



**RANCANG BANGUN KAPASITANSI METER BERBASIS  
ARDUINO BOARD**

**SKRIPSI**

Oleh

**Afad Mirza Zulfy**

**NIM 130210102096**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA  
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2017**



**RANCANG BANGUN KAPASITANSI METER BERBASIS  
ARDUINO BOARD**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Pendidikan Fisika (S1) dan mencapai gelar Sarjana Pendidikan

Oleh

**Afad Mirza Zulfy**

**NIM 130210102096**

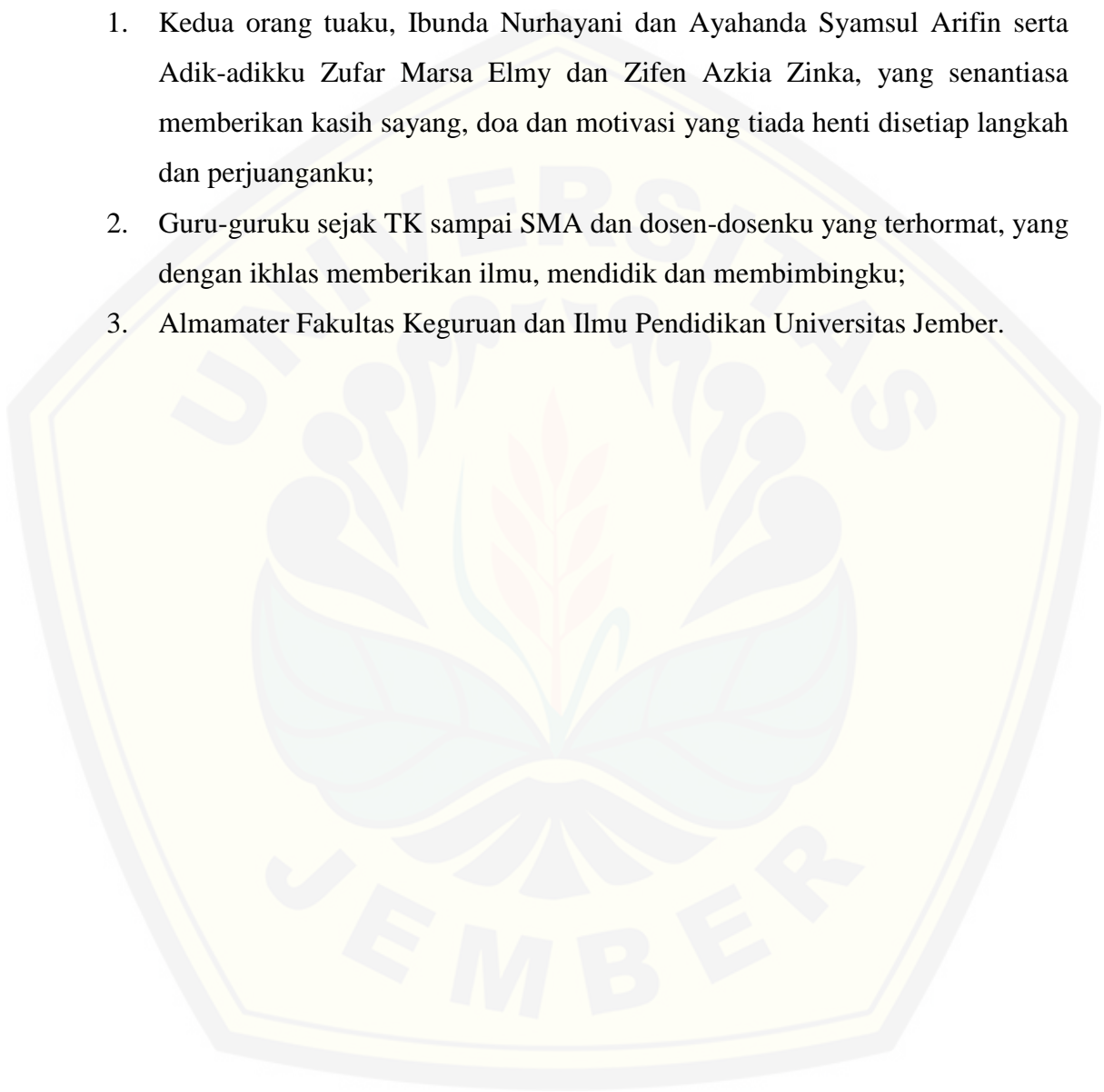
**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA  
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2017**

## PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah Subhanahu Wata'ala, skripsi ini saya persembahkan untuk :

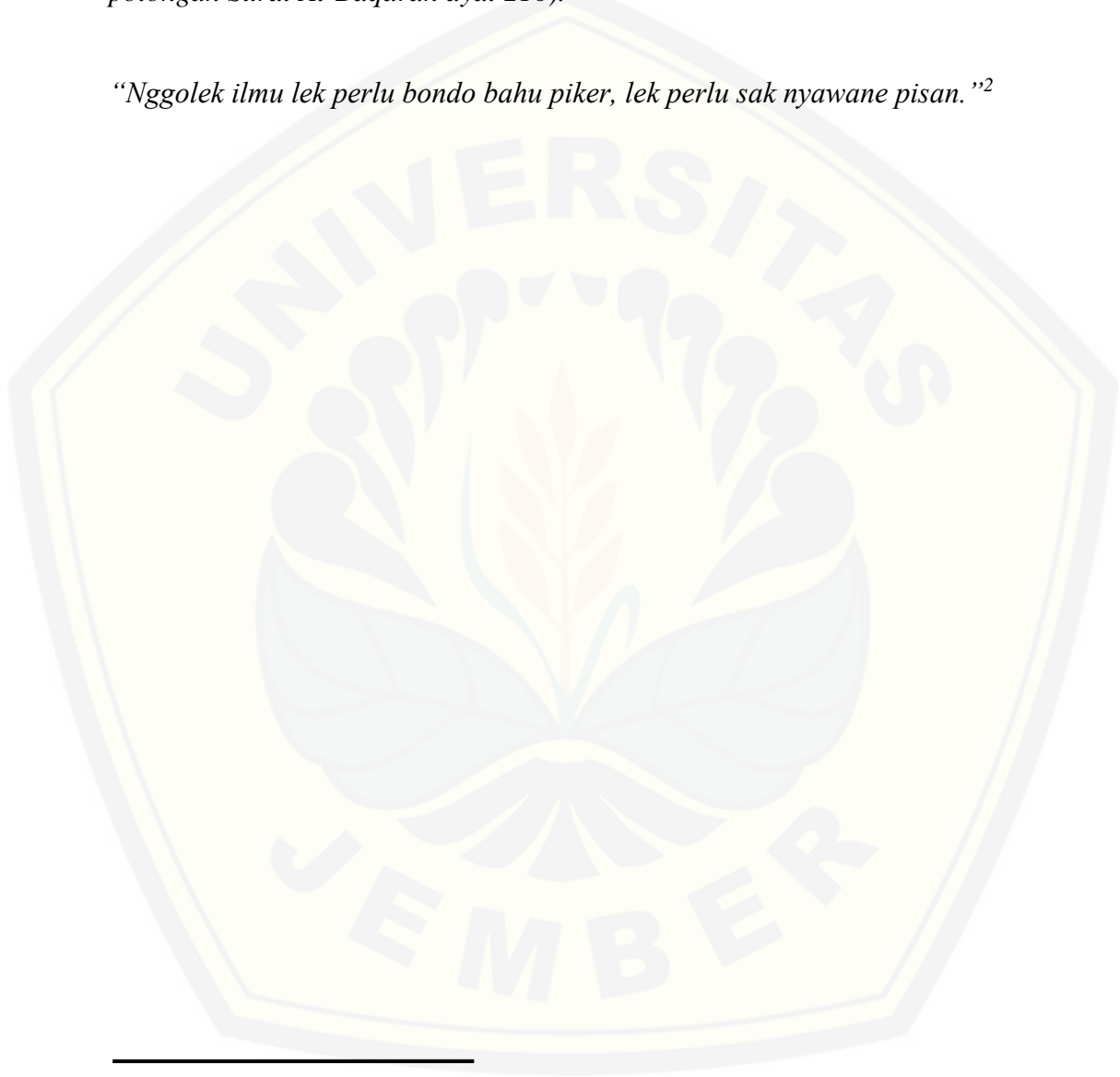
1. Kedua orang tuaku, Ibunda Nurhayani dan Ayahanda Syamsul Arifin serta Adik-adikku Zufar Marsa Elmy dan Zifen Azkia Zinka, yang senantiasa memberikan kasih sayang, doa dan motivasi yang tiada henti disetiap langkah dan perjuanganku;
2. Guru-guruku sejak TK sampai SMA dan dosen-dosenku yang terhormat, yang dengan ikhlas memberikan ilmu, mendidik dan membimbingku;
3. Almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.



