

Rancang Bangun Pengendalian Robot Lengan 4 DOF dengan GUI (*Graphical User Interface*) Berbasis Arduino Uno

Martinus Didi ¹⁾, Elang Derdian Marindani ²⁾, Ade Elbani ³⁾
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura
e-mail: didi.pamera@gmail.com ¹⁾, elangdm@yahoo.co.id ²⁾, adeelbani@yahoo.com ³⁾

ABSTRAK

Teknologi robot mengalami suatu kemajuan yang sangat pesat pada saat ini. Robot yang canggih telah menggantikan peralatan-peralatan manual yang membutuhkan banyak tenaga manusia, salah satunya yaitu penggunaan robot lengan. Robot lengan yang dibuat ini merupakan bagian dari robot dengan skala *prototype* untuk kegiatan praktikum yang dapat menggantikan maupun meringankan kerja manusia secara langsung. Dalam kenyataannya sering didapatkan kendala bagaimana cara mengontrol atau mengendalikan suatu alat dengan mudah untuk dioperasikan. Dalam tugas akhir ini dirancang sebuah robot lengan 4 DOF (*Degree Of Freedom*) yang memiliki sistem yang mudah dikendalikan berupa sistem robot lengan yang secara keseluruhan dikendalikan melalui aplikasi *interface* dengan GUI (*Graphical User Interface*) yang dibangun dengan bahasa pemrograman *Java* pada PC (*Personal Computer*). Mikrokontroler Arduino Uno sebagai pengendali utama yang terkoneksi via USB (*Universal Serial Bus*) dengan PC. Pada komunikasi *interface* antara aplikasi program pengendali dengan mikrokontroler Arduino Uno terjadi proses pengiriman (Tx) dan penerima (Rx) data serial yang berupa data *byte*. Data *byte* yang dikirim oleh *slider* pengendali akan menentukan lebar pulsa sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) pada setiap motor servo sehingga pergerakan robot sesuai dengan pergeseran *slider*. Program aplikasi *slider* pengendali ini memiliki dua *mode*, yaitu *mode* kendali per-*slider* dan *mode* kendali sekaligus kirim.

Berdasarkan hasil pengujian sinkronisasi gerak antara robot lengan dan *slider* pengendali didapatkan hasil bahwa semakin besar nilai derajat pergeseran *slider* maka lebar pulsa sinyal PWM semakin melebar dan tegangan keluaran dari *pin* mikrokontroler Arduino Uno semakin besar dengan nilai rata-rata tegangan yang dihasilkan sebesar 115,03 mV. Robot dalam keadaan *standby* hanya membutuhkan daya sebesar 0,9 Watt dan saat beroperasi membutuhkan daya sebesar 3,94 Watt. Nilai rata-rata sudut dan selisih sudut ideal dengan yang dihasilkan *base* yaitu 97,17° dengan selisih 7,17°, *link* 1 yaitu 73,64° dengan selisih 3,64°, *link* 2 yaitu 90,24° dengan selisih 0,24°, *link* 3 yaitu 96,8° dengan selisih 6,8° dan *end-effector* sesuai perancangan dengan selisih 0. Sudut yang terbentuk dari manipulator robot hanya hampir mendekati sudut yang sebenarnya dikehendaki (sudut ideal) dikarenakan permasalahan dalam perancangan serta pembuatan mekanikanya. Penulis memberikan pembatasan rentang *slider* pengendali agar mekanik robot tidak patah dan menghindari kerusakan pada motor servo. Hasil pengujian menyimpulkan bahwa robot bisa bersinkronisasi dengan aplikasi pengendali serta dapat digunakan dalam kegiatan praktikum.

Kata kunci: robot lengan 4 DOF, mikrokontroler Arduino Uno, Arduino dengan *Java*

1. Latar Belakang

Robot pada awal mulanya berasal dari kata dalam bahasa *Czech*, yakni *robota*, yang mempunyai arti pekerja. Mulai menjadi populer ketika seorang penulis berbangsa *Czech* (Ceko), Karl Capek, membuat pertunjukan dari lakon komedi yang ditulisnya pada tahun 1921 yang berjudul *RUR (Rossum's Universal Robot)*. Definisi awal dari robot dikatakan sebagai segala peralatan otomatis yang dibuat untuk menggantikan fungsi yang selama ini

dilakukan oleh manusia. Namun dalam perkembangan selanjutnya, robot diartikan sebagai manipulator multi fungsional yang dapat diprogram, yang dengan pemrograman itu ditujukan untuk melakukan sesuatu tugas tertentu (Pitowarno, 2006:1).

Perkembangan teknologi robotika telah membuat kualitas kehidupan manusia semakin tinggi. Saat ini perkembangan teknologi robotika telah mampu meningkatkan kualitas maupun kuantitas produksi berbagai pabrik. Teknologi

robotika juga telah menjangkau sisi hiburan dan pendidikan bagi manusia.

Mikrokontroler merupakan otak dalam pengendalian sebuah robot dengan memasukkan bahasa pemrograman kedalamnya sesuai yang dikehendaki perancang. *Minimum system* (sistem minimum) adalah sebuah rangkaian mikrokontroler yang sudah dapat digunakan untuk menjalankan sebuah aplikasi. Untuk membuat sistem minimum paling tidak dibutuhkan sistem *clock* dan *reset*, walaupun pada beberapa mikrokontroler sudah menyediakan sistem *clock internal*, sehingga tanpa rangkaian eksternal pun mikrokontroler sudah beroperasi.

Arduino Uno adalah sebuah *board minimum system* mikrokontroler yang bersifat *open source*. Didalam rangkaian *board* Arduino Uno terdapat mikrokontroler AVR seri ATmega328 yang merupakan produk dari Atmel. Arduino Uno tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi ia adalah kombinasi dari *hardware*, bahasa pemrograman dan IDE (*Integrated Development Environment*) yang canggih. IDE adalah sebuah *software* yang sangat berperan untuk menulis program, meng-*compile* menjadi kode biner dan meng-*upload* ke dalam *memory* mikrokontroler.

Komputer adalah perangkat yang dapat dimanfaatkan untuk memecahkan berbagai masalah atau *general purpose device*. Program dalam komputer diistilahkan sebagai *software* yang memiliki tiga komponen utama yaitu *input*, proses dan *output*. Dalam teknologi komputasi, GUI (*Graphical User Interface*) merupakan jenis program antarmuka pengguna yang menggunakan metoda interaksi pada piranti elektronik secara grafis (bukan perintah teks) antara pengguna dan komputer. Syarat penggunaan GUI yaitu melakukan *input* dan *output* diperlukan adanya interaksi dengan sumber data.

Arm robot (robot lengan) dalam skala *prototype* lebih sering digunakan sebagai penunjang sarana pembelajaran khususnya pada kegiatan praktikum. Untuk itu penulis ingin merancang bangun pengendalian robot lengan 4 DOF dengan GUI (*Graphical User Interface*) berbasis Arduino Uno yang nantinya akan digunakan sebagai penunjang sarana pembelajaran pada kegiatan praktikum di Laboratorium Kendali Digital dan Komputasi Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak.

2. Robot Lengan dan Komponen Pendukungnya

2.1 Robot Lengan

Robot lengan terdiri dari tiga bagian yaitu struktur mekanik (*manipulator*), penggerak dan sistem kontrol. Manipulator adalah susunan *rigid bodies* (benda-benda kaku) dan *link* (lengan) yang satu sama lain terhubung oleh *joint* (sendi). Pangkal lengan dapat dipasang pada kerangka dasar. Sedangkan *end-effector* (ujung lengan) dapat dihubungkan dengan alat tertentu sesuai dengan fungsi robot lengan.

Robot lengan dapat dikontrol dengan menggunakan sensor dan aktuator. Ada beberapa jenis aktuator yaitu aktuator listrik, hidrolik, pneumatik dan piezoelektrik. Masing-masing jenis aktuator memiliki tingkat kendali yang berbeda. Contohnya, aktuator listrik lebih mudah dikendalikan. Aktuator listrik memiliki beberapa kelebihan yaitu akurasi tinggi, torsi yang ideal untuk pergerakan dan tingkat efisiensi yang tinggi.

Derajat kebebasan (*Degree of Freedom*) adalah sambungan pada lengan, dapat dibengkokkan, diputar, maupun digeser. Derajat kebebasan digunakan untuk mengetahui cara robot bergerak, tingkat kerumitan algoritma kendali dan jumlah motor lengan robot yang digunakan. Penentuan jumlah DOF dilakukan berdasarkan jumlah gerakan yang dapat dilakukan oleh atau jumlah aktuator lengan robot.

2.2 Arduino Uno

Arduino Uno adalah *board* berbasis mikrokontroler pada ATmega328. *Board* ini memiliki 14 digital *input/output pin* (dimana 6 pin dapat digunakan sebagai *output PWM*), 6 *input analog*, 16 MHz *osilator* kristal, koneksi USB, *jack* listrik tombol reset. *Pin-pin* ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, hanya terhubung ke komputer dengan kabel USB atau sumber tegangan bisa didapat dari adaptor AC-DC atau baterai untuk menggunakannya.

Board Arduino Uno memiliki fitur-fitur baru sebagai berikut :

- 1,0 *pinout*: tambah SDA dan SCL *pin* yang dekat ke *pin aref* dan dua *pin* baru lainnya ditempatkan dekat ke *pin* RESET, dengan IO REF yang memungkinkan sebagai *buffer* untuk beradaptasi dengan tegangan yang disediakan dari *board* sistem. Pengembangannya, sistem akan lebih kompatibel dengan *Processor* yang

menggunakan AVR yang beroperasi dengan 5V dan dengan Arduino yang beroperasi dengan 3,3V. Yang kedua adalah *pin* tidak terhubung, yang disediakan untuk tujuan pengembangannya.

- *Circuit Reset*



Gambar 2.2. Board Arduino Uno



Gambar 2.3. Kabel USB Board Arduino Uno

Berikut adalah spesifikasi dari Arduino Uno :

Tabel 2.1 Deskripsi Arduino Uno

Mikrokontroler	Atmega328
Operasi Voltage	5V
Input Voltage	7 – 12 V (Rekomendasi)
Input Voltage	6 – 20 V (limits)
I/O	14 pin (6 pin untuk PWM)
Arus	50 mA
Flash Memory	32KB
Bootloader	SRAM 2 KB
EEPROM	1 KB
Kecepatan	16 Mhz

2.3 Mikrokontroler ATmega328

ATmega328 adalah mikrokontroler keluaran dari atmel yang mempunyai arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computing*) yang dimana setiap proses eksekusi data lebih cepat dari pada arsitektur CISC (*Complex Instruction Set Computing*).

Mikrokontroler ini memiliki beberapa fitur antara lain :

- 130 macam instruksi yang hampir semuanya dieksekusi dalam satu siklus *clock*.
- 32 x 8-bit register serba guna.
- Kecepatan mencapai 16 MIPS dengan *clock* 16 MHz.
- 32 KB *Flash memory* dan pada arduino memiliki *bootloader* yang menggunakan 2 KB dari *flash memory* sebagai *bootloader*.

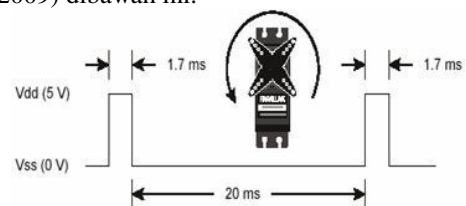
- Memiliki *EEPROM* (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) sebesar 1KB sebagai tempat penyimpanan data semi permanent karena *EEPROM* tetap dapat menyimpan data meskipun catu daya dimatikan.
- Memiliki *SRAM* (*Static Random Access Memory*) sebesar 2KB.
- Memiliki *pin* I/O digital sebanyak 14 *pin* 6 diantaranya PWM (*Pulse Width Modulation*) output.
- *Master / Slave SPI Serial interface*.

Mikrokontroler ATmega328 memiliki arsitektur Harvard, yaitu memisahkan memori untuk kode program dan memori untuk data sehingga dapat memaksimalkan kerja dan *parallelism*.

2.4 Motor Servo

Motor servo adalah motor DC yang memiliki sistem *close loop*. Pada dasarnya motor DC bekerja secara *open loop*, dimana putaran motor yang dihasilkan tidak diketahui kecepatan dan kekuatannya hingga hanya dapat digunakan pada sistem yang mencari arah perputaran dan bukan penempatan posisi. Motor servo mempunyai keluaran sebuah poros dengan torsi besar. Poros ini dapat dikontrol melalui modulasi lebar pulsa. Poros dapat diatur untuk bertahan pada posisi tertentu, berputar *clock wise* atau *counter clock wise*.

Motor servo terdiri dari servo *continuous* dan servo standar. Motor servo *continuous* dapat berputar 360°, sedangkan servo standar dapat berputar 180°. Berikut ini adalah gambar pengaturan lebar pulsa yang diberikan pada servo standar yang dapat dilihat pada Gambar 2.7 (anonim, 2009) dibawah ini.



Gambar 2.7 Kontrol Motor dengan PWM.

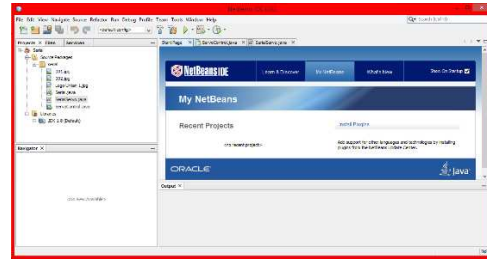
2.5 USB (Universal Serial Bus)

USB merupakan *port* masukan/keluaran baru yang dibuat untuk mengatasi kekurangan-kekurangan *port* serial maupun paralel yang sudah ada. USB dibuat dengan kelebihan-kelebihan sebagai berikut :

1. *Hot-plugable*, yang berarti piranti masukan/keluaran yang menggunakan USB dapat ditambahkan ketika PC menyala.
2. Mudah digunakan karena piranti masukan/keluaran yang terpasang dikenali oleh PC menggunakan *driver* yang sesuai kemudian konfigurasinya akan dikerjakan secara otomatis.
3. Semua piranti dipasang menggunakan satu tipe konektor.
4. Kecepatan USB sangat tinggi, dapat mencapai 12 Mbps (untuk USB Rev 1.1, yang digunakan pada Tugas Akhir ini) yang tentunya jauh lebih cepat dibanding *port* serial dan paralel yang ada saat ini.
5. Jumlah piranti yang dapat dipasang pada 1 PC mencapai 127 piranti (dengan bantuan hub yang dapat dipasang sampai 5 tingkat), suatu batasan yang sangat tinggi untuk ekspansi piranti masukan/keluaran.
6. Piranti dengan USB dapat menggunakan catu daya dari PC (untuk penggunaan arus tidak lebih dari 500mA) sehingga tidak membutuhkan tambahan catu daya luar.
7. Hemat listrik karena piranti dapat mati secara otomatis apabila tidak digunakan (PC dalam keadaan *suspend*).
8. Adanya deteksi dan pemulihan kesalahan yang handal. Kesalahan data dideteksi dan transaksi diulang lagi untuk memastikan data terkirim/diterima dengan benar.
9. Merupakan piranti eksternal PC sehingga tidak perlu membuka kotak PC atau merancang suatu kartu antarmuka dalam penggunaan piranti masukan/keluaran dengan USB.

2.6 NetBeans

Netbeans adalah salah satu aplikasi IDE yang digunakan programmer untuk menulis, meng-*compile*, mencari kesalahan, dan menyebarkan program. *Netbeans* ditulis dalam bahasa Java namun dapat juga mendukung bahasa pemrograman lain. *NetBeans* yang digunakan pada penulisan ini adalah *NetBeans* IDE 7.3.1 seperti tampak pada Gambar 2.14.



Gambar 2.15 Tampilan Aplikasi *NetBeans* IDE 8.0.2

Fitur-fitur yang terdapat pada program *Netbeans*, antara lain :

- *Smart code completion* : mengusulkan nama variable dari suatu tipe, melengkapi *keyword*, dan mengusulkan tipe parameter dari *method*.
- Menggunakan *code generator* : dengan menggunakan fitur ini kita dapat meng-generate *constructor*, *setter* dan *getter method*, dan lain-lain.
- *Error stripe* : fitur yang menandai baris yang *error* dengan meng-highlight merah.
- *Bookmarking* : fitur yang digunakan untuk menandai baris yang suatu saat hendak kita modifikasi.
- *Go to commands* : fitur yang digunakan untuk *jump* ke deklarasi *variable*, *source code* atau file yang ada pada *project* yang sama.

2.7 Java

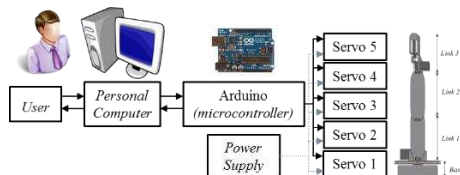
Java adalah suatu teknologi di dunia *software* komputer, yang merupakan suatu bahasa pemrograman, dan sekaligus suatu *platform*. Sebagai bahasa pemrograman, *Java* dikenal sebagai bahasa pemrograman tingkat tinggi. *Java* mudah dipelajari, terutama bagi programmer yang telah mengenal *C/C++*. *Java* merupakan bahasa pemrograman berorientasi objek yang merupakan paradigma pemrograman masa depan. Sebagai bahasa pemrograman *Java* dirancang menjadi handal dan aman. *Java* juga dirancang agar dapat dijalankan di semua *platform*. Dan juga dirancang untuk menghasilkan aplikasi-aplikasi dengan performansi yang terbaik, seperti aplikasi *database* Oracle 8i/9i yang *core*-nya dibangun menggunakan bahasa pemrograman *Java*. Sedangkan *Java* bersifat *neutral architecture*, karena *Java Compiler* yang digunakan untuk mengkompilasi kode program *Java* dirancang untuk menghasilkan kode yang netral terhadap semua arsitektur perangkat keras yang disebut sebagai *Java Bytecode*.

3. Perancangan Sistem Pengendalian Robot Lengan 4 DOF dengan GUI (Graphical User Interface) Berbasis Arduino Uno

3.1 Perancangan Sistem

Cara kerja robot lengan yang akan dirancang ini adalah sistem kendali sebuah robot lengan oleh mikrokontroler Arduino dimana data mengenai pergerakannya dikirim dari aplikasi pada komputer yang dikembangkan dengan bahasa pemrograman *Java*. Aplikasi pada komputer akan mengirim sekaligus menerima data berupa *byte* melalui komunikasi USB ke mikrokontroler Arduino Uno. Mikrokontroler Arduino Uno akan memproses data ini untuk mengendalikan robot lengan melalui motor servo sebagai aktuatornya sehingga dapat bergerak sesuai dengan *slider* pengendali yang digeser pada aplikasi di komputer.

Untuk memahami cara kerja sistem, maka dibuat blok sistem dari perancangan robot yang dibuat. Gambar 3.1 merupakan gambar blok sistem perancangan Pengendalian Robot Lengan 4 DOF dengan GUI (Graphical User Interface) Berbasis Arduino Uno. Sistem ini dibagi menjadi dua bagian yaitu perancangan *hardware* dan perancangan *software*.



Gambar 3.1 Blok Sistem Robot Lengan

Gambar 3.1 memperlihatkan bahwa untuk menunjang sistem kerja robot lengan dibutuhkan beberapa bagian-bagian dari blok subsistem, dimana bagian-bagian blok subsistem memiliki fungsi yang berbeda tetapi saling berkaitan antara satu dan lainnya. Penjelasan diagram blok pada subsistem *hardware* dari perancangan Pengendalian Robot Lengan 4 DOF dengan GUI (Graphical User Interface) Berbasis Arduino Uno adalah sebagai berikut :

1. Bagian PC (Personal Computer)

Merupakan perangkat yang digunakan untuk mengirim dan menerima data berupa *byte* melalui aplikasi pengendali yang dirancang. Bagian ini membutuhkan *port* USB untuk terhubung ke bagian sistem. Sistem

Operasi yang digunakan pada komputer adalah OS *windows*.

2. Bagian Mikrokontroler

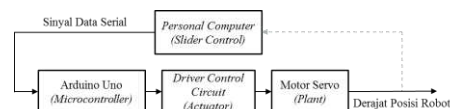
Bagian ini berfungsi sebagai pusat kendali dari seluruh sistem yang ada karena kode program utama terletak pada bagian ini. Merupakan bagian kontroler, semua data-data *byte* yang dikirim melalui USB akan dibaca oleh kode-kode program dan disimpan di dalam EEPROM mikrokontroler Arduino Uno. Mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler seri ATmega328 dengan kapasitas *flash memory* sebesar 32 Kbyte.

3. Bagian Robot Lengan

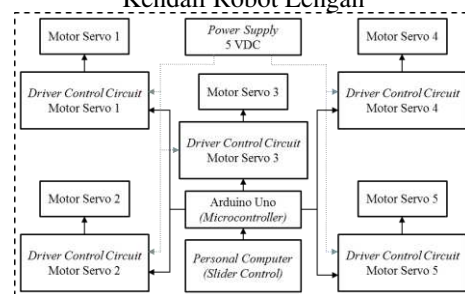
Merupakan *prototype* manipulator mekanik yang terdiri dari empat *joint* dan satu *end-effector*, dimana setiap *joint* dihubungkan oleh *link* yang dicetak dari bahan *acrylic*. Dimana aktuator robot lengan menggunakan motor servo sebagai penggerak sendi-sendi robot yang berada di setiap *joint* dan *end-effector*.

4. Bagian Power Supply

Merupakan sumber tegangan DC yang berfungsi untuk menyuplai atau memberikan tegangan dan arus pada setiap motor servo. Adapun tegangan yang diberikan adalah sebesar 5 volt. *Power supply* yang diperlukan untuk mikrokontroler Arduino Uno cukup dari *port* USB pada komputer yaitu sebesar 5 volt.



Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem Kendali Robot Lengan

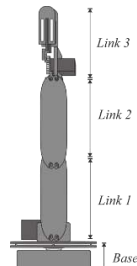


Gambar 3.3 Diagram Blok Sistem Robot Lengan

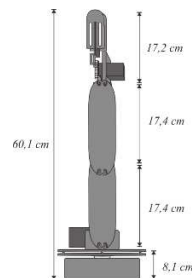
3.2 Perancangan Sistem Hardware

Perancangan model *prototype* manipulator robot lengan berbentuk *articulated joint* atau *Elbow Manipulator*

adalah mempunyai model mekanik yang sederhana, reliable dan relatif mudah di implementasikan serta dapat menduduki ruangan yang terbatas karena bentuknya yang ringkas. Sistem dirancang dengan empat derajat kebebasan dan satu *end-effector* seperti tampak pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Link Robot Lengan yang Dirancang



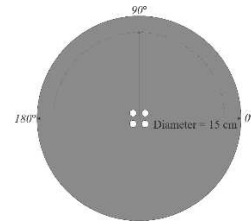
Gambar 3.6 Ukuran Tinggi Robot Lengan yang Dirancang

Tinggi dari dasar *base* ke *joint 2* yaitu 8,1 cm, *link 1* dan *link 2* yaitu 17,4 cm dan panjang *end-effector* yaitu 17,2 cm. Jadi, total tinggi robot lengan ini adalah 60,1 cm. Robot lengan ini memiliki 4 (empat) DOF (derajat kebebasan) dan tersusun atas lima buah servo yang memiliki torsi yang berbeda-beda, yakni satu buah servo dengan torsi 13 kg (GWS S04 BBM), satu buah servo dengan torsi 19,8 kg (HS-805BB⁺), satu buah servo dengan torsi 4,39 kg (HS-475HB), satu buah servo dengan torsi 7,7 kg (HS-645MG), dan satu buah servo dengan torsi 3,31 kg (HS-422).

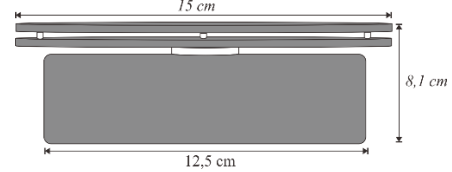
Berikut ini adalah table *workspace* robot lengan pada skripsi ini.

Tabel 3.1 *Workspace* Perancangan Robot Lengan 4 DOF

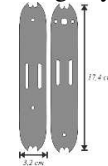
Link - n	Minimal	Maksimal	Range
Base	0°	180°	180°
Link 1	0°	120°	120°
Link 2	0°	180°	180°
Link 3	0°	180°	180°
Grip end-effector	0,5 cm	6 cm	5,5 cm



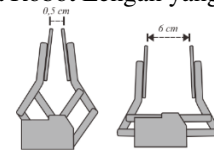
Gambar 3.7 Desain *Base* pada Bagian Robot Lengan yang Dirancang



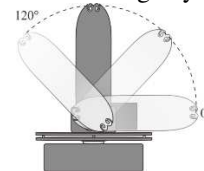
Gambar 3.8 Bagian *Base* Atas dan *Base* Bawah Robot Lengan yang Dirancang



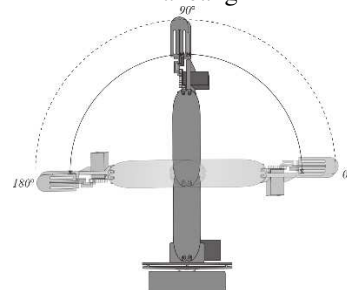
Gambar 3.9 Ukuran Panjang dan Lebar Link pada Robot Lengan yang Dirancang



Gambar 3.10 Range Jarak Buka dan Tutup Gripper pada Robot Lengan yang Dirancang



Gambar 3.11 Range Sudut Pergerakan untuk Link 1 pada Robot Lengan yang Dirancang



Gambar 3.12 Range Sudut Pergerakan untuk Link 2 pada Robot Lengan yang Dirancang

3.3 Perancangan Sistem Software

3.3.1 Perancangan Tampilan Program Interface

NetBeans merupakan aplikasi yang digunakan di dalam pembuatan aplikasi pengendali robot lengan. Aplikasi *NetBeans* yang dibuat juga berfungsi untuk mengirim dan menerima data berupa konversi antara data *byte* dengan derajat posisi motor servo. *Netbeans* berdasarkan bahasa pemrograman *Java* yang berbasis visual dan *even-driven*. *Netbeans* mencakup *compiler*, *builder* dan *debugger* internal. Hal ini memudahkan proses pasca perancangan program. Proses *deployment* atau tes dapat dilakukan dengan *Netbeans* J2SE, J2EE, J2ME di *Netbeans*. Pada Gambar 3.16 merupakan tampilan aplikasi yang dibuat oleh penulis menggunakan aplikasi *NetBeans*.



Gambar 3.16 Tampilan Interface Pengendali Robot Lengan 4 DOF.

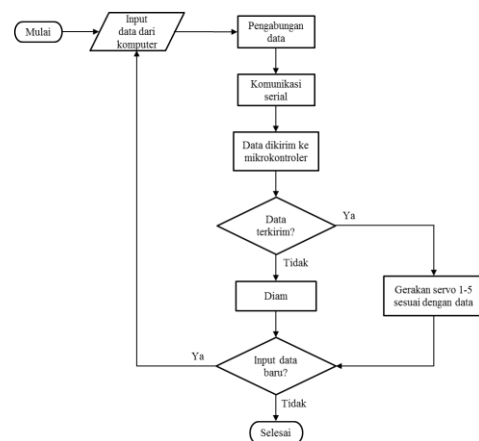
Pada perancangan tampilan program *interface* disediakan beberapa tombol pendukung yang memiliki fungsi masing-masing, yaitu :

- Tombol *Search and Connect*, berfungsi untuk mendeteksi dan terhubung dengan COM port yang digunakan mikrokontroler Arduino Uno agar program aplikasi dapat bekerja.
- Kotak *Slide*, berfungsi untuk memilih antara dua *mode* yang disediakan dalam program aplikasi ini yaitu *mode* kendali per-*slider* dan *mode* kendali sekaligus kirim.
- *Slider* servo – n, berfungsi sebagai pengendali setiap servo – n yang berada pada mekanik robot.
- Tombol *Kirim*, berfungsi jika *mode* kendali sekaligus kirim diaktifkan agar pengaturan setiap *slider* pengendali dapat dikirimkan ke mikrokontroler Arduino secara bersamaan dan dieksekusi sehingga robot dapat bergerak sesuai dengan kehendak *user*.

- Tombol *Exit*, berfungsi untuk pemberhenti sistem secara keseluruhan, digunakan jika *user* ingin menutup program aplikasi pengendali robot.

3.3.2 Perancangan Kode Program Arduino Uno

Selain merancang aplikasi pengirim data menggunakan *NetBeans* juga dirancang kode program untuk Arduino Uno yang merupakan otak dari keseluruhan sistem yang dibuat. Berikut ini adalah diagram alir dari program Mikrokontroler secara keseluruhan.



Gambar 3.17 Diagram Alir Pemrograman Pengendali Robot Lengan

4. Pengujian dan Analisis

4.1 Pengujian Sistem Minimum

Pada komunikasi *interface* antara aplikasi program pengendali dengan mikrokontroler Arduino Uno terjadi proses pengiriman (Tx) dan penerima (Rx) data serial yang berupa data *byte*. Dalam pengujian ini dapat diketahui respon keluaran terhadap masukan yang diberikan pada sistem minimum dengan cara menghubungkan *probe* positif osiloskop dengan *pin* keluaran digital (PWM) dan *probe* negatif dengan *ground* pada mikrokontroler Arduino Uno.

Untuk mengetahui tegangan keluaran yang diberikan pada sistem minimum mikrokontroler Arduino Uno dengan cara menghubungkan *probe* positif multimeter digital dengan *pin* keluaran digital (PWM) dan *probe* negatif dengan *ground*. Pengujian dilakukan pada proses pengiriman data serial menggunakan alat ukur multimeter digital.

Tabel 4.1 Data Pengujian Tegangan dari *Pin* Keluaran Mikrokontroler Arduino.

Derajat pergeseran <i>slider</i>	Tegangan pada <i>pin</i> keluaran Arduino (<i>pin 5, pin 6, pin 9, pin 10 dan pin 11</i>)
0°	51,7 mV
10°	58,8 mV
20°	65,8 mV
30°	73,0 mV
40°	80,0 mV
50°	87,0 mV
60°	94,0 mV
70°	100,9 mV
80°	107,8 mV
90°	114,7 mV
100°	122,2 mV
110°	129,3 mV
120°	136,4 mV
130°	142,6 mV
140°	149,6 mV
150°	157,1 mV
160°	164,5 mV
170°	171,6 mV
180°	178,5 mV

4.2 Pengujian Arus pada Servo

Motor servo dapat bekerja pada rentang 4VDC – 6VDC sesuai dengan spesifikasi motor tersebut. Dalam pengujian ini dapat diketahui arus yang mengalir pada motor servo dengan cara menghubungkan *probe* positif multimeter digital dengan *pin* masukan tegangan pada motor servo dan *probe* negatif dengan sumber tegangan. Pengujian dilakukan pada proses pengiriman data serial menggunakan alat ukur multimeter digital.

Tabel 4.2 Data Pengujian Arus yang Mengalir pada Servo.

	Servo 1	Servo 2	Servo 3	Servo 4	Servo 5
Arus minimal saat <i>standby</i>	0,19 A	0,19 A	0,19 A	0,19 A	0,19 A
Arus maksimal saat robot bergerak	0,64 A	1,14 A	1,28 A	0,63 A	0,25 A

Dari hasil pengukuran arus yang mengalir pada servo maka dapat diketahui daya saat robot *standby* dan saat robot beroperasi dengan rumus :

$$P_{standby} = I.V$$

$$= 0,19 \text{ A} \times 5 \text{ V}$$

$$= 0,95 \text{ Watt}$$

dan

$$P_{operasi} = I.V$$

$$= 0,788 \text{ A} \times 5 \text{ V}$$

$$= 3,94 \text{ Watt}$$

4.3 Pengujian Sudut Pergerakan Robot

Pengujian sudut pergerakan robot dilakukan dengan cara menggeser *slider* pengendali pada aplikasi kemudian mengukur sudut yang terbentuk dari titik awal dan akhir posisi *end-effector* menggunakan busur derajat.

Tabel 4.3 Data Mengenai Rentang *Slider* Pengendali.

<i>Slider servo – n</i>	Rentang pergeseran
<i>Slider servo 1</i>	10° – 180°
<i>Slider servo 2</i>	30° – 120°
<i>Slider servo 3</i>	0° – 180°
<i>Slider servo 4</i>	0° – 180°
<i>Slider servo 5</i>	0° – 55°

Tabel 4.4 Data Mengenai Rentang Sudut *Slider* Pengendali dan Data *Byte*.

<i>Slider pengendali</i>	Data byte
0° – 127°	0 – 127
128° – 180°	-128 – -76

Tabel 4.5 Data Pengukuran Sudut Pergerakan Robot.

Link – n	Sudut Ideal				Sudut Robot				Sedikit			
	(a)	(b)	(c)	(d)	(a)	(b)	(c)	(d)	(a)	(b)	(c)	(d)
Base	0°	90°	180°	10°	90,5°	190,6°	10°	10,5°	0°	10°	10,5°	10,5°
Link – 1	0°	90°	180°	0°	90,4°	180,5°	0°	0,4°	0,4°	10,5°	10,5°	10,5°
Link – 2	0°	90°	180°	0°	90,2°	180,5°	0°	0,2°	0,2°	0,5°	0,5°	0,5°
Link – 3	0°	90°	180°	0°	100,4°	190°	0°	10,4°	10,4°	10°	10°	10°
End-effector	temp	tidak	tidak	temp	tidak	tidak	tidak	0	0	0	0	0
	0,5 cm	0,5 cm	0,5 cm	0,5 cm	0,5 cm	0,5 cm	0,5 cm	0,5 cm	0,5 cm	0,5 cm	0,5 cm	0,5 cm

4.4 Pengujian Waktu Tempuh Pergerakan Robot

Untuk melakukan pengujian waktu tempuh pergerakan robot, dilakukan dengan cara menggeser *slider* pengendali kemudian meng-klik tombol kirim pada aplikasi setelah itu mengukur waktu tempuh yang diperlukan robot dari titik awal dan akhir posisi *end-effector* menggunakan *stopwatch*.

Tabel 4.6 Data Pengujian Waktu Tempuh Pergerakan Robot.

Servo – n	Waktu tempuh (0° – 180°)	Waktu tempuh (180° – 0°)
	tempuh	tempuh
Servo 1	1,17 detik	1,23 detik

Servo 2	1,71 detik	1,84 detik
Servo 3	2,18 detik	2,22 detik
Servo 4	2,57 detik	2,51 detik
Servo 5	2,47 detik	2,47 detik

4.5 Analisa Program Java untuk GUI (Graphical User Interface)

Sistem kendali robot lengan 4 DOF yang dibangun dalam proyek tugas akhir ini adalah sebuah program dengan GUI (Graphical User Interface) sebagai pengendali pergerakan robot secara keseluruhan. Tampilan *interface* yang dibangun dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Tampilan Interface Pengendali Robot Lengan 4 DOF.

Tabel 4.7 Hubungan Antara Slider Pengendali dan Letak Posisi Servo.

Slider servo – n	Servo – n	Letak posisi servo
Slider servo 1	Servo 1	Base
Slider servo 2	Servo 2	Link 1
Slider servo 3	Servo 3	Link 2
Slider servo 4	Servo 4	Link 3
Slider servo 5	Servo 5	End-effector

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan pengamatan yang telah dilakukan, maka ditarik beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Robot lengan 4 DOF yang dibuat dapat bekerja dengan baik.
2. Program aplikasi *slider* pengendali dengan GUI (Graphical User Interface) sebagai pengendali robot yang dibangun dengan bahasa pemrograman Java dapat bekerja dengan baik dan dapat dioperasikan pada OS Windows.
3. Komunikasi *interface* antara aplikasi program pengendali dengan mikrokontroler Arduino Uno terjadi proses pengiriman (Tx) dan penerima (Rx) data serial yang berupa data *byte*.

4. Semakin besar nilai derajat pergeseran *slider* pengendali maka tegangan dari *pin* keluaran mikrokontroler Arduino Uno semakin besar. Nilai rata-rata tegangan yang dihasilkan yaitu 115,03 mV.
5. Robot dalam keadaan *standby* hanya membutuhkan daya sebesar 0,95 Watt dan saat beroperasi membutuhkan daya sebesar 3,94 Watt.
6. Bahan yang digunakan sebagai mekanik robot yaitu bahan *acrylic*.
7. Pembatasan rentang *slider* pengendali agar mekanik tidak patah dan tidak merusak motor servo.
8. Sudut yang terbentuk dari manipulator robot hanya hampir mendekati sudut yang sebenarnya dikehendaki dikarenakan permasalahan dalam perancangan serta pembuatan mekaniknya. Hal ini tidak berhubungan dengan permasalahan pemrograman. Nilai rata-rata sudut dan selisih sudut ideal dengan yang dihasilkan yaitu :

- $Base = 97,17^\circ$ dengan selisih

$7,17^\circ$.
- $Link 1 = 73,64^\circ$ dengan selisih

$3,64^\circ$.
- $Link 2 = 90,24^\circ$ dengan selisih

$0,24^\circ$.
- $Link 3 = 96,8^\circ$ dengan selisih

$6,8^\circ$.
- $End-effector =$ sesuai perancangan

- dengan selisih 0.
9. Gerakan robot hampir sempurna walaupun sedikit goyang dan kurang presisi dikarenakan permasalahan dalam perancangan serta pembuatan mekaniknya. Hal ini tidak berhubungan dengan permasalahan pemrograman.
 10. Bahasa pemrograman yang digunakan untuk *coding* Arduino Uno menggunakan bahasa C yang lebih mudah dipahami.
 11. *Input* dan *output* yang dihasilkan dari alat yang dibuat yaitu *input* berupa tegangan dan arus listrik yang diproses sehingga *output* berupa gerakan robot dari putaran motor servo.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk pengembangan Robot Lengan 4 DOF

dengan GUI (*Graphical User Interface*)

Berbasis Arduino Uno adalah :

1. Pembuatan mekanik robot dapat dibangun dengan menggunakan bahan yang lebih kuat dan tebal agar robot lebih kokoh serta dapat bergerak lebih leluasa.
2. Pembuatan mekanik robot yang lebih presisi agar mencapai sudut yang benar-benar sesuai dengan yang diharapkan.
3. Penambahan sensor pada robot agar robot dapat dioperasikan dengan *mode* otomatis.
4. Menambahkan fitur-fitur tambahan pada program aplikasi *interface*, misalnya penambahan tombol *Save* agar robot dapat menyimpan gerakan secara keseluruhan kemudian mengerjakannya hanya dengan satu kali perintah tombol Kirim supaya kinerja robot sebagai sarana pembelajaran dapat lebih berkembang.
5. Penggunaan torsi motor servo yang tepat agar mampu mencapai tujuan tanpa kendala.
6. Menambahkan satu DOF (derajat kebebasan) pada bagian *end-effector* agar dapat melakukan gerakan berputar untuk memudahkan gripper mengambil objek dalam posisi miring atau horizontal.

6. Daftar Pustaka

- Pitowarno, Endra. 2006, *Robotika : Disain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta: PT Andi Offset.
- Banzi Massimo. 2009, *Getting Started with Arduino*, First Edition. Published by Make:Books, an imprint of Maker Media, a division of O'reilly Media, Inc.
- McRoberts, Michael. 2010. *Beginning Arduino*. New York: Apress.
- Winoto, Ardi 2008, *Mikrokontroler AVR ATmega8/16/32/8535 dan Pemrogramannya dengan Bahasa C pada WinAVR*, Informatika, Bandung.
- Hariyanto, Bambang 2003, *Esensi-esensi Bahasa Pemrograman Java*, Informatika, Bandung.
- Anonim, 2015, *Creating a GUI with JFC Swing*, Sun Microsystems, Inc. <http://java.sun.com/docs/books/tutorial/uiswing/index.html>
Akses 12 Januari 2015, 20.17 WIB.
- Nelwan, Andi 2012, *Teknik Rancang Bangun Robot*, Yogyakarta: Andi Yogyakarta.
- Djuandi, Feri 2011, *Pengenalan Arduino*, E-book. www.tokobuku.com, Juli 2011
- Pradipta, A.R 2013, *Robot Lengan Penyortir Objek Berdasarkan Warna pada Pabrik Cat Menggunakan Arduino Uno*. Skripsi Jurusan Sistem Komputer, Universitas Gunadarma.
- Saputro, O.B. 2014, *Pengembangan Trainer Robot Lengan Menggunakan Kontrol Jarak Jauh Berbasis Arduino sebagai Pendukung Praktikum Robotika di Jurusan Teknik Elektro UM*. Skripsi Jurusan Teknik Elektro, Universitas Negeri Malang.
- Ikhsan, Danu 2014, *Rancang Bangun Sistem Kendali Lengan Robot Arm Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis Mikrokontroler Arduino*. Skripsi Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pamulang.
- Kurniawan, H.R. 2014, *Prototype Pengontrolan Teropong Traffic Manajemen Menggunakan Lengan Robot Berbasis Mikrokontroler*. Skripsi Jurusan Teknik Elektro, Universitas Maritime Raja Ali Haji.
- Yusrizal, Muhammad 2014, *Prototype Lengan Robot Pencapit pada Mobil Pengangkut Barang Berbasis Arduino*. Skripsi Jurusan Sistem Komputer, Universitas Gunadarma.
- Perbowo, K.A. 2015, *Lengan Robot Bermain Keyboard Menggunakan Lima Jari Dalam Satu Oktav Nada Mayor Dengan Kendali Keypad*. Skripsi Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sanata Dharma.
- Atmel Corporation. 2009, Oktober. *ATMega48PA/88PA/168PA/328P*. September 21, 2015. <http://www.atmel.com/Images/doc8161.pdf>
- Budiharto, Widodo., dan Purwanto, Djoko. 2012. *Robot Vision- Teknik Membangun Robot Cerdas Masa Depan*. Jakarta: C.V Andi Offset.

BIODATA PENULIS



Nama : Martinus Didi
 Tempat/Tanggal Lahir : Samalantan/01 Maret 1990
 Alamat : Dsn. Kincir RT 002/RW 001 Ds. Samalantan Kec. Samalantan
 Kab. Bengkayang Prov. Kalimantan Barat
 Telepon/Hp : 0896 765 72316/0812 532 31316
 Hobi : Musik serta Mempelajari Ilmu Komputer dan Informatika
 Motto : Bukan berarti jika tidak menyerah Kau akan berhasil, tapi jika Kau menyerah maka tidak ada lagi yang tersisa.

Riwayat Pendidikan :

- SDN 01 Samalantan Kabupaten Bengkayang Tahun 1996 – 2002
- SLTPN 01 Samalantan Kabupaten Bengkayang Tahun 2002 – 2005
- SMKN 01 Singkawang Kota Madya Singkawang Tahun 2005 – 2008
- Universitas Tanjungpura-UNTAN Tahun 2008 – 2015

Penulis merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis telah mengikuti Sidang Akhir pada tanggal 16 Oktober 2015, sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST).

Mengetahui,

Pembimbing Utama

Elang Dirdian Marindani, ST, MT.

NIP. 19720301 199802 1 001

Pembimbing Pendamping

Drs. Ade Elbani, MT.

NIP. 19630522 199502 1 001