



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

RANCANG BANGUN PROTOTYPE PELONTAR PELURU ELEKTROMAGNETIK

Luhung Gra Hawys
NRP. 2214105053

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Hendra Kusuma, M.Eng.Sc
Suwito, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 2017



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

RANCANG BANGUN PROTOTIPE PELONTAR PELURU ELETROMAGNETIK

Luhung Gra Hawys
NRP 2214105053

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Hendra Kusuma, M.Eng.SC
Suwito, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

***BUILD AND DESIGN THE PROTOTYPE OF
ELECTROMAGNETIC PROJECTILE LAUNCHER***

Luhung Gra Hawys
NRP 2214105053

Advisor

Dr. Ir. Hendra Kusuma, M.Eng.SC
Suwito, ST., MT.

*ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017*

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Rancang Bangun Prototipe Peluncur Proyektil Elektromagnetik**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017

Luhung Gra Hawys
NRP. 2214105053

**RANCANG BANGUN PROTOTIPE PELUNCUR PROYEKTIL
ELEKTROMAGNETIK**

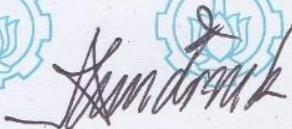
TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Pada
Bidang Studi Elektronika
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

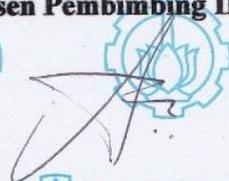
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Dr. Ir. Hendra Kusuma, M.Eng.Sc.
NIP. 1964 09 02 1989 03 1003

Dosen Pembimbing II



Suwito, ST., MT.
NIP. 1981 01 05 2005 01 1004



RANCANG BANGUN PROTOTIPE PELUNCUR PROYEKTIL ELEKTROMAGNETIK

Nama : Luhung Gra Hawys
Dosen Pembimbing 1 : Dr. Ir. Hendra Kusuma, M.Eng.Sc
Dosen Pembimbing 2 : Suwito, ST., MT

ABSTRAK

Pada peluncur proyektil konvensional digunakan konsep pneumatik dan hidrolis pada mesin yang dipakai. Hal ini menyebabkan terjadinya efek panas dan getaran sehingga mesin akan membutuhkan tenaga yang besar dalam meluncurkan proyektil.

Pada Penelitian di implementasikan peluncur proyektil berdasarkan prinsip peluncur elektromagnetik / *Electromagnetic Launcher* (EML), dimana akselerator proyektil terdiri dari satu atau lebih kumparan yang digunakan sebagai elektromagnetik dan berfungsi untuk mempercepat lontaran proyektil. Tegangan masukan peluncur elektromagnetik ini sebesar 4,5 Volt kemudian diberi pengali tegangan, sehingga *uotput* yang dihasilkan bertegangan tinggi yaitu mampu sampai sebesar 600 Volt dan dapat meluncurkan proyektil.

Berdasarkan hasil pengujian peluncur elektromagnetik yang dibuat mampu menembakkan proyektil dengan jarak lontar terdekat sejauh 200 centimeter saat tegangan kapasitor sebesar 200 Volt dengan waktu *charging* kapasitor selama 1.12 menit. Jarak lontar terjauh adalah 1.500 centimeter saat tegangan kapasitor sebesar 600 Volt. Adapun waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tegangan kapasitor sebesar 600V adalah selama 2.30 Menit

Kata Kunci: Peluncur Elektromagnetik, Kumparan, Pengali Tegangan, Proyektil

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

***BUILD AND DESIGN THE PROTOTYPE OF
ELECTROMAGNETIC PROJECTIL LAUNCHER***

Name : **Luhung Gra Hawys**
1st Advisor : **Dr. Ir. Hendra Kusuma, M.Eng.Sc**
2nd Advisor : **Suwito, ST., MT**

ABSTRACT

On conventional way, projectile launchers are used with the concept of pneumatic and hydraulic to the machines that are being used. It will give the effect of heat and vibration so that the engine will need more energy in launching projectiles.

In this research, the projectile launcher is implemented based on the principle of Electromagnetic Launcher (EML), in which the accelerator projectile is composed of one or more coil used as an electromagnetic that has a function to make a faster acceleration of the projectile. Input voltage of electromagnetic Launcher is about 4.5 volt, and by using a multiplier voltage, it will be able to produce a higher high-voltage output until as maximum 600 Volts and able to launch the projectiles.

Based on the results of the testing, the EML is able to shoot a projectile at the distance of 200 cm, when the capacitor voltage is 200 Volt. In this case, charging time is 1.12 seconds. The farthest distance of the projectile is 1500 cm when the capacitor voltage is too 600 Volts. The time required to achieve 600 Volt is about 2.30 minutes.

Keywords: Electromagnetic Launcher, a coil, a voltage multiplier, Projectile.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang selalu memberikan rahmat serta hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan umat muslim yang senantiasa meneladani beliau.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada beberapa pihak yang telah memberikan dukungan selama proses pengerjaan tugas akhir ini, antara lain:

1. Dr. Tri Arief Sardjono, S.T.,MT., selaku Dekan Fakultas Teknologi Elektro.
2. Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng. Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Elektro
3. Dr. Ir. Hendra Kusuma, M.Eng.Sc selaku dosen pembimbing pertama atas bimbingan, inspirasi, pengarahan, dan motivasi yang diberikan selama pengerjaan penelitian Tugas Akhir ini.
4. Suwito, ST., MT selaku dosen pembimbing kedua, atas masukan dan saran aplikatif yang diberikan selama pengerjaan penelitian Tugas Akhir ini.
5. Seluruh dosen bidang studi Elektronika Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Elektro ITS.
6. Keluarga penulis ayahanda Achmad Musleh, ibunda Nurul Laila, beserta seluruh keluarga yang selalu memberikan doa, dukungan, motivasi, semangat, perhatian dan kasih sayangnya.
7. Khoirul Umami yang selalu memberi dukungan, perhatian dan kasih sayang selama ini.
8. Luqman Hakim yang selalu memberikan dukungan dan masukan yang diberikan selama pengerjaan penelitian Tugas Akhir ini.
9. Seluruh rekan-rekan yang telah banyak membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam Tugas Akhir ini terdapat banyak kekurangan. Akhir kata semoga melalui tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat berbagi ilmu bagi pembacanya. Aamiin.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	vii
LEMBAR PENGESAHAN	ix
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xx
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Relevansi	3
BAB II TEORI PENUNJANG	
2.1 Arduino Mega	5
2.1.1 Fitur board arduino Mega 2560	6
2.1.2 Catu Daya	6
2.1.3 Memory	8
2.1.4 Software Arduino	8
2.1.5 Mikrokontroler Arduino Mega2560	9
2.1.6 Konfigurasi Pin Arduino Mega 2560	10
2.2 LCD (Liquid Crystal Display)	11
2.2.1 Karakter LCD	13
2.2.2 Deskripsi Pin LCD	13
2.2.3 Karakteristik LCD 16x2	15
2.3 Kumparan	15
2.4 Solenoid	16
2.5 Relay	17
2.5.1 Prinsip Kerja Relay	17
2.5.2 Struktur Relay	17

2.6	Kapasitor Bank	19
2.6.1	Tipe Kapasitor bank.....	20
2.6.2	Karakteristik Kapasitor	21
2.7	Standar Dimensi Lingkaran Kertas Target.....	22
BAB III PERANCANGAN SISTEM		
3.1	Perancangan Antarmuka Pengguna.....	24
3.1.1	Perancangan Parameter Penembak.....	24
3.1.2	Rangkaian LCD 16x2.....	33
3.1.3	Digital Voltmeter	33
3.2	Perancangan Sistem Pengisian dan Pembuangan Kapasitor.....	34
3.2.1	Rangkaian Charging Kapasitor	34
3.2.2	Rangkaian Pemicu Tembak.....	35
3.2.3	Perancangan Coil	36
3.2.4	Perancangan Relay	39
3.2.5	Sensor Tegangan	40
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA		
4.1	Pengujian Keypad	41
4.2	Pengujian Password	43
4.3	Pengujian Charging Capacitor Bank	44
4.4	Pengujian Sensor Tegangan	45
4.5	Pengujian Integrasi Semua Sistem	48
4.6	Perbandingan Hasil Uji Coba Dengan Perencanaan.....	50
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	53
5.2	Saran	53
DAFTAR PUSTAKA		55
LAMPIRAN		
BIOGRAFI		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arduino Mega 2560 R3	5
Gambar 2.2 Tampilan Software IDE Arduino	9
Gambar 2.3 Konfigurasi pin Arduino Mega2560	10
Gambar 2.4 Blok Diagram LCD	12
Gambar 2.5 LCD 16x2 Character	12
Gambar 2.6 Arus Eddy.....	15
Gambar 2.7 Aliran Arus Eddy	16
Gambar 2.8 Solenoid.....	16
Gambar 2.9. Struktur Relay	18
Gambar 2.10 Modul Relay	18
Gambar 2.11 Kapasitor Bank.....	19
Gambar 2.12 Bahan dasar dari suatu sel kapasitor.....	20
Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem	23
Gambar 3.2 Flowchart Program Password	24
Gambar 3.3 Flowchart Menu Parameter Penembak.....	26
Gambar 3.4 Interkoneksi Keypad dengan Arduino Mega.....	31
Gambar 3.5 Rangkaian Tombol	32
Gambar 3.6 Rangkaian LCD 16x2.....	33
Gambar 3.7 Interkoneksi Digital Voltmeter dengan Arduino dan Kapasitor	33
Gambar 3.8 Rangkaian Charging Kapasitor.....	34
Gambar 3.9 Rangkaian Pemicu Tembak.....	35
Gambar 3.10 Rangkaian Relay	39
Gambar 3.11 Sensor Tegangan	40
Gambar 4.1 Blok diagram pengujian keypad.....	41
Gambar 4.2 Hasil pengujian keypad	41
Gambar 4.3 Blok diagram pengujian password	43
Gambar 4.4 Hasil pengujian password.....	43
Gambar 4.5 Blok diagram pengujian Charging Capacitor Bank	44
Gambar 4.6 Hasil pengujian Charging Capacitor Bank	45
Gambar 4.7 Blok diagram pengujian sensor tegangan	46
Gambar 4.8 Hasil pengujian sensor tegangan	46
Gambar 4.9 Grafik hasil pengujian sensor tegangan.....	47

Gambar 4.10 Grafik hasil error dari perbandingan menggunakan avometer dengan yang ditampilkan pada LCD 16x2	47
Gambar 4.11 Grafik hasil uji coba integrasi semua system	48
Gambar 4.12 Hasil pengujian integrasi semua sistem.....	49
Gambar 4.13 Grafik Hasil Uji COba.....	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data Teknik Board Arduino Mega 2560	6
Tabel 2.2 Data Character LCD.....	13
Tabel 2.3 Blok Pin LCD	13
Tabel 2.4 Karakteristik LCD 16x2.....	15
Tabel 2.5 Karakteristik Kapasitor	21
Tabel 2.6 Ukuran Lingkaran Kertas Target	22
Tabel 4.1 Pengujian Keypad	42
Tabel 4.2 Pengujian Password	44
Tabel 4.3 Pengujian Charging Capacitor Bank	45
Tabel 4.4 Pengujian sensor tegangan	46
Tabel 4.5 Pengujian Integrasi.....	48
Tabel 4.6 Hasil Uji Coba.....	50

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beberapa bidang kehidupan manusia memanfaatkan konsep fisika, kimia dan elektronika, di antaranya bidang industri yang banyak menerapkan konsep pneumatik dan hidrolik pada mesin yang di pakai. Contoh pada senapan angin, senapan angin menggunakan prinsip pneumatik yang menembakkan peluru dengan menggunakan tenaga udara atau sejenis gas tertentu yang dimampatkan. Pada senapan mesin juga menggunakan prinsip pneumatik dimana peluncuran proyektil terjadi karena adanya transfer momentum dengan tekanan tinggi, kemudian sebagian tekanan gas di balikan ke belakang melalui saluran udara $2/3$ panjang laras. Efek panas dan getaran pada senjata/peluncur konvensional sangat mungkin terjadi, di karenakan peluncur konvensional membutuhkan tenaga yang kuat untuk meluncurkan proyektil.

Airsoft Gun Elektronik/*Automatic Elektric Gun (AEG)*, *Airsoft gun* ini bergerak dengan tenaga elektrik. Cara kerja jenis *airsoft gun* ini berasal dari tenaga yang dihasilkan oleh baterai. Kemudian pinion akan digerakkan oleh tenaga baterai ini yang membuat *gearset* yang terpasang bergerak, *gearset* inilah yang akan membuat piston bergerak sehingga per tertarik. Apabila per ada di bagian ujung piston maka peluru yang ada akan diluncurkan. Saat peluncuran peluru, *airsoft gun* sedikit menghasilkan getaran dan mengeluarkan suara tembakan.

Senjata paintball elektronik, menggunakan papan sirkuit bertenaga baterai untuk mengaktifkan solenoida dan untuk melakukan penembakan. Pelatuk pemicu mengaktifkan sirkuit untuk menembak, kemudian mengaktifkan pistolnya. Paintball elektronik dapat diprogram, dapat memilih menggunakan mode tembak otomatis, mode 1 kali tembakan mengeluarkan lebih dari 1 peluru atau mode penembak lainnya. Senjata elektronik ini juga mengandalkan regulator untuk memastikan penembakan yang konsisten. Paintball elektronik ini adalah alat mekanis yang mengambil tekanan udara bervariasi dari tangki dan melepaskan udara pada tekanan konstan yang lebih rendah. Saat peluncuran peluru, paintball elektronik sedikit menghasilkan getaran dan mengeluarkan suara tembakan.

Sedangkan pada sistem peluncur elektromagnetik / *Electromagnetic Launcher* (EML) energi listrik akan dikonversi menjadi energi mekanik. Dengan demikian, sistem tersebut sangat ramah dan dapat mengontrol kecepatan lontaran dari peluru dengan mengontrol arus listrik dalam kumparan elektromagnetik.

1.2 Rumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, terdapat beberapa masalah yang akan dibahas antara lain sebagai berikut:

1. Pemanfaatan medan elektromagnetik sebagai medan pelontar proyektil.
2. Pengisian dan pembuangan *capacitor bank*.
3. Akselesari proyektil untuk menembakan target tembak.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Implementasi coil gun menggunakan Arduino Mega 2560
2. *Output* maksimal tegangan pada kapasitor 600 volt
3. Hanya menggunakan sebuah baterai NiCd +4,5 volt

1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk mengetahui cara mengoptimalkan daya/tenaga listrik untuk dikonversi menjadi tenaga magnet yang bertegangan tinggi, selanjutnya dimanfaatkan sebagai tenaga lontar dan mengimplementasi sistem peluncur elektromagnetik.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Studi literatur, yaitu studi yang bersumber pada jurnal-jurnal, buku referensi dan *datasheet* komponen yang digunakan dalam Tugas Akhir ini serta berdiskusi dengan dosen pembimbing.
2. Perancangan dan realisasi alat, pada tahap ini dimulai dari perancangan *driver coil gun*, lilitan pada *coil* hingga fungsi-fungsi sistem yang diinginkan tercapai.

3. Tahap pengujian sistem dan analisa, pada tahapan ini dimulai debugging dengan terlebih dahulu menguji respon tiap komponen. Kemudian menggabungkannya menjadi sistem utuh hingga respon sistem telah sesuai.
4. Pembuatan laporan mengacu pada perancangan dan realisasi alat, serta hasil dari pengujian alat.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada tugas akhir ini dibagi menjadi beberapa bab dengan rincian :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, metodologi dan sistematika penulisan.

BAB II : TEORI PENUNJANG

Berisi tentang dasar-dasar teori tentang Arduino Mega 2560, *Liquid Crystal Display*, *Coil*, *Solenoid*, *Relay* dan Kapasitor.

BAB III : PERANCANGAN DAN REALISASI ALAT

Berisi tentang tentang perancangan perangkat keras dan perangkat lunak untuk pengaplikasian penelitian.

BAB IV : PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM

Berisi tentang hasil yang didapat dalam pengujian dari tiap blok sistem dan subsistem serta hasil evaluasi sistem tersebut.

BAB V : PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran yang diperoleh dalam Tugas Akhir ini.

1.7 Relevansi

Adapun manfaat yang diharapkan dengan tugas akhir ini adalah Rancang Bangun Prototipe Pelontar Peluru Elektromagnetik yang dirancang dapat benar-benar diimplementasikan dengan baik serta mampu menyamai fungsi dari senjata konvensional pada umumnya.

Hasil yang dicapai diharapkan dapat menjadi salah satu referensi dalam pengembangan peluncur eletromagnetik yang lebih baik.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB II TEORI PENUNJANG

2.1 Arduino Mega

Arduino adalah *platform* pembuatan prototipe elektronik yang bersifat *open-source hardware* yang berdasarkan pada perangkat keras dan perangkat lunak yang fleksibel dan mudah digunakan. Arduino ditujukan bagi para seniman, desainer, dan siapapun yang tertarik dalam menciptakan objek atau lingkungan yang interaktif.

Menurut Sulaiman (2012:1), Arduino merupakan platform yang terdiri dari *software* dan *hardware*. *Hardware* Arduino sama dengan mikrokontroler pada umumnya hanya pada arduino ditambahkan penamaan pin agar mudah diingat. *Software* Arduino merupakan *software open source* sehingga dapat di *download* secara gratis. *Software* ini digunakan untuk membuat dan memasukkan program ke dalam Arduino. Pemrograman Arduino tidak sebanyak tahapan mikrokontroler konvensional karena Arduino sudah didesain mudah untuk dipelajari, sehingga para pemula dapat mulai belajar mikrokontroler dengan Arduino.

Berdasarkan uraian diatas, dapat disimpulkan bahwa arduino merupakan platform pembuatan prototipe elektronik yang terdiri dari *hardware* dan *software*. Pada Gambar 2.1 menampilkan bentuk fisik dari Arduino dan pada Tabel 2.1 menjelaskan data teknis *board* Arduino Mega2560

Menurut Feri Djuandi (2011:8), Komponen utama didalam papan Arduino adalah sebuah 8 bit dengan merk ATmega yang dibuat oleh Atmel Corporation. Berbagai papan Arduino menggunakan tipe ATmega yang berbeda-beda tergantung dari spesifikasinya, sebagai contoh Arduino Uno menggunakan ATmega328 sedangkan Arduino Mega 2560 yang lebih canggih menggunakan ATmega2560.



Gambar 2.1 Arduino Mega 2560 R3

Tabel 2.1 Data Teknik Board Arduino Mega 2560

Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

2.1.1 Fitur board arduino Mega 2560 :

a. Pin Out

1.0 pinout: Ditambahkan pin SDA dan pin SCL yang dekat dengan pin AREF dan dua pin baru lainnya ditempatkan dekat dengan pin RESET, IOREF memungkinkan *shield* untuk beradaptasi dengan tegangan yang tersedia pada papan. Di masa depan, *shield* akan kompatibel baik dengan papan yang menggunakan AVR yang beroperasi dengan 5 Volt dan dengan Arduino Due yang beroperasi dengan tegangan 3.3 Volt. Dan ada dua pin yang tidak terhubung, yang disediakan untuk tujuan masa depan.

b. Sirkuit RESET.

c. Chip ATmega16U2 menggantikan chip ATmega8U2.

2.1.2 Catu Daya

Menurut Feri Djuandi (2011:10), Arduino Mega dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan catu daya *eksternal*. Sumber daya dipilih secara otomatis. Sumber daya *eksternal* (non-USB) dapat berasal baik dari adaptor AC-DC atau baterai. Adaptor dapat dihubungkan dengan mencolokkan steker 2,1 mm yang bagian tengahnya terminal positif ke ke *jack* sumber tegangan pada papan. Jika tegangan berasal dari baterai dapat langsung dihubungkan melalui *header* pin Gnd dan pin Vin dari konektor *POWER*.

Papan Arduino Mega2560 dapat beroperasi dengan pasokan daya *eksternal* 6 Volt sampai 20 volt. Jika diberi tegangan kurang dari 7 Volt, maka, pin 5 Volt mungkin akan menghasilkan tegangan kurang dari 5 Volt dan ini akan membuat papan menjadi tidak stabil. Jika sumber

tegangan menggunakan lebih dari 12 Volt, regulator tegangan akan mengalami panas berlebihan dan bisa merusak papan. Rentang sumber tegangan yang dianjurkan adalah 7 Volt sampai 12 Volt.

Pin tegangan yang tersedia pada papan Arduino adalah sebagai berikut:

- a. VIN : Adalah input tegangan untuk papan Arduino ketika menggunakan sumber daya *eksternal* (sebagai 'saingan' tegangan 5 Volt dari koneksi USB atau sumber daya ter-regulator lainnya). Anda dapat memberikan tegangan melalui pin ini, atau jika memasok tegangan untuk papan melalui *jack power*.
- b. 5V : Sebuah pin yang mengeluarkan tegangan ter-regulator 5 Volt, dari pin ini tegangan sudah diatur (ter-regulator) dari regulator yang tersedia (built-in) pada papan. Arduino dapat diaktifkan dengan sumber daya baik berasal dari *jack power* DC (7-12 Volt), konektor USB (5 Volt), atau pin VIN pada board (7-12 Volt). Memberikan tegangan melalui pin 5V atau 3.3V secara langsung tanpa melewati regulator dapat merusak papan Arduino.
- c. 3V3: Sebuah pin yang menghasilkan tegangan 3,3 Volt. Tegangan ini dihasilkan oleh regulator yang terdapat pada papan (*on-board*). Arus maksimum yang dihasilkan adalah 50 mA.
- d. GND: Pin *Ground* atau Massa.
- e. IOREF : Pin ini pada papan Arduino berfungsi untuk memberikan referensi tegangan yang beroperasi pada mikrokontroler. Sebuah perisai (*shield*) dikonfigurasi dengan benar untuk dapat membaca pin tegangan IOREF dan memilih sumber daya yang tepat atau mengaktifkan penerjemah tegangan (*voltage translator*) pada output untuk bekerja pada tegangan 5 Volt atau 3,3 Volt.

2.1.3 Memory

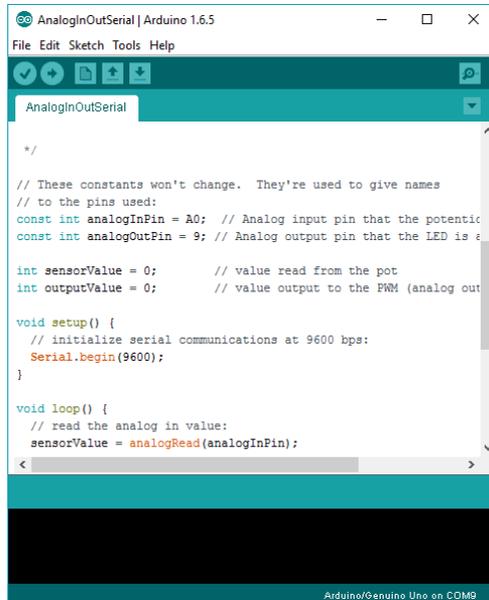
Arduino ATmega2560 memiliki 256 KB *flash memory* untuk menyimpan kode (yang 8 KB digunakan untuk bootloader), 8 KB SRAM dan 4 KB EEPROM (yang dapat dibaca dan ditulis dengan perpustakaan EEPROM).

2.1.4 Software Arduino

Arduino diciptakan untuk para pemula bahkan yang tidak memiliki basic bahasa pemrograman sama sekali karena menggunakan bahasa C++ yang telah dipermudah melalui *library*. Arduino menggunakan Software *Processing* yang digunakan untuk menulis program kedalam Arduino. *Processing* sendiri merupakan penggabungan antara bahasa C++ dan Java. *Software* Arduino ini dapat di-*install* di berbagai *operating system* (OS) seperti: LINUX, Mac OS, Windows. Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi kombinasi dari hardware, bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment* (IDE) yang canggih. IDE adalah sebuah *software* yang sangat berperan untuk menulis program, meng-*compile* menjadi kode biner dan meng-*upload* ke dalam *memory microcontroller*. Tampilan dari *software* Arduino dapat dilihat dari Gambar 2.2.

Software IDE Arduino terdiri dari 3 (tiga) bagian:

- a. Editor program, untuk menulis dan mengedit program dalam bahasa *processing*. *Listing* program pada Arduino disebut sketch.
- b. *Compiler*, modul yang berfungsi mengubah bahasa *processing* (kode program) kedalam kode biner karena kode biner adalah satu-satunya bahasa program yang dipahami oleh mikrokontroler.
- c. *Uploader*, modul yang berfungsi memasukkan kode biner kedalam memori mikrokontroler.



Gambar 2.2 Tampilan *Software IDE* Arduino

2.1.5 Mikrokontroler Arduino Mega2560

Menurut Dian Artanto (2008:30), Mikrokontroler adalah piranti elektronik berupa *Integrated Circuit* (IC) yang memiliki kemampuan manipulasi data (informasi) berdasarkan suatu urutan instruksi (program) yang dibuat oleh *programmer* dimana di dalamnya sudah terdapat *Central Processing Unit* (CPU), *Random Access Memory* (RAM), *Electrically Erasable Programmable Read Only Memori* (EEPROM), I/O, *Timer* dan peralatan *internal* lainnya yang sudah saling terhubung terorganisasi dengan baik oleh pabrik pembuatnya dan dikemas dalam satu *chip* yang siap pakai. Umumnya mikrokontroler memiliki instruksi manipulasi bit, akses ke I/O secara langsung serta proses interupsi yang cepat dan efisien. Penggunaan mikrokontroler sudah banyak ditemui dalam berbagai peralatan elektronik, seperti telepon digital, *microwave oven*, televisi, dan lainlain. Mikrokontroler juga dapat digunakan untuk berbagai aplikasi dalam industri seperti: sistem kendali, otomasi, dan lain-lain

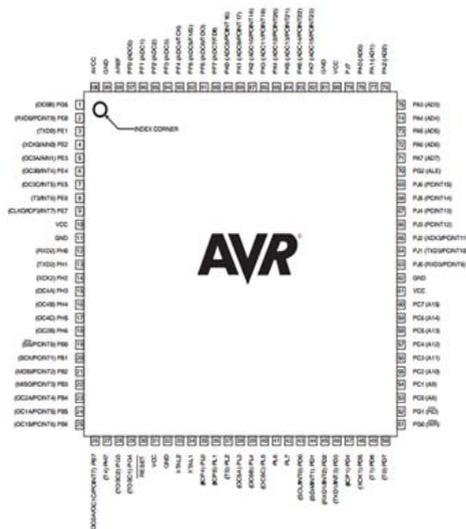
2.1.6 Konfigurasi Pin Arduino Mega 2560

Konfigurasi pin mikrokontroler ATmega 2560 adalah sebagai berikut:

- a. VCC merupakan pin yang digunakan sebagai masukan sumber tegangan.
- b. GND merupakan pin untuk *Ground*.
- c. XTAL1/ XTAL2, XTAL digunakan sebagai pin external clock.
- d. Port A, B, C ,D, E, H, dan L merupakan 8 bit port I/O dengan internal pull-up resistor. Port G merupakan 6 bit port I/O dengan *internal pull-up resistor*.
- e. Port F (PF0:PF7) dan Port K (PK0:PK7) merupakan pin I/O dan merupakan pin masukan ADC.
- f. AVCC adalah pin masukan untuk tegangan ADC.
- g. AREF adalah pin masukan untuk tegangan referensi *eksternal* ADC.

Konfigurasi pin Arduino Mega2560 dapat dilihat pada Gambar

2.3:



Gambar 2.3 Konfigurasi pin Arduino Mega2560

2.2 LCD (*Liquid Crystal Display*)

Display LCD sebuah liquid crystal atau perangkat elektronik yang dapat digunakan untuk menampilkan angka atau teks. Ada dua jenis utama layar LCD yang dapat menampilkan numerik (digunakan dalam jam tangan, kalkulator dll) dan menampilkan teks alfanumerik (sering digunakan pada mesin foto kopi dan telepon genggam).

Dalam menampilkan numerik ini kristal yang dibentuk menjadi bar, dan dalam menampilkan alfanumerik kristal hanya diatur kedalam pola titik. Setiap kristal memiliki sambungan listrik individu sehingga dapat dikontrol secara independen. Ketika kristal *off* (yakni tidak ada arus yang melalui kristal) cahaya kristal terlihat sama dengan bahan latar belakangnya, sehingga kristal tidak dapat terlihat. Namun ketika arus listrik melewati kristal, itu akan merubah bentuk dan menyerap lebih banyak cahaya. Hal ini membuat kristal terlihat lebih gelap dari penglihatan mata manusia sehingga bentuk titik atau bar dapat dilihat dari perbedaan latar belakang.

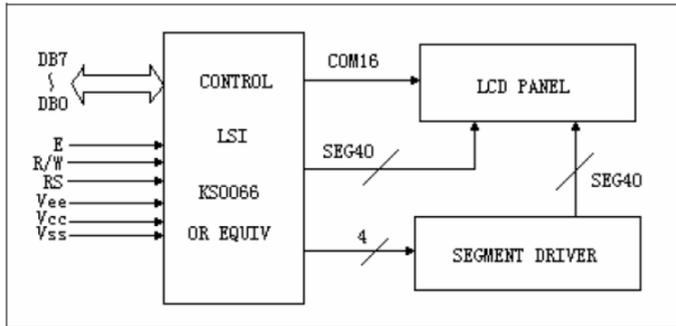
Sangat penting untuk menyadari perbedaan antara layar LCD dan layar LED. Sebuah LED display (sering digunakan dalam radio jam) terdiri dari sejumlah LED yang benar-benar mengeluarkan cahaya (dan dapat dilihat dalam gelap). Sebuah layar LCD hanya mencerminkan cahaya, sehingga tidak dapat dilihat dalam gelap.

LMB162A adalah modul LCD matrix dengan konfigurasi 16 karakter dan 2 baris dengan setiap karakternya dibentuk oleh 8 baris *pixel* dan 5 kolom *pixel* (1 baris terakhir adalah kursor).

Memori LCD terdiri dari 9.920 bit CGROM, 64 byte CGRAM dan 80x8 bit DDRAM yang diatur pengalamatannya oleh Address Counter dan akses datanya (pembacaan maupun penulisan datanya) dilakukan melalui *register data*.

Pada LMB162A terdapat register data dan register perintah. Proses akses data ke atau dari register data akan mengakses ke CGRAM, DDRAM atau CGROM bergantung pada kondisi *Address Counter*, sedangkan proses akses data ke atau dari Register perintah akan mengakses *Instruction Decoder* (dekoder instruksi) yang akan menentukan perintah-perintah yang akan dilakukan oleh LCD.

Pada Gambar 2.4 menjelaskan struktur LCD dan konfigurasi dalam bentuk blok diagram dan Tampilan fisik dari LCD dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.4 Blok Diagram LCD



Gambar 2.5 LCD 16x2 Character

Klasifikasi LED Display 16x2 karakter:

- a. 16 karakter x 2 baris
- b. 5x7 titik Matrik karakter + kursor
- c. HD44780 *Equivalent LCD controller/driver Built-In*
- d. 4-bit atau 8-bit *MPU Interface*
- e. Tipe standar
- f. Bekerja hampir dengan semua Mikrokontroler.

2.2.1 Karakter LCD

Tabel 2.2 Data Character LCD

b3-b0	b7-b4	0000	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1010	1011	1100	1101	1110	1111
	CG RAM 1.1			0	1	P	\	P		-	9	3	0	p
0001	(2)	!	1	A	Q	a	q	.	7	7	4	ä	q	
0010	(3)	"	2	B	R	b	r	"	イ	ツ	×	β	θ	
0011	(4)	#	3	C	S	c	s	」	ウ	テ	ε	ε	ε	
0100	(5)	\$	4	D	T	d	t	、	IT	ト	ト	μ	α	
0101	(6)	%	5	E	U	e	u	.	オ	ナ	1	ε	U	
0110	(7)	&	6	F	V	f	v	ヲ	カ	ニ	ヨ	p	Σ	
0111	CG RAM 1.1			'	7	G	W	g	w	7	7	7	g	π
1000	CG RAM 1.1			(	8	H	X	h	x	4	7	7	7	7
1001	(2)	)	9	I	Y	i	y	5	7	7	7	7	7	7
1010	(3)	*	:	J	Z	j	z	ε	コ	ハ	7	7	7	7
1011	(4)	+	:	K	[	k	[	ク	サ	ヒ	ロ	×	7	7
1100	(5)	,	<	L	¥	l	¥	1	1	1	1	1	1	1
1101	(6)	-	=	M	]m			ユ	ズ	7	7	7	7	7
1110	(7)	.	>	N	^	n	^	サ	セ	市	7	7	7	7
1111	CG RAM 1.8			/	?	0	_	o	←	ω	7	7	7	7

Tabel 2.2 karakter LCD diatas menunjukkan karakter khas yang tersedia pada layar LCD. Kode karakter diperoleh dengan menambahkan angka di atas kolom dengan nomor di sisi baris.

Perhatikan bahwa karakter 32-127 selalu sama untuk semua LCD, tapi karakter 16-31 & 128-255 dapat bervariasi dengan produsen LCD yang berbeda.

Karakter 0 sampai 15 dijelaskan user-defined sebagai karakter dan harus didefinisikan sebelum digunakan, atau LCD akan berisi perubahan karakter secara acak. Untuk melihat secara rinci bagaimana menggunakan karakter ini dapat dilihat pada data Character LCD di Tabel 2.2.

2.2.2 Deskripsi Pin LCD

Untuk keperluan antar muka suatu komponen elektronika dengan mikrokontroler, perlu diketahui fungsi dari setiap kaki yang ada pada komponen tersebut. Fungsi tersebut dijelaskan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Blok Pin LCD

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
VSS	VCC	VEE	RS	R/W	E	DB0	DB1	DB2	DB3	DB4	DB5	DB6	DB7	LED+	LED-

- a. Kaki 1 (GND): Kaki ini berhubungan dengan tegangan +5 Volt yang merupakan tegangan untuk sumber daya.
- b. Kaki 2 (VCC): Kaki ini berhubungan dengan tegangan 0 volt (Ground).
- c. Kaki 3 (VEE/VLCD): Tegangan pengatur kontras LCD, kaki ini terhubung pada cermet. Kontras mencapai nilai maksimum pada saat kondisi kaki ini pada tegangan 0 volt.
- d. Kaki 4 (RS): *Register Select*, kaki pemilih register yang akan diakses. Untuk akses ke *Register Data*, logika dari kaki ini adalah 1 dan untuk akses ke *Register Perintah*, logika dari kaki ini adalah 0.
- e. Kaki 5 (R/W): Logika 1 pada kaki ini menunjukkan bahwa modul LCD sedang pada mode pembacaan dan logika 0 menunjukkan bahwa modul LCD sedang pada mode penulisan. Untuk aplikasi yang tidak memerlukan pembacaan data pada modul LCD, kaki ini dapat dihubungkan langsung ke Ground.
- f. Kaki 6 (E): *Enable Clock* LCD, kaki mengaktifkan *clock* LCD. Logika 1 pada kaki ini diberikan pada saat penulisan atau pembacaan data.
- g. Kaki 7 – 14 (D0 – D7): Data bus, kedelapan kaki LCD ini adalah bagian di mana aliran data sebanyak 4 bit ataupun 8 bit mengalir saat proses penulisan maupun pembacaan data.
- h. Kaki 15 (Anoda): Berfungsi untuk tegangan positif dari *backlight* LCD sekitar 4,5 volt (hanya terdapat untuk LCD yang memiliki *backlight*)
- i. Kaki 16 (Katoda): Tegangan negatif *backlight* LCD sebesar 0 volt (hanya terdapat pada LCD yang memiliki *backlight*).

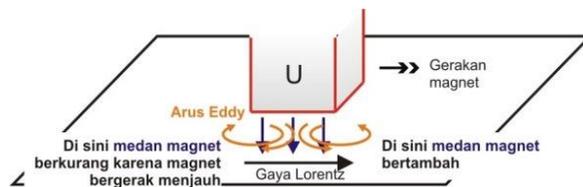
2.2.3 Karakteristik LCD 16x2

Tabel 2.4 Karakteristik LCD 16x2

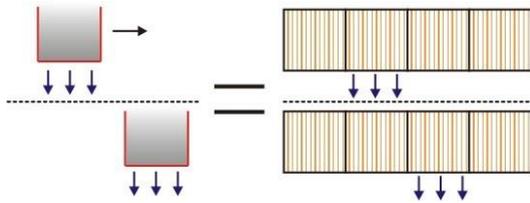
Item	Simbol	Kondisi	Min	Tipe	Max	Unit	
Tegangan Input	High	V_{IH}		2.2	-	VDD	V
	Low	V_{IL}		0	-	0.6	V
Tegangan Keluaran	High	V_{OH}	$I_{OH} = 0.205 \text{ mA}$	2.4	-	-	V
	Low	V_{OL}	$I_{OL} = 1.2 \text{ mA}$	-	-	0.4	V
Tegangan Catu Daya	V_{DD}		4.75	5.00	5.25	V	
	$V_{DD} - V_{LC}$		1.5	-	-	V	
Komsumsi Arus	I_{DD}		-	2.0	3.0	mA	
	I_{LC}		-	0.2	1.0	mA	
Frekuensi Osilasi	fosc	Osilasi tahanan	190	270	350	kHz	

2.3 Kumparan

Menurut fisika, medan magnet yang berubah akan menyebabkan medan listrik yang berputar (hukum Faraday). Dalam konduktor, misalnya pelat aluminium, akan timbul arus listrik yang berputar (arus Eddy). Selanjutnya, arus listrik yang berputar akan menimbulkan medan magnet yang tegak lurus bidang (hukum Ampere). Arah medan magnet ini berlawanan arah dengan medan magnet yang mula-mula (hukum Lenz) sehingga timbul gaya yang akan menggerakkan pelat searah gerakan magnet (gaya Lorentz). Penjelasan tersebut di gambarkan pada Gambar 2.6 dan untuk aliran arusnya di jelaskan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.6 Arus Eddy



Gambar 2.7 Aliran Arus

Pada Gambar 2.7 diatas medan magnet posisinya berubah. medan magnet seperti ini bisa juga dihasilkan dengan mengalirkan arus secara bergantian pada kumparan-kumparan yang berdekatan.

Coil Gun adalah senjata elektromagnetik yang menggunakan prinsip gaya Lorentz untuk mempercepat proyektil dengan melakukan akselerator proyektil yang terdiri dari satu atau lebih kumparan digunakan sebagai elektromagnetik untuk mempercepat feromagnetik atau melontarkan proyektil dengan kecepatan tinggi. Untuk aplikasi kecepatan tinggi, induksi coilguns menggunakan kopel magnet ke *drive*.

Prinsipnya menarik suatu peluru besi (bahan feromagnetik) ke dalam suatu kumparan berarus listrik. Ketika peluru mencapai tengah-tengah kumparan pada kecepatan maksimum, arus dimatikan. Hasilnya, peluru memiliki kecepatan akhir tertentu. Jika diinginkan kecepatan akhir yang sangat besar, bisa dialirkan arus sebesar-besarnya. Atau, dipasang kumparan berikutnya untuk menarik peluru lebih cepat dan seterusnya.

2.4 Solenoid

Solenoid adalah salah satu jenis kumparan terbuat dari kabel panjang yang dililitkan secara rapat dan dapat diasumsikan bahwa panjangnya jauh lebih besar daripada diameternya. Dalam kasus solenoid ideal, panjang kumparan adalah tak hingga dan dibangun dengan kabel yang saling berhimpit dalam lilitannya, dan medan magnet di dalamnya adalah seragam dan paralel terhadap sumbu solenoid. Gambar 2.8 di bawah ini menjelaskan bentuk lilitan dari solenoid.



Gambar 2.8 Solenoid.

Kuat medan magnet untuk solenoid ideal:

$$B = \mu_0 NI$$

Dimana:

- B adalah kuat medan magnet,
- μ_0 adalah permeabilitas ruang kosong ($4\pi \times 10^{-7}$),
- I adalah kuat arus yang mengalir,
- N adalah jumlah lilitan.

2.5 Relay

Relay merupakan salah satu komponen elektronika yang memanfaatkan medan magnet pada coil atau kumparan untuk menggerakkan kontak (Sebagai Pensaklaran mekanis). Pada relay memiliki sifat mekanis dan terdapat bouncing akibat dari benturan kedua plat kontak saklar. Relay diperlukan untuk mengendalikan rangkaian dengan sinyal daya rendah (dengan isolasi listrik yang lengkap antara kontrol dan rangkaian kontrol), atau di beberapa rangkaian yang harus dikontrol oleh satu sinyal. Relay biasanya hanya memiliki satu kumparan, tetapi relay dapat memiliki beberapa kontak. Relay elektromagnetis memiliki kontak diam dan kontak bergerak.

Kontak yang bergerak dipasangkan pada plunger, yang disebut *normally open* (NO) dan *normally close* (NC). Apabila kumparan diberi tenaga, maka akan terjadi medan elektromagnetis. Aksi medan elektromagnetis pada gilirannya akan menyebabkan plunger bergerak pada kumparan menutup kontak NO dan membuka kontak NC. Jarak gerak plunger biasanya pendek sekitar $\frac{1}{4}$ in atau kurang.

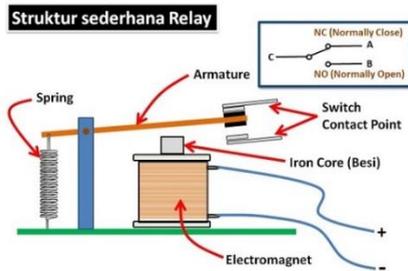
2.5.1 Prinsip Kerja Relay

Pada dasarnya, Relay terdiri dari 4 komponen dasar yaitu :

1. *Electromagnet (Coil)*
2. *Armature*
3. *Switch Contact Point (Saklar)*
4. *Spring*

2.5.2 Struktur Relay

Gambar 2.9 menjelaskan tentang struktur dari relay dan pada Gambar 2.10 contoh modul relay.



Gambar 2.9 Struktur Relay

Kontak Poin (Contact Point) Relay terdiri dari 2 jenis yaitu:

- *Normally Close* (NC) yaitu kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi *CLOSE* (tertutup)
- *Normally Open* (NO) yaitu kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi *OPEN* (terbuka)

Berdasarkan gambar diatas, sebuah Besi (Iron Core) yang dililit oleh sebuah kumparan Coil yang berfungsi untuk mengendalikan Besi tersebut. Apabila Kumparan Coil diberikan arus listrik, maka akan timbul gaya Elektromagnet yang kemudian menarik Armature untuk berpindah dari Posisi sebelumnya (NC) ke posisi baru (NO) sehingga menjadi Saklar yang dapat menghantarkan arus listrik di posisi barunya (NO). Posisi dimana Armature tersebut berada sebelumnya (NC) akan menjadi OPEN atau tidak terhubung. Pada saat tidak dialiri arus listrik, Armature akan kembali lagi ke posisi Awal (NC). Coil yang digunakan oleh Relay untuk menarik *Contact Point* ke Posisi *Close* pada umumnya hanya membutuhkan arus listrik yang relatif kecil.



Gambar 2.10 Modul Relay

2.6 Kapasitor Bank

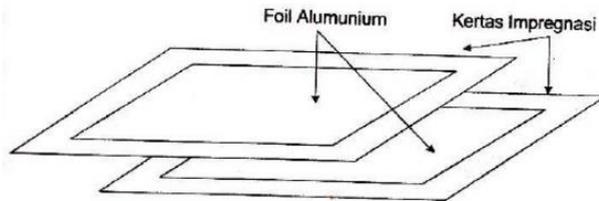
Kapasitor adalah komponen elektronika yang dapat menyimpan dan melepaskan muatan listrik. Struktur sebuah kapasitor terbuat dari 2 buah plat metal yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik. Bahan-bahan dielektrik yang umum dikenal misalnya udara vakum, keramik, gelas, elektrolit dan lain-lain, Contoh kapasitor bank dapat dilihat di Gambar 2.11.

Jika kedua ujung plat metal diberi tegangan listrik, maka muatan-muatan positif akan mengumpul pada salah satu kaki (elektroda) metalnya dan pada saat yang sama muatan-muatan negatif terkumpul pada ujung metal yang satu lagi. Muatan positif tidak dapat mengalir menuju ujung kutub negatif dan sebaliknya muatan negatif tidak bisa menuju ke ujung kutub positif, karena terpisah oleh bahan dielektrik yang non-konduktif. Muatan elektrik ini “tersimpan” selama tidak ada konduksi pada ujung-ujung kakinya. Kemampuan untuk menyimpan muatan listrik pada kapasitor disebut dengan kapasitansi atau kapasitas

Bagian utama dari suatu sel kapasitor adalah 2 elektroda yang terbuat dari foil aluminium yang dipisahkan oleh dielektrik terlapis. Agar kapasitor lebih handal, maka jumlah lapisan dielektrik dibuat sekurangnya 2 lapis. Tebal foil aluminium biasanya kurang lebih 7 mikron, sedang tebal dielektrik biasanya antara 8 – 24 mikron, tergantung kepada tegangan kerja kapasitor. Gambar 2.12 merupakan bahan – bahan dasar suatu sel kapasitor.



Gambar 2.11 Kapasitor Bank



Gambar 2.12 Bahan dasar dari suatu sel kapasitor

Dengan adanya muatan pada kapasitor maka antara lembaran kapasitor terdapat beda potensial sehingga terjadi suatu aliran elektron yaitu aliran arus yang mengalir pada kapasitor dan hal ini tergantung pada perubahan tegangan waktu. Arus pengisian terbesar pada saat awal pengisian yaitu pada $t = 0$ dan menurun ketika tegangan meningkat. Pengisian akan berhenti saat tegangan kapasitor sama dengan tegangan sumber.

Satuan dari kapasitor adalah farad (F). Kapasitor akan mempunyai kapasitansi 1 farad jika potensial yang dikenakan 1 volt dan kapasitor mengambil muatan sebesar 1 coulomb

Kapasitor banyak digunakan di industri misalnya sebagai alat kompensator faktor daya, memperbaiki drop tegangan padu ujung jaringan, atau kenaikan suhu dan arus pada penghantar bisa diperkecil dengan di pasang kapaasitor. Pada kapasitor tegangan tinggi dibentuk dari beberapa sel kapasitor seperti gambar 7. Sel- sel kapasitor disusun dalam hubungan paralel atau seri tergantung pada rancangan kapasitas daya yang diinginkan, maka beberapa sel kapasitas dihubungkan paralel. Sedangkan untuk memenuhi tegangan yang diinginkan maka beberapa sel kapasitor dihubungkan seri.

2.6.1 Tipe Kapasitor bank

Ditinjau dari cara kerjanya, capacitor bank dibedakan menjadi 2: *Capacitor bank Fixed type*, dengan memberikan beban *capasitive* yang tetap walaupun terdapat perubahan beban. Biasanya digunakan pada beban langsung seperti pada motor induksi. Nilai yang aman adalah 5% dari kapasitas motor, pertimbangannya adalah kondisi saat tanpa beban.

Automatic type, memberikan beban *capasitive* yang bervariasi sesuai dengan kondisi beban. Jenis panel ini dilengkapi dengan sebuah *Power Factor Controller* (PFC). PFC akan menjaga $\cos \phi$ jaringan sesuai dengan target yang ditentukan. Untuk beban yang berfluktuasi dengan cepat digunakan *Static Var Compensator type* (SVC) yang menggunakan Thyristor sebagai switchernya. Sedangkan untuk fluktuasi beban yang tidak terlalu cepat digunakan *Dynamic Var Compensator* dengan menggunakan *Magnetic Contactor* serta PFC relay sebagai switchernya.

2.6.2 Karakteristik Kapasitor

Pada Tabel 2.5 berikut menjelaskan karakteristik – karakteristik dari kapasitor berbagai macam tipe kapasitor.

Tabel 2.5 Karakteristik Kapasitor

Tipe	Jangkauan	Toleransi	Teg AC Lazim (V)	Teg DC Lazim (V)	Koefisien Suhu (ppm/c)	Frekuensi (Mhz)	Sudut Rugi (tan δ)	Resistansi Bocoran (Ω)	Stabilitas
Kertas	10nF – 10uF	$\pm 10\%$	500 V	600 V	300	0,1	0,01	$10^7 \Omega$	Lumayan
Mika Perak	5pF – 10nF	$\pm 0,5\%$	-	400 V	100	10	0,0005	$10^{11} \Omega$	Baik Sekali
Keramik	5pF – 1uF	$\pm 10\%$	250 V	400 V	30	10	0,01	$10^8 \Omega$	Baik
Polystrene	50pF – 500nF	$\pm 1\%$	150 V	500 V	-150	10	0,0005	$10^{12} \Omega$	Baik Sekali
Polyester	100pF – 2uF	$\pm 5\%$	400 V	400 V	400	1	0,001	$10^{11} \Omega$	Cukup
Polypropylene	1nF – 100uF	$\pm 5\%$	600 V	900 V	170	1	0,0005	$10^{10} \Omega$	Cukup
Elektrolit aluminium	1uF – 1F	$\pm 50\%$	Terpolarisasi	400 V	1500	0,05	0,05	$10^5 \Omega$	Cukup
Elektrolit tantalum	1uF – 2000uF	$\pm 10\%$	Terpolarisasi	60 V	500	0,1	0,005	$10^8 \Omega$	Baik

2.7 Standar Dimensi Lingkaran Kertas Target

Kertas target terdiri dari lingkaran – lingkaran yang bertujuan untuk mengetahui hasil tembakan tepat kepada inti dari target sasaran berdasarkan standar Persatuan Penembak Indonesia (PERBAKIN). Tabel 2.6 Menjelaskan secara detail dimensi dari kertas target.

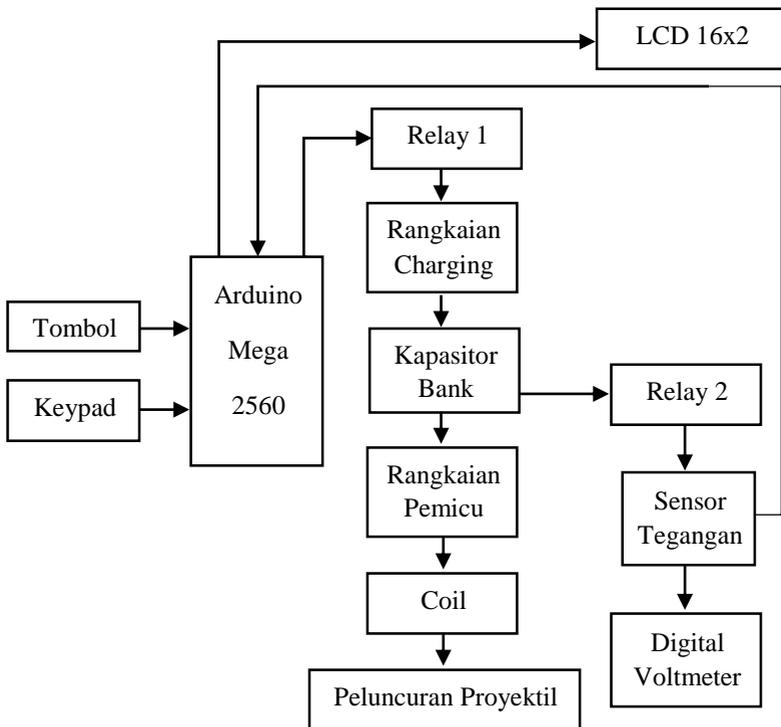
Tabel 2.6 Ukuran Lingkaran Kertas Target

Dimensi	
Lingkaran	Diameter
1	154,4 mm (± 0.5 mm)
2	138.4 mm (± 0.5 mm)
3	122.4 mm (± 0.5 mm)
4	106.4 mm (± 0.5 mm)
5	90.4 mm (± 0.5 mm)
6	74.4 mm (± 0.5 mm)
7	58.4 mm (± 0.5 mm)
8	42.4 mm (± 0.2 mm)
9	26.4 mm (± 0.5 mm)
10	10.4 mm (± 0.5 mm)

Ketebalan garis lingkaran 0,2 mm hingga 0,3 mm.

BAB III PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini akan dibahas mengenai perancangan sistem, mulai dari perancangan perangkat keras dan perangkat lunak yang meliputi perancangan interface sistem peluncur elektromagnetik yang terdiri dari push button, tampilan dari menu parameter penembak dan perancangan sistem pengisian maupun pembuangan muatan kapasitor yang terdiri dari relay, kapasitor bank, sensor tegangan, coil dan rangkaian pemicu tembak yang di atur secara digital oleh Arduino mega 2560. Gambar 3.1 menjelaskan secara keseluruhan cara kerja dari peluncur elektromagnetik.



Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem

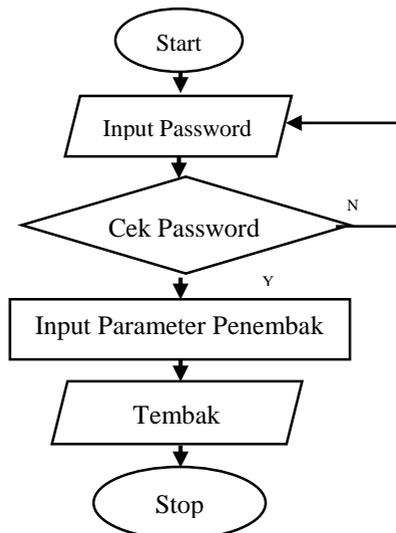
Gambar 3.1 menunjukkan sistem Peluncur Proyektil Elektromagnetik yang digunakan. Dalam hal ini Arduino Mega 2560 membaca perintah yang diberikan dari pengguna, pengguna diharuskan memasukkan kata kunci sebelum menggunakan alat ini. Kata kunci ini dibuat dari kombinasi 6 angka. Jika kata kunci yang dimasukkan benar, maka pengguna dapat memilih *setting mode* yang ditampilkan pada LCD. Setelah memilih mode yang diinginkan, maka sistem ini akan melakukan pengisian muatan pada kapasitor bank. Jika kapasitor bank sudah penuh, maka pengguna bisa melakukan penembakan dengan menyalakan limit switch yang berfungsi sebagai pemicu tembakan sehingga peluru dapat terlontar.

3.1 Perancangan Antarmuka Pengguna

Perancangan ini membutuhkan komponen *push button* dan *keypad membran 4x4* yang dihubungkan ke Arduino Mega 2560 sebagai input untuk memasukkan kata kunci dan memilih *setting mode*. *Input* dan *output* dari pengguna di tampilkan di LCD 16x2 dan *digital voltmeter*.

3.1.1 Perancangan Parameter Penembak

Agar alat ini tidak disalahgunakan maka perlu adanya sistem keamanan berupa kata sandi sebelum masuk kepada menu parameter penembak. *Flowchart* dari program *password* ditunjukkan pada gambar 3.2 berikut :



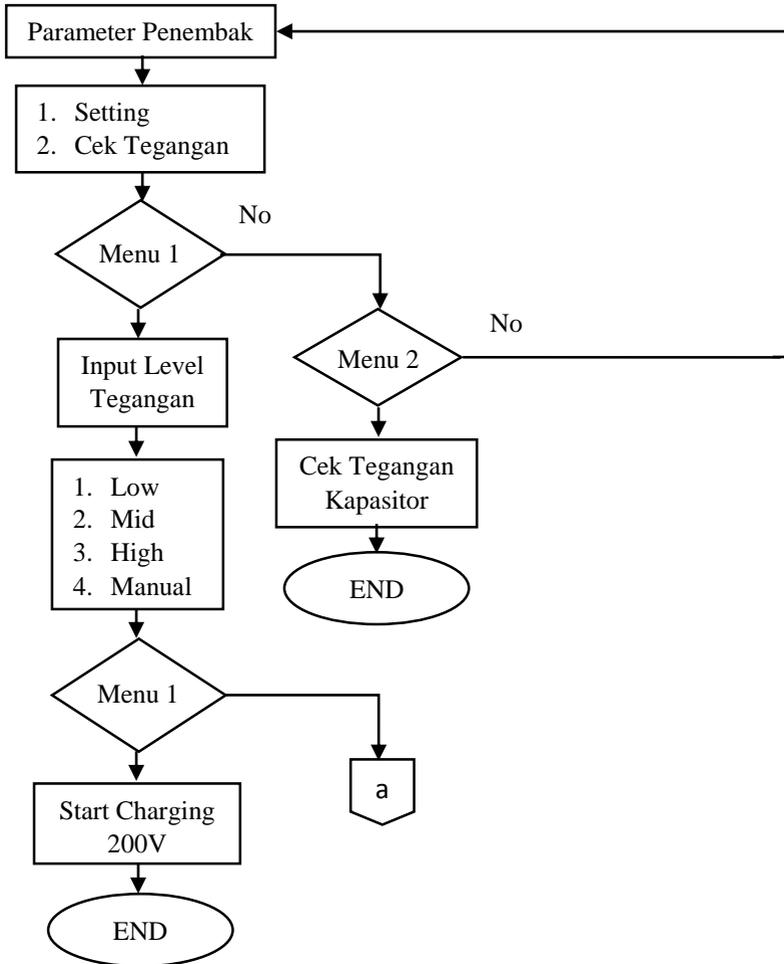
```

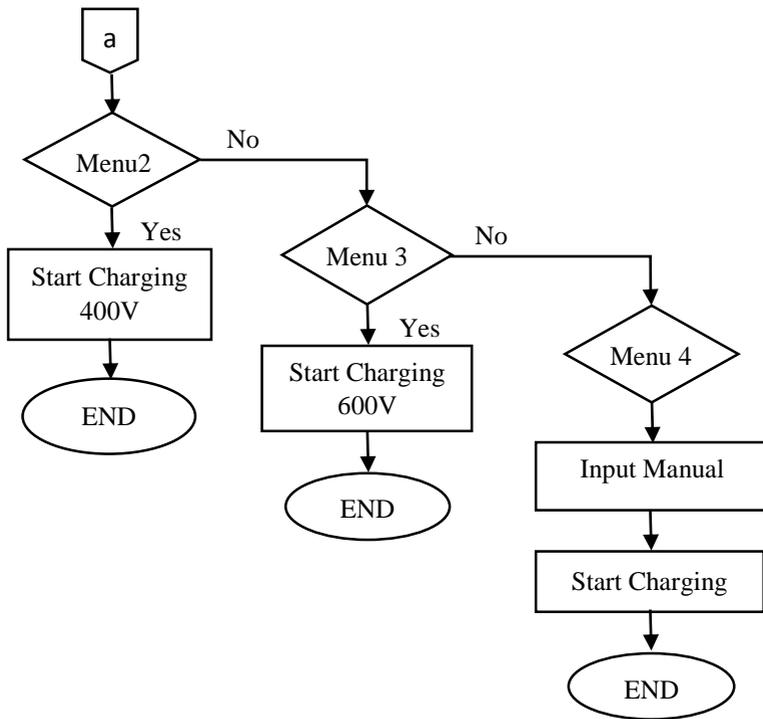
Data[data_count] = customKey;
lcd.setCursor(data_count,1);
lcd.print(Data[data_count]);
data_count++;

```

a. Menu Parameter Penembak

Agar alat ini mudah untuk digunakan maka perlu adanya tampilan menu. *Flowchart* dari program menu ditunjukkan pada gambar 3.3 di bawah ini :





Gambar 3.3 Flowchart Menu Parameter Penembak

Berdasarkan *flowchart* tersebut, dibuatlah *listing program* menu parameter penembak sebagai berikut ini:

```
void menu()
{
  menu_utama:
  pilih=0;
  lcd.clear();
  while(1)
  {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("-----MENU-----");
    if(up.isPressed())
    {
      delay(250);pilih++;
      if(pilih>1){pilih=0;}
    }
    if(down.isPressed())
    {
      delay(250);pilih--;
      if(pilih<0){pilih=1;}
    }

    if(pilih==0)
    {lcd.setCursor(0,1);lcd.print("1. START      ");}
    if(pilih==1)
    {lcd.setCursor(0, 1);lcd.print("2. SETTING  ");}
    if(ok.isPressed() & (pilih==0))
    {delay(250);pilih=0;lcd.clear();goto start;}
    if(ok.isPressed() & (pilih==1))
    {delay(250);pilih=0;goto setting;}
    if(cancel.isPressed())
    {
      delay(250);lcd.clear();
      lcd.setCursor(0,0);lcd.print("  TERIMA KASIH  ");
      lcd.setCursor(0,1);lcd.print("=====");
      delay(1500);lcd.clear();
      return;
    }
  }
}
```

Pada menu yang pertama yakni *setting*. Maka dibuat *listing program* seperti di bawah ini :

```
setting:
lcd.clear();
while(1)
{
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Input Level Teg ");
  if(up.isPressed())
  {
    delay(250);pilih++;
    if(pilih>3){pilih=0;}
  }
  if(down.isPressed())
  {
    delay(250);pilih--;
    if(pilih<0){pilih=3;}
  }
  if(pilih==0)
  {lcd.setCursor(0,1);lcd.print("1. Low Voltage ");}
  if(pilih==1)
  {lcd.setCursor(0,1);lcd.print("2. Mid Voltage ");}
  if(pilih==2)
  {lcd.setCursor(0,1);lcd.print("3. High Voltage ");}
  if(pilih==3)
  {lcd.setCursor(0,1);lcd.print("4. Input Manual ");}

  if(ok.isPressed() & (pilih==0))
  {delay(250);pilih=0;goto low;}
  if(ok.isPressed() & (pilih==1))
  {delay(250);pilih=0;lcd.clear();goto mid;}
  if(ok.isPressed() & (pilih==2))
  {delay(250);pilih=0;lcd.clear();goto high;}
  if(ok.isPressed() & (pilih==3))
  {delay(250);pilih=0;lcd.clear();goto manual;}
  if(cancel.isPressed())
  {delay(250);goto menu_utama;}
}
```

Pada menu *setting* ketika ditekan tombol OK maka akan masuk ke menu lain yakni *low voltage*, *mid voltage*, *high voltage*, dan *input manual*. Maka dibuat *listing program* seperti di bawah ini :

```
low:
lcd.clear();
while(1)
{
  kondisi=1;
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Low Voltage  ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Vcap = 200 Volt ");
  if(ok.isPressed())
  {delay(250);goto start;}
  if(cancel.isPressed())
  {delay(250);goto setting;}
}

mid:
lcd.clear();
while(1)
{
  kondisi=2;
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Mid Voltage  ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Vcap = 400 Volt ");
  if(ok.isPressed())
  {delay(250);goto start;}
  if(cancel.isPressed())
  {delay(250);goto setting;}
}
```

```

high:
lcd.clear();
while(1)
{
    kondisi=3;
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("High Voltage  ");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Vcap = 600 Volt ");
    if(ok.isPressed())
    {delay(250);goto start;}
    if(cancel.isPressed())
    {delay(250);goto setting;}
}

manual:
lcd.clear();
pilih=0;
while(1)
{
    kondisi=4;
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Input Manual  ");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Teg = ");
    lcd.setCursor(6,1);lcd.print(ratusan);
    lcd.setCursor(7,1);lcd.print(puluhan);
    lcd.setCursor(8,1);lcd.print(satuan);

    if(up.isPressed() & (pilih==0))
    {delay(250);ratusan++;if(ratusan>6){ratusan=0;}lcd.clear();}
    if(down.isPressed() & (pilih==0))
    {delay(250);ratusan--;if(ratusan<0){ratusan=6;}lcd.clear();}
    if(ok.isPressed() & (pilih==0))
    {delay(250);pilih=1;lcd.clear();}
    if(up.isPressed() & (pilih==1))
    {delay(250);puluhan++;if(puluhan>9){puluhan=0;}lcd.clear();}
    if(down.isPressed() & (pilih==1))
    {delay(250);puluhan--;if(puluhan<0){puluhan=9;}lcd.clear();}
}

```

```

if(ok.isPressed() & (pilih==1))
{delay(250);pilih=2;lcd.clear();}
if(up.isPressed() & (pilih==2))
{delay(250);satuan++;if(satuan>9){satuan=0;}lcd.clear();}
if(down.isPressed() & (pilih==2))
{delay(250);satuan--;if(satuan<9){satuan=9;}lcd.clear();}

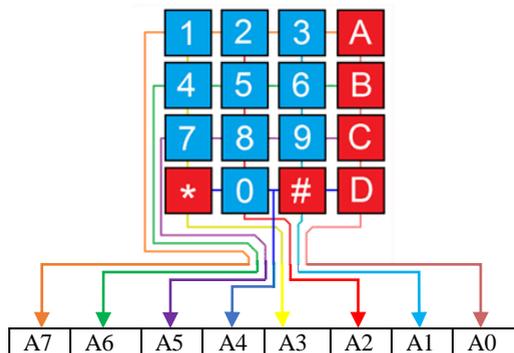
lcd.setCursor(10,1);lcd.print("Volt");
lcd.setCursor(15,1);lcd.print(pilih);

if(ok.isPressed() & (pilih==2))
{
  delay(250);
  //////////////////////////////////////
  total = (ratusan*100)+(puluhan*10)+(satuan*1);
  goto start;
}
if(cancel.isPressed())
{delay(250);goto setting;}
}

```

b. Keypad 4x4

Membran keypad 4x4 ini di hubungkan ke pin Arduino Mega 2560.



Gambar 3.4 Interkoneksi Keypad dengan Arduino Mega

```

const byte baris = 4;
const byte kolom = 4;
char keys[baris][kolom] =
{
  {'1','2','3','A'},
  {'4','5','6','B'},
  {'7','8','9','C'},
  {'*','0','#','D'}
};

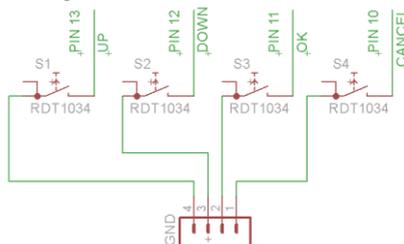
byte barisPins[baris] = {A0,A1,A2,A3};
byte kolomPins[kolom] = {A4,A5,A6,A7};

```

Dari interkoneksi membran keypad 4x4 ke Arduin Mega 2560 pada Gambar 3.4 maka dapat di implementasikan pada program diatas.

c. Push Button

Skematik dari Gambar 3.3 Rangkaian tombol pada sistem ini menggunakan komponen *push button* berjumlah 4 buah yang terdiri dari tombol 1 (up), tombol 2 (down), tombol 3 (ok), dan tombol 4 (cancel). Semua tombol dihubungkan ke Arduino Mega 2560 masing ke pin 13, 12, 11, 10. Dari skematik rangkaian tersebut maka dapat di implementasikan program pada Arduino Mega 2560.



Gambar 3.5 Rangkaian Tombol

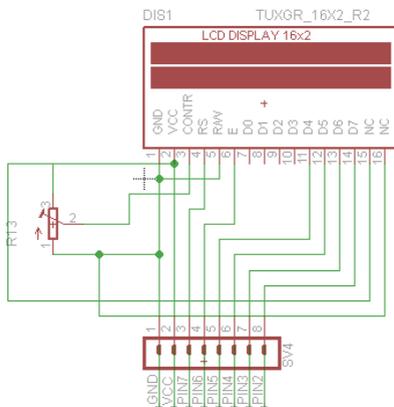
```

Button up = Button(13,PULLUP);
Button down = Button(12,PULLUP);
Button cancel = Button(11,PULLUP);
Button ok = Button(10,PULLUP);
unsigned char pilih, kondisi;
signed char satuan, puluhan, ratusan;
signed long total;

```

3.1.2 Rangkaian LCD 16x2

Pada Gambar 3.6 dibawah, penelitian ini menggunakan LCD character 16x2. Pada lcd ini hanya menggunakan 10 pin saja yakni Vcc, Gnd, RS, R/W, E, D4, D5, D6, D7, dan backlight(+). Dari skematik rangkaian tersebut maka dapat di implementasikan program pada Arduino Mega 2560



Gambar 3.6 Rangkaian LCD 16x2

```
#include <Keypad.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Button.h>
#define Password_Lenght 10 |
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);
```

3.1.3 Digital Voltmeter

Penelitian ini menggunakan *digital voltmeter* untuk menampilkan tegangan dari kapasitor bank.



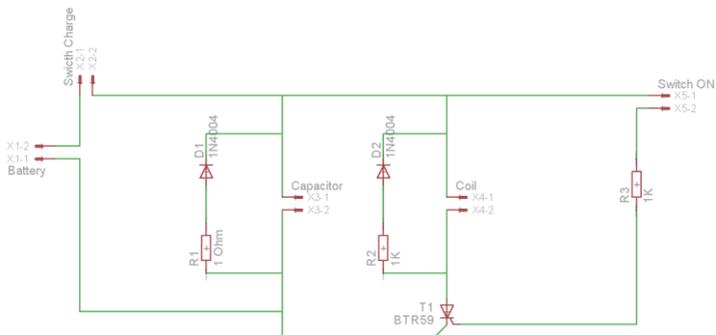
Gambar 3.7 Interkoneksi Digital Voltmeter dengan Arduino dan Kapasitor

up yang berfungsi sebagai penaik tegangan dengan keluaran tegangan AC yang sangat tinggi, hal ini disebabkan karena lilitan sekunder lebih banyak daripada lilitan primer. Pada rangkaian penyearah hanya terdiri dari 2 buah diode yang dirangkai secara paralel agar dapat merubah tegangan AC tinggi menjadi tegangan DC tinggi. Pada rangkaian *filter* terdiri dari sebuah kapasitor jenis *epoxy* sebagai *filter* tegangan DC yang sangat tinggi. Pada rangkaian penyimpanan muatan terdiri dari 2 buah kapasitor Elektrolit yang berfungsi sebagai penyimpan muatan dengan kapasitas tegangan maksimal masing-masing 450 volt. Dua buah kapasitor ini disusun secara seri sehingga tegangan maksimal yang dapat disimpan hingga sebesar 900 volt.

3.2.2 Rangkaian Pemicu Tembak

Perancangan rangkaian pemicu tembak terdiri dari baterai yang dihubungkan ke *limit switch* kemudian dihubungkan ke rangkaian TRIAC untuk menghubungkan kapasitor dengan *coil* sehingga bisa menimbulkan medan magnet yang digunakan untuk melontarkan peluru.

Pada gambar 3.9 merupakan rangkaian *discharge* Kapasitor / pemicu untuk menembak. Satu daya yang digunakan adalah baterai dengan tegangan DC +9V. Sedangkan transistor yang digunakan untuk pemicu adalah transistor dengan jenis TRIAC bertipe BTA12. Komponen pemicunya menggunakan *limit switch* yang di hubungkan secara *pull-up* ke kaki *gate*. Ketika *limit switch* diaktifkan, maka kapasitor akan terhubung ke *coil* sehingga menimbulkan medan magnet dan melontarkan peluru dari dalam coil.



Gambar 3.9 Rangkaian Pemicu Tembak

3.2.3 Perancangan Coil

Perancangan coil ini untuk menentukan panjang kawat yang dibutuhkan untuk dililitkan pada laras pelontar.

a. Perancangan Panjang Lilitan Coil

Coil ini berfungsi sebagai medan magnet untuk meluncurkan proyektil. Panjang lilitan yang digunakan, didapatkan dari penurunan rumus di bawah ini :

$$\begin{aligned} \text{Hukum Ohm} & & (1) \\ R &= \frac{V}{I} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rumus hambatan} & & (2) \\ R &= \rho \frac{l}{A} \end{aligned}$$

$$R = 6 \text{ Ohm}$$

$$\rho = 1.68 \times 10^{-8}$$

$$6 = \frac{1,68 \times 10^{-8} \cdot L}{\Omega (0,35 \times 10^{-3})^2}$$

$$6 = \frac{1,68 \times 10^{-8} \cdot L}{0,38 \times 10^{-6}}$$

$$L = \frac{6 \cdot 0,38 \cdot 10^{-6}}{1,68 \cdot 10^{-8}}$$

$$= 137,5 \text{ meter}$$

Berdasarkan rumus (1) dan (2) dapat dihasilkan panjang kawat tembaga yang dibutuhkan sepanjang 137,5 Meter.

b. Kecepatan Lontar Proyektil

Perhitungan kecepatan proyektil ini digunakan untuk mengetahui kecepatan lontaran setiap proyektil yang di lontarkan, dengan menggunakan penurunan rumus di bawah ini.

Rumus Muatan (1)
 $Q = C \cdot V$

Rumus Kecepatan (2)

Gaya Lorent Gaya Muatan Bergerak

$$B \cdot I \cdot L = B \cdot q \cdot v$$

$$I \cdot L = q \cdot v$$

$$\frac{I \cdot L}{q} = v$$

$$\frac{I \cdot L}{c \cdot V} = v$$

Energi Kinetik (3)

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Energi Kapasitor (4)

$$E_c = \frac{1}{2} c \cdot v^2$$

Efisiensi (5)

$$E_f = \frac{E_k}{E_c}$$

Dari persamaan di atas, dapat di jabarkan perhitungannya sebagai berikut:

- Icap
 $V = 600$
 $I = ?$

$$\frac{V_{bat}}{V_{cap}} = \frac{I_{cap}}{I_{bat}}$$

$$\frac{4,5}{600} = \frac{I_{\text{cap}}}{0,3}$$

$$I_{\text{cap}} = 0,002 \text{ A}$$

$$= 2 \text{ mA}$$

Diketahui: $I = 0,002 \text{ Ampere}$

$L = 137,5 \text{ Meter}$

$C = 0,00068 \text{ Farad}$

$V = 300$

$m = 0,004 \text{ Kg}$

$$\begin{aligned} \bullet \quad v &= \frac{I \cdot L}{C \cdot V} \\ &= \frac{0,002 \times 137,5}{0,00068 \times 300} \\ &= \frac{0,275}{0,204} \\ &= 1,348 \text{ meter/sekon} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad E_k &= \frac{1}{2} m \cdot v^2 \\ &= \frac{1}{2} 0,004 \cdot 1,348^2 \\ &= 0,00363 \text{ Joule} \end{aligned}$$

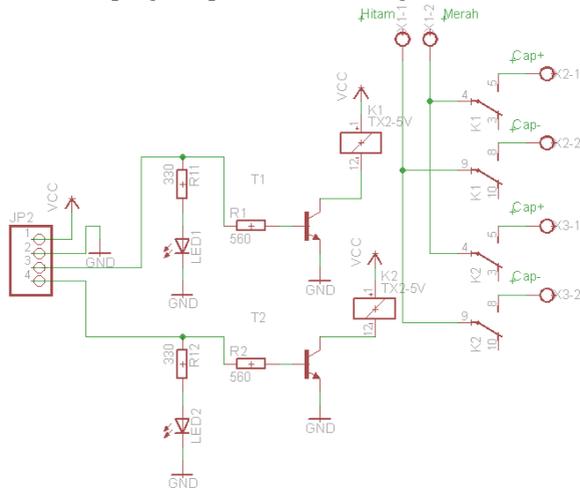
$$\begin{aligned} \bullet \quad E_c &= \frac{1}{2} c \cdot V^2 \\ &= \frac{1}{2} 0,00068 \cdot 300^2 \\ &= 30,6 \text{ Joule} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad \text{Eff} &= \frac{E_k}{E_c} \\ &= \frac{0,00363}{30,6} \\ &= 0,000118772 \end{aligned}$$

Berdasarkan rumus di atas dapat dihasilkan kecepatan lontar proyektil 1,348 meter/sekon, energi kinetik yang dihasilkan 0,00363 Joule, energy kapasitor 30,6 Joule dan efisiensi 0,000118772.

3.2.4 Perancangan Relay

Pada Gambar 3.10 dibawah menggunakan dua buah relay tipe DPDT yang dihubungkan secara NO (*Normally Open*) yang berfungsi untuk menutus-sambungkan jalur dari *capacitor bank* menuju *voltmeter digital* dan juga dilengkapi dengan dua buah LED sebagai indikator nyala atau tidaknya relay tersebut. Dari skematik rangkaian tersebut maka dapat di implementasikan program pada Arduino Mega 2560.



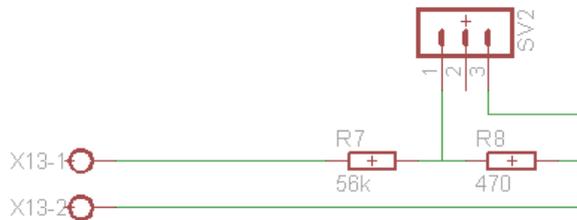
Gambar 3.10 Rangkaian Relay

```
int cap1 = 0;|
int cap2 = 1;
int full = 14;
float Vcap;
#define mati HIGH
#define hidup LOW
```

3.2.5 Sensor Tegangan

Perancangan sensor tegangan dibutuhkan kapasitor bank yang dihubungkan seri dengan rangkaian *voltage divider* yang terdiri dari dua buah kapasitor yang dihubungkan secara seri. Lalu output dari rangkaian *voltage divider* dijadikan input ke arduino mega 2560 melalui jalur ADC (Analog to Digital Converter).

Sensor Tegangan pada sistem ini menggunakan prinsip pembagi tegangan dengan dua buah hambatan yang dirangkai secara ser dengan nilai R1 sebesar 56Kohm dan nilai R2 sebesar 470 ohm. Lalu diantara R1 dan R2 dihubungkan ke pin A8 pada Arduino Mega 2560. Skematik dari sensor tegangan dapat lihat di Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Sensor Tegangan

```
cek:
lcd.clear();
while(1)
{
  float Vout = analogRead(A8) * (5.0/1023.0);
  float Vcap = (Z1 + Z2)/(Z2) * Vout;
  teg=Vcap;
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Tegangan Baterai");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Vcap= ");
  lcd.print(teg);
  lcd.setCursor(12,1);
  lcd.print("Volt");

  if(cancel.isPressed())
  {delay(250);goto menu_utama;}
}
```

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA

Ketahanan suatu alat atau sistem dapat diketahui dengan dilakukan pengujian secara bertahap pada masing-masing bagian penyusunnya. Dari hasil pengujian itu dapat dilakukan analisa terhadap kestabilan maupun kelemahan dari alat atau sistem tersebut.

4.1 Pengujian Keypad

Pengujian keypad ini dilakukan untuk mengetahui kesesuaian antara label pada *keypad* dan karakter yang akan di tampilkan.

Pada gambar 4.1 di bawah ini adalah blok diagram dari pengujian *keypad* dengan menggunakan sumber daya dari USB yang terhubung ke PC sebesar +5 Volt DC dan ditampilkan pada LCD 16x2.



Gambar 4.1 Blok diagram pengujian keypad



Gambar 4.2 Hasil pengujian keypad

Dari pengujian ini diperoleh data seperti pada Tabel 4.1 :

Tabel 4.1 Pengujian *Keypad*

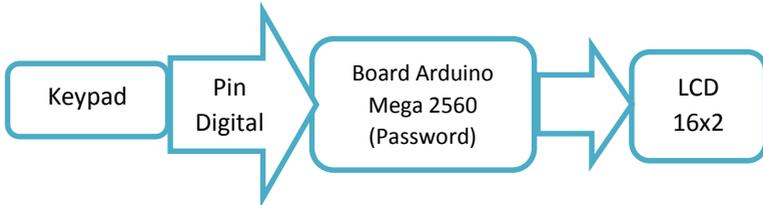
No	Label Keypad	Tampilan pada LCD
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	4
5	5	5
6	6	6
7	7	7
8	8	8
9	9	9
10	0	0
11	*	*
12	#	#
13	A	A
14	B	B
15	C	C
16	D	D

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dianalisa bahwa *keypad* bekerja sesuai dengan semestinya.

4.2 Pengujian Password

Pengujian *password* ini dilakukan untuk menguji karakter dari *keypad* dengan kombinasi kata sandi sesuai yang diinginkan.

Pada gambar 4.3 di bawah ini adalah blok diagram dari pengujian *password* dengan menggunakan sumber daya dari USB yang terhubung ke PC sebesar +5 Volt DC dan ditampilkan pada LCD 16x2.



Gambar 4.3 Blok diagram pengujian *password*



Gambar 4.4 Hasil pengujian *password*

Dari pengujian ini diperoleh data seperti pada Tabel 4.2 :

Tabel 4.2 Pengujian *Passwords*

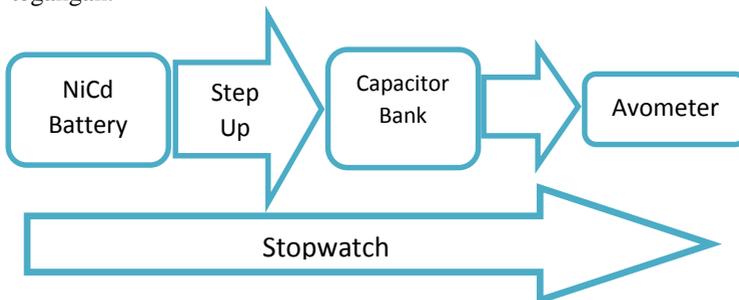
No	Password	Pengujian	Hasil
1	123456	112233	gagal
2	123456	445566	gagal
3	123456	778899	gagal
4	123456	123456	sukses
5	123456	654321	gagal

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat dianalisa bahwa *password* bekerja sesuai dengan semestinya.

4.3 Pengujian Charging Capacitor Bank

Pengujian *Charging Capacitor Bank* ini dilakukan untuk menguji batas maksimal kapasitor dapat menyimpan muatan listrik dan lama pengisiannya. Pengujian pada tahap ini dilakukan dengan menggunakan *avometer* untuk mengetahui tegangan yang dapat disimpan oleh kapasitor dan *stopwatch* untuk mengetahui lama waktu yang dibutuhkan untuk pengisian kapasitor.

Pada gambar 4.5 di bawah ini adalah blok diagram dari pengujian *Charging Capacitor Bank* dengan menggunakan sumber daya dari baterai jenis NiCd sebesar +4,5 Volt DC dan dihubungkan ke rangkaian pengali tegangan.



Gambar 4.5 Blok diagram pengujian *Charging Capacitor Bank*



Gambar 4.6 Hasil pengujian *Charging Capacitor Bank*

Dari pengujian ini diperoleh data seperti pada Tabel 4.3 :

Tabel 4.3 Pengujian *Charging Capacitor Bank*

No	Capacitor 1 (Volt)	Capacitor 2 (Volt)	Total (Volt)	Waktu pengisian
1	100	100	200	0.38 Menit
2	200	200	400	1.12 Menit
3	250	250	500	1.45 Menit
4	300	300	600	2.30 Menit

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat dianalisa bahwa *Capacitor bank* pada menit ke 0.38 menghasilkan tegangan sebesar 200 volt, pada menit ke 1.12 menghasilkan tegangan sebesar 400 volt pada menit ke 1.45 menghasilkan tegangan sebesar 500 volt, pada menit ke 2.30 menghasilkan tegangan sebesar 600 volt.

4.4 Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian sensor tegangan ini dilakukan untuk menguji tegangan dari kapasitor yang akan dibaca oleh mikrokontroler dan ditampilkan oleh LCD 16x2. Pengujian pada tahap ini dilakukan dengan memanfaatkan fitur ADC pada mikrokontroler untuk merubah tegangan analog ke tegangan digital sehingga dapat diproses oleh mikrokontroler. Lalu

tegangan pada kapasitor diukur menggunakan *avometer* dan nilai nya dibandingkan dengan yang ditampilkan oleh LCD 16x2.

Pada gambar 4.7 di bawah ini adalah blok diagram dari pengujian sensor tegangan dengan menggunakan sumber daya dari USB yang terhubung dengan PC sebesar +5 Volt DC dan ditampilkan pada LCD 16x2.



Gambar 4.7 Blok diagram pengujian sensor tegangan



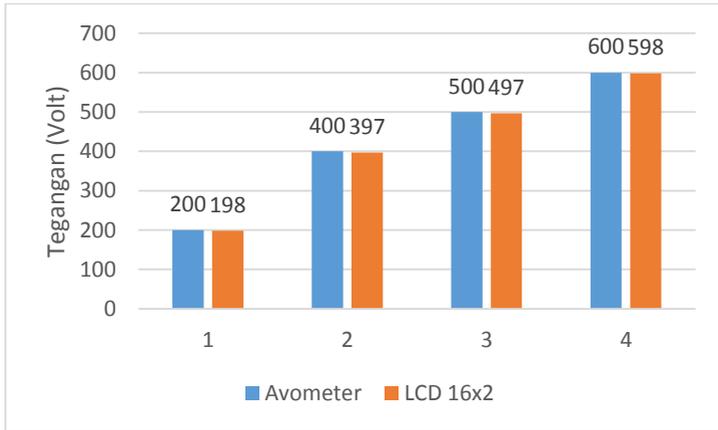
Gambar 4.8 Hasil pengujian sensor tegangan

Dari pengujian ini diperoleh data seperti pada Tabel 4.4 :

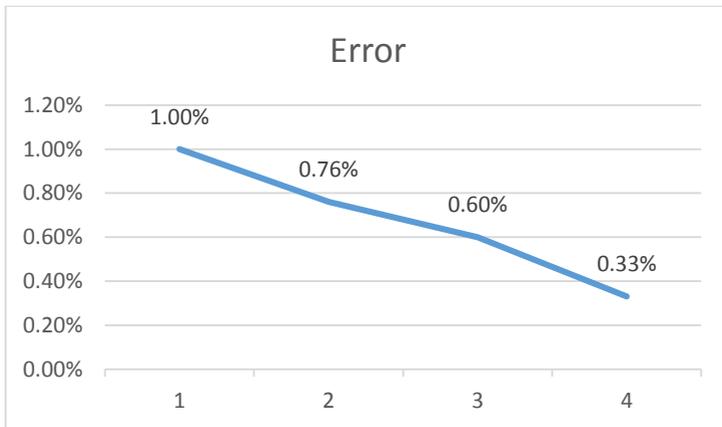
Tabel 4.4 Pengujian sensor tegangan

No	Avometer (Volt)	LCD 16x2 (Volt)	Error (%)
1	200	199	1
2	400	397	0,76
3	500	497	0,60
4	600	598	0,33

Dari Tabel 4.4 di atas diperoleh grafik seperti pada Gambar 4.9 dan 4.10 di bawah ini :



Gambar 4.9 Grafik hasil pengujian sensor tegangan



Gambar 4.10 Grafik hasil error dari perbandingan menggunakan *avometer* dengan yang ditampilkan pada LCD 16x2

Dari gambar 4.9 dan 4.10 di atas, dapat dianalisa linearitas data terhadap data uji coba menggunakan *avometer*. Untuk besarnya *error* data dari pengujian data kompas di luar ruangan dan di dalam ruangan dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Error \%} = \frac{(\text{Data yang tampil} - \text{data avometer}) \times 100 \%}{\text{Data avometer}}$$

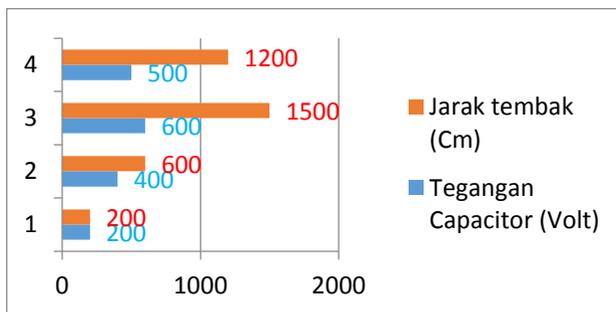
Tampak bahwa terdapat *error* terbesar dengan nilai 1%, ketika tegangan kapasitor sebesar 200 volt. Tetapi ketika tegangan kapasitor sebesar 600 volt terdapat *error* terkecil dengan nilai 0.33%. Dapat disimpulkan sementara bahwa semakin besar nilai tegangannya maka semakin kecil *error* yang dihasilkan.

4.5 Pengujian Integrasi Semua Sistem

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kestabilan dari alat yang telah dibuat. Pengujian ini melibatkan seluruh komponen yang telah dilakukan pada pengujian sebelumnya. Hasil Pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Pengujian Integrasi

No	Percobaan ke-	Mode	Tegangan Capacitor (Volt)	Jarak tembak (Cm)
1	1	Low Voltage	200	200
2	2	Mid Voltage	400	600
3	3	High Voltage	600	1500
4	4	Input Manual	500	1200



Gambar 4.11 Grafik hasil uji coba integrasi semua sistem



Gambar 4.12 Hasil pengujian integrasi semua sistem

Terlihat pada tabel 4.5 maupun grafik pada pengujian integrasi semua sistem pada gambar 4.11 bahwa ketika tegangan pada kapasitor bernilai minimal maka dihasilkan jarak tembak yang pendek. Begitu juga sebaliknya. Jika tegangan pada kapasitor bernilai maksimal maka dihasilkan jarak tembak yang jauh. Ini dikarenakan nilai dari suatu tegangan sebanding dengan jarak tembak.