## MOTTO

*“Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagi kamu. Dan boleh jadi kamu mencintai sesuatu, padahal ia amat buruk bagi kamu” (terjemahan potongan Surat Al-Baqarah ayat 216).<sup>1</sup>*

*“Nggolek ilmu lek perlu bondo bahu piker, lek perlu sak nyawane pisan.”<sup>2</sup>*



---

<sup>1</sup> Departemen Agama Republik Indonesia. 2000. Al-Qur'an dan Terjemahannya. Semarang: CV. Asy Syifa'.

<sup>2</sup> KH. Ahmad Sahal (salah satu pendiri Pondok Modern Gontor). [http://kliktemukan.blogspot.in/2012/04/kata-mutiara-trimurti-pondok-modern\\_15.html](http://kliktemukan.blogspot.in/2012/04/kata-mutiara-trimurti-pondok-modern_15.html). [Diakses pada : 02 Oktober 2017].

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Afad Mirza Zulfy

NIM : 130210102096

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Kapasitansi Meter Berbasis Arduino Board” adalah benar- benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, November 2017  
Yang menyatakan,

Afad Mirza Zulfy  
130210102096

**SKRIPSI**

**RANCANG BANGUN KAPASITANSI METER BERBASIS  
ARDUINO BOARD**

Oleh

**Afad Mirza Zulfy**

**NIM 130210102096**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Drs. Alex Harijanto, M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Rayendra Wahyu Bachtiar, S.Pd., M.Pd.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Rancang Bangun Kapasitansi Meter Berbasis Arduino Board”  
telah diuji dan disahkan pada :

Hari : Selasa

Tanggal : 14 November 2017

Tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Drs. Alex Harijanto, M.Si.  
NIP 19641117 199103 1 001

Rayendra Wahyu Bachtiar, S.Pd., M.Pd.  
NIP 19890119 201212 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Drs. Sri Handono Budi P., M.Si.  
NIP 19580318 198503 1 004

Dr. Yushardi, S.Si., M.Si.  
NIP 19650420 199512 1 001

Mengesahkan,  
Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan  
Universitas Jember,

Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D.  
NIP 19680802 199303 1 004

## RINGKASAN

**Rancang Bangun Kapasitansi Meter Berbasis Arduino Board;** Afad Mirza Zulfy; 130210102096; 2017; 89 Halaman; Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Kapasitansi merupakan ukuran jumlah muatan listrik yang tersimpan untuk beda potensial yang telah ditentukan. Salah satu komponen elektronik yang erat kaitannya dengan kapasitansi adalah kapasitor. Kapasitor terbuat dari dua buah keping logam yang dipisahkan oleh bahan dielektrik, seperti keramik, gelas, vakum, dan lain-lain. Muatan positif dan negatif akan berkumpul pada kedua ujung berlainan tersebut, apabila kedua ujung metal (*elektroda*) dihubungkