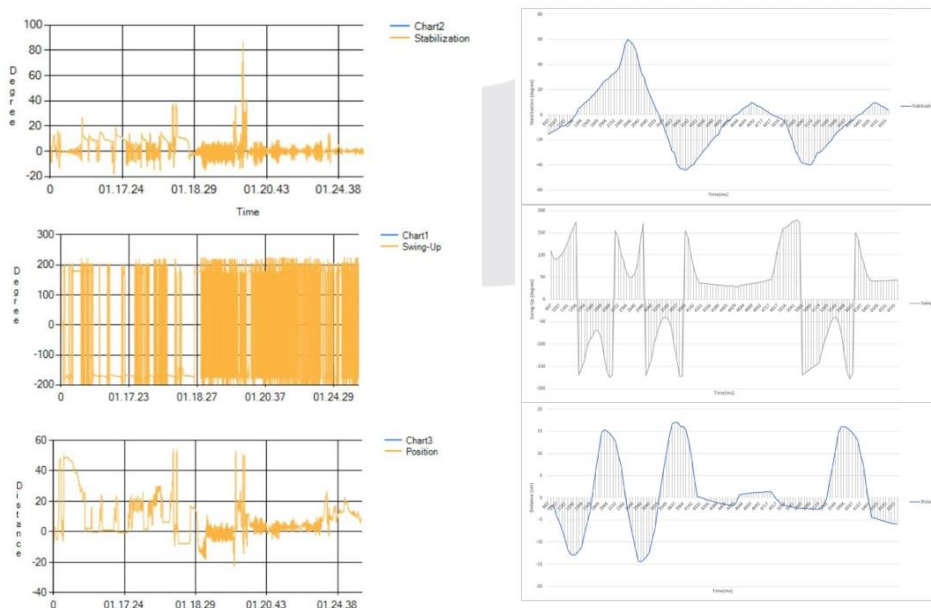


Gambar 5. Grafik Tingkat Kepuasan Terhadap Aplikasi Antarmuka

Hasil yang didapat adalah 15 orang menilai puas terhadap aplikasi antarmuka, 4 orang merasa cukup puas, dan 1 orang tidak puas. Aplikasi antarmuka tersebut juga dinilai sudah informatif dalam menyampaikan informasi nilai dan grafik dari hasil pengukuran. Adapun saran yang diperoleh penulis untuk pengembangan selanjutnya adalah agar aplikasi menampilkan grafik di tab/window yang berbeda supaya nilai dan grafik yang ditampilkan bisa lebih spesifik.

### 4.4 Perbandingan Grafik dengan dan Tanpa GUI

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan sistem pendulum terbalik dengan aplikasi antarmuka dengan media laptop. Selanjutnya dimasukkan terlebih dahulu nilai  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ , dan juga  $K_{p2}$  masing-masing nilainya  $K_p=45$ ;  $K_i=0,095$ ;  $K_d=100$ ;  $K_{p2}=15$ . Pengujian ini dilakukan dua kali, yaitu dengan menggunakan aplikasi antarmuka / GUI dan dengan serial monitor pada Arduino IDE. Lalu hasil pengukuran pada antarmuka direkam atau dicuplik selanjutnya pengujian pada serial monitor diambil data .txt nya dan secara manual dibuat grafiknya, selanjutnya dilihat perbandingannya.



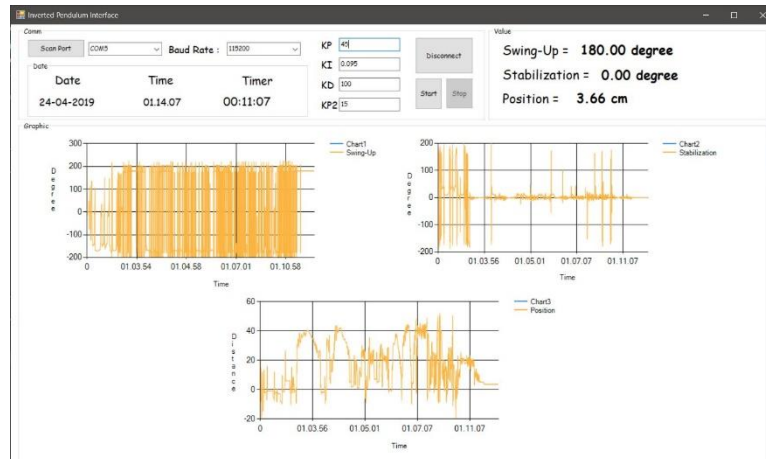
Gambar 6. Grafik Hasil Pengujian Menggunakan a) Visual Studio dan b) Ms. Excel



Berdasarkan data yang telah dicuplik baik pada grafik dan nilai dari hasil pengujian yang dilakukan, persamaan grafik tidak persis sama; itu dikarenakan pengujian dilakukan di waktu yang tidak bersamaan. Jika dilihat lebih teliti pada grafik yang sudah dicuplik terdapat kesamaan pada rentang nilai yang dicapai.

#### 4.5 Pengujian Menampilkan Nilai Grafik dari Pengukuran Sensor *Rotary Encoder*

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan sistem pendulum terbalik dengan aplikasi antarmuka dengan media laptop. Selanjutnya, dilakukan pengujian dengan memperhatikan grafik dan nilai hasil baca sudut dan posisi *cart* mulai dari *swing-up* sampai *stabilization* pada aplikasi antarmuka. Pengujian dilakukan selama 4 menit 56 detik.



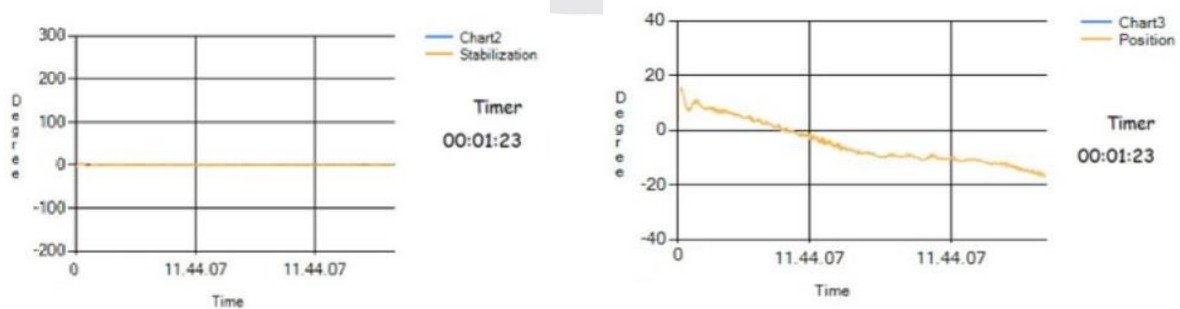
Gambar 7. Tampilan Grafik Proses *Swing-Up* Menuju *Stabilization*

Aplikasi antarmuka berhasil mencatat dan merekam grafik dan nilai hasil dari pengukuran sensor *Rotary Encoder*. Tetapi bisa dilihat pada grafik, sekitar 5 sampai 10 detik aplikasi belum bisa menampilkan grafik hasil bacaan sensor (masih dalam kondisi di nilai 0). Itu dikarenakan antrian data yang banyak pada saat proses *swingup* membuat komunikasi serial sedikit terlambat dalam mengirimkan data, data akan secara cepat terkirim pada saat proses *stabilization*.

#### 4.6 Pengujian Menampilkan Grafik Sistem Tanpa Gangguan dan dengan Gangguan

Sistem ini akan diuji dalam dua kondisi. Kondisi yang pertama yaitu sistem dijalankan tanpa ada gangguan dan kondisi kedua diuji dengan memberikan sentuhan (sinyal impuls) pada batang pendulum. Pada pengujian ini hasil yang diamati yaitu grafik sudut aktual terhadap waktu aktual pada laptop dan grafik posisi *cart* terhadap waktu aktual pada laptop melalui Aplikasi Antarmuka.

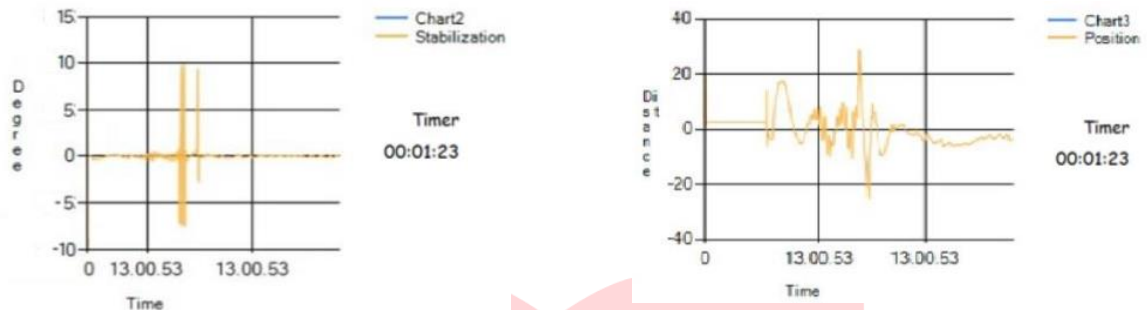
##### - Sistem Tanpa Gangguan



Gambar 8. Respon Sistem & Posisi *Cart* Tanpa Diberi Gangguan

Dari gambar 8 dapat dilihat bahwa respon sistem pendulum terbalik cukup stabil. Sistem pendulum berjalan dengan keluaran mendekati *setpoint* yang diberikan. Kendali posisi *cart* cenderung mempertahankan posisi *cart* berada di tengah. Aplikasi juga dapat menampilkan grafik posisi secara aktual.

#### - Sistem dengan Gangguan Sinyal Impuls



Gambar 9. Respon Sistem & Posisi Cart dengan Gangguan Sinyal Impuls

Grafik pada gambar 9 di atas menunjukkan sistem diberi gangguan yaitu sinyal impuls pada batang pendulum. Sudut simpangan yang terbaca di sekitar -7.50 dan posisi bergeser sejauh 23.45 cm ke arah kiri. Setelah itu sistem mulai berusaha untuk menyeimbangkan pendulum dan mengembalikan posisi *cart*.

## 5. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis didapat kesimpulan dari Tugas Akhir ini sebagai berikut.

1. Aplikasi Antarmuka yang dirancang dapat menerima, mengolah, dan menampilkan data melalui komunikasi serial dari mikrokontroler Arduino Mega2560, sehingga dapat digunakan untuk melakukan monitoring pencapaian sudut dan posisi pada sistem inverted pendulum.
2. Berdasarkan hasil pengujian *Blackbox*, dapat disimpulkan bahwa semua fungsi fitur pada aplikasi dapat berjalan sebagaimana mestinya.
3. Aplikasi dapat menampilkan data berupa nilai sudut pada saat proses *SwingUp* dan *Stabilization* dan nilai posisi *cart* serta grafik dari data pengukuran langsung sensor *Rotary Encoder* melalui komunikasi data serial dengan mikrokontroler Arduino Mega2560.
4. Aplikasi Antarmuka berhasil memasukkan nilai kontrol PID pada saat mulai menjalankan instrument.

## Daftar Pustaka

- [1] I. Conference, "Swing-up Fuzzy Control of an Inverted Pendulum System for Control Education with an Experimental Kit Intelligent Systems and Emotional Engineering Lab. Chungnam National University," Int Conf Control Autom Syst 2008, pp. 1709–1714, 2008.
- [2] K. Sultan, "Inverted Pendulum Analysis, Design, and Implementation," 2003.
- [3] Rachman, Elvandy Ghiffary. "Perancangan Dan Implementasi Pendulum Terbalik Menggunakan Kendali Pid". Bandung. 2018.
- [4] Santoso, Muhammad Dimas Arief. "Perancangan Dan Implementasi Pendulum Terbalik Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy". Bandung. 2018.
- [5] Rizki, Amelia Septiani. "Perancangan Sistem Kendali Untuk Kestabilan Pendulum Terbalik Menggunakan Metode Logika Fuzzy". Bandung. 2018.
- [6] S. Reza Dwi Imami, Aris Triwiyatno, "Desain Kontrol Inverted Pendulum Dengan Metode Kontrol Robust Fuzzy," vol.VOL.2, NO., 2013.
- [7] Mauladi dan Tri Suratno. "Analisis Penentu Antarmuka Terbaik Berdasarkan Eye Tracking Pada Sistem Informasi Akademik Universitas Jambi". Jurnal ISSN : 0852-8349. Jambi. 2016.
- [8] Khairurrizqi, Aris Rahmansyah, Teddy Hendiawan. "Perancangan *Graphical User Interface* "Si Jambe" sebagai media pembelajaran di Jambi". Jurnal ISSN : 2355-9349. Jawa Barat. 2015.