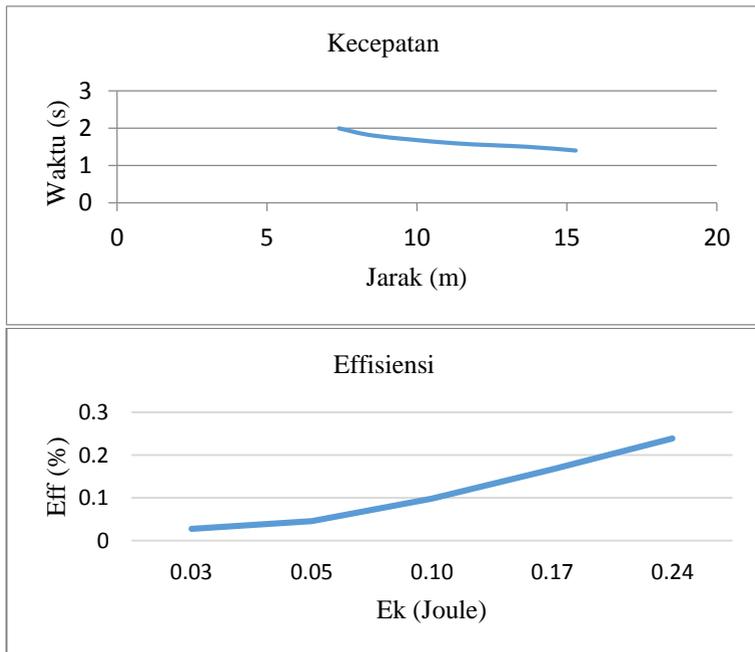
Dari pengujian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa alat ini dapat bekerja dengan baik. Jarak tembak dari alat ini dipengaruhi oleh tegangan dari kapasitor. Semakin besar nilai tegangan dari kapasitor, maka semakin jauh jarak tembaknya.

4.6 Perbandingan Hasil Uji Coba dengan Perencanaan

Dari hasil pengujian diperoleh data seperti pada Tabel 4.6 dan dari hasil data tersebut di peroleh grafik pengujian kecepatan lontar peluru dan efisiensi pada Gambar 4.13 di bawah ini.

Tabel 4.6 Hasil Uji Coba

No	Kecepatan (m/s)	Tinggi (meter)	Jarak (meter)	Waktu (detik)	energi kinetik (Joule)	Effisiensi (%)
1	3.7	1.5	7.4	2	0.02738	0.000894771
2	4.77778	1.2	8.6	1.8	0.045654321	0.001491971
3	7	1	11.2	1.6	0.098	0.003202614
4	9.13333	0.8	13.7	1.5	0.166835556	0.005452142
5	10.9286	0.5	15.3	1.4	0.238867347	0.007806122



Gambar 4.13 Grafik Hasil Uji Coba

Berdasarkan Tabel 4.6 dan Gambar 4.13, kecepatan lontaran peluru di dapat dari rumus $v = \frac{s}{t}$. Jarak terjauh lontaran peluru 15 meter dengan posisi tinggi penembak 0,5 meter menghasilkan kecepatan 10,9286 m/s dan jarak terdekat lontaran peluru 7,4 meter dengan posisi tinggi penembak 1.5 meter meter menghasilkan kecepatan 3,7 m/s. Berbanding lurus dengan efisiensi, semakin besar energi kinetik yang di hasilkan semakin besar efisiensinya.

Perbandingan kecepatan dari perencanaan dan hasil pengujian, dari hasil perencanaan / perhitungan didapatkan kecepatan lontaran peluru 1,348 m/s dan kecepatan lontaran peluru dari hasil uji coba 3,7 m/s.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil uji implementasi sistem Coil Gun Elektromagnetic ini diperoleh beberapa kesimpulan antara lain sebagai berikut:

1. Tegangan maksimal dari pengisian kapasitor mampu mencapai 600 volt selama 2.30 menit.
2. Jarak lontar peluru terdekat dengan tegangan kapasitor 200 Volt dapat mencapai 200 cm dan jarak lontar peluru terjauh 1.500 cm dicapai dengan tegangan maksimal 600 Volt.

5.2 Saran

Terkait dengan kendala dan kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, ada beberapa hal yang dapat penulis sarankan untuk pengembangan selanjutnya yaitu peningkatan waktu pengisian kapasitor bank sehingga lebih cepat, jarak lontar lebih jauh, dan pemilihan catu daya yang hemat energi sehingga dapat dipakai untuk beberapa kali pengisian.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kaye, Ronald J. “*Operational Requirements and Issues for Coilgun Electromagnetic Launchers*” Vol. 41, No. 1, 2005.
- [2] Jeong Lee, su., et al. “*Coil Gun Electromagnetic Launcher (EML) System with Multi-stage Electromagnetic Coils*” Vol.18(4), pp. 481-486, 2013.
- [3] Holzgrafe, Jeff., et al. “*Efect of Projectile Design on Coil Gun Performance*” 2014.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

LAMPIRAN

```
#include <Keypad.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Button.h>
#define Password_Lenght 10 // password 6 digit + NULL
char
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);

char Data[Password_Lenght]; of chars it can hold + the
    null char = 7
char Master[Password_Lenght] = "123456";
byte data_count = 0, master_count = 0;
bool Pass_is_good;
char customKey;

const byte baris = 4;
const byte kolom = 4;
char keys[baris][kolom] =
{
    {'1','2','3','A'},
    {'4','5','6','B'},
    {'7','8','9','C'},
    {'*','0','#','D'}
};

byte barisPins[baris] = {A0,A1,A2,A3}; //connect to
    the row pinouts of the keypad
byte kolomPins[kolom] = {A4,A5,A6,A7}; //connect to
    the column pinouts of the keypad

Keypad keypad( makeKeymap(keys), barisPins, kolomPins,
    baris, kolom); //initialize an instance of class
    NewKeypad
Button up = Button(13,PULLUP);
Button down = Button(12,PULLUP);
Button cancel = Button(11,PULLUP);
Button ok = Button(10,PULLUP);

unsigned char pilih;

void setup()
{
```

```

    lcd.begin(16, 2);
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("ELEKTROMAGNETIK");
    lcd.setCursor(4, 1);
    lcd.print("LAUNCHER");
    delay(2000);
    lcd.clear();
}

void loop()
{
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Enter Password : ");

    customKey = keypad.getKey();
    if (customKey) // makes sure a key is actually
        pressed, equal to (customKey != NO_KEY)
    {
        Data[data_count] = customKey; // store char into
        data array
        lcd.setCursor(data_count,1); // move cursor to
        show each new char
        lcd.print(Data[data_count]); // print char at said
        cursor
        data_count++; // increment data array by 1 to
        store new char, also keep track of the number of
        chars entered
    }

    if(data_count == Password_Lenght-4) // if the array
        index is equal to the number of expected chars,
        compare data to master
    {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("====Password====");

        if(!strcmp(Data, Master)) // equal to
            (strcmp(Data, Master) == 0)
        {
            //lcd.clear();
            lcd.setCursor(0,1);
            lcd.print("ACCESS ACCEPTED ");
            delay(1000);
        }
    }
}

```

```

        menu();
    }
    if(strcmp(Data, Master)!=0)
    {
        //lcd.clear();
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("ACCESS DENIED ");
    }
    delay(1000); // added 1 second delay to make sure
    the password is completely shown on screen before
    it gets cleared.
    lcd.clear();
    clearData();
}
}
void clearData()
{
    while(data_count !=0)
    { // This can be used for any array size,
        Data[data_count--] = 0; //clear array for new data
    }
    return;
}
void menu()
{
    menu_utama:
    pilih=0;
    lcd.clear();
    while(1)
    {
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("-----MENU-----");
        if(up.isPressed())
        {
            delay(250);pilih++;
            if(pilih>1){pilih=0;}
        }
        if(down.isPressed())
        {
            delay(250);pilih--;
            if(pilih<0){pilih=1;}
        }
    }
    if(pilih==0)

```

```

    {lcd.setCursor(0,1);lcd.print("1. START
    ");}
    if(pilih==1)
    {lcd.setCursor(0, 1);lcd.print("2. SETTING
    ");}
    if(ok.isPressed() & (pilih==0))
    {delay(250);pilih=0;lcd.clear();goto start;}
    if(ok.isPressed() & (pilih==1))
    {delay(250);pilih=0;goto setting;}
    if(cancel.isPressed())
    {
        delay(250);lcd.clear();
        lcd.setCursor(0,0);lcd.print("  TERIMA KASIH
    ");

    lcd.setCursor(0,1);lcd.print("=====");
        delay(1500);lcd.clear();
        return;
    }
}

start:
lcd.clear();
while(1)
{
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Start Charging  ");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(Data[6]);
    lcd.print(Data[7]);
    lcd.print(Data[8]);
    lcd.print(" Volt");
    if(cancel.isPressed())
    {delay(250);goto menu_utama;}
}

setting:
lcd.clear();
while(1)
{
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Input Level Teg ");
    if(up.isPressed())
    {
        delay(250);pilih++;
    }
}

```

```

        if(pilih>3){pilih=0;}
    }
    if(down.isPressed())
    {
        delay(250);pilih--;
        if(pilih>3){pilih=3;};
    }
    if(pilih==0)
    {lcd.setCursor(0,1);lcd.print("1. Low Voltage
");};
    if(pilih==1)
    {lcd.setCursor(0,1);lcd.print("2. Mid Voltage
");};
    if(pilih==2)
    {lcd.setCursor(0,1);lcd.print("3. High Voltage
");};
    if(pilih==3)
    {lcd.setCursor(0,1);lcd.print("4. Input Manual
");};
    if(ok.isPressed() & (pilih==0))
    {delay(250);pilih=0;goto low;}
    if(ok.isPressed() & (pilih==1))
    {delay(250);pilih=0;lcd.clear();goto mid;}
    if(ok.isPressed() & (pilih==2))
    {delay(250);pilih=0;lcd.clear();goto high;}
    if(ok.isPressed() & (pilih==3))
    {delay(250);pilih=0;lcd.clear();goto manual;}
    if(cancel.isPressed())
    {delay(250);goto menu_utama;}
}
low:
lcd.clear();
while(1)
{
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Low Voltage      ");
    if(ok.isPressed())
    {delay(250);goto menu_utama;}
    if(cancel.isPressed())
    {delay(250);goto setting;}
}

mid:
lcd.clear();

```

```

while(1)
{
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Mid Voltage      ");
    if(ok.isPressed())
    {delay(250);goto menu_utama;}
    if(cancel.isPressed())
    {delay(250);goto setting;}
}

high:
lcd.clear();
while(1)
{
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("High Voltage      ");
    if(ok.isPressed())
    {delay(250);goto menu_utama;}
    if(cancel.isPressed())
    {delay(250);goto setting;}
}

manual:
lcd.clear();
while(1)
{
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Input Manual      ");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Teg = ");
    //data_count=0;
    customKey = keypad.getKey();
    if (customKey) // makes sure a key is actually
    pressed, equal to (customKey != NO_KEY)
    {
        Data[data_count] = customKey; // store char into
        data array
        lcd.setCursor(data_count,1); // move cursor to
        show each new char
        lcd.print(Data[data_count]); // print char at
        said cursor
        data_count++; // increment data array by 1 to
        store new char, also keep track of the number of
        chars entered
    }
}

```

```
    }  
    lcd.setCursor(10,1);  
    lcd.print("Volt");  
    if(ok.isPressed())  
    {  
        delay(250);  
  
        goto menu_utama;  
    }  
    if(cancel.isPressed())  
    {delay(250);goto setting;}  
}  
}
```

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Luhung Gra Hawys. Lahir di Pamekasan, 25 Mei 1993. Putra dari Achmad Musleh dan Nurul Laila. Menamatkan pendidikan Sekolah Dasar di SDN Barurambat Kota II pada tahun 2005. Di tahun yang sama meneruskan pendidikan di SMPN 1 Pamekasan hingga 2008. Setelah itu masuk di SMAN 3 Pamekasan hingga 2011. Kemudian diterima di jurusan D3 Teknik Elektro Program Studi Teknik Telekomunikasi Politeknik Negeri Malang, lulus pada tahun 2014 dan di tahun yang sama mengikuti program lintas jalur ke S1 Teknik Elektro di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Fakultas Teknologi Elektro mengambil program studi Teknik Elektronika

E-mail: luhung.gra.hawys@gmail.com

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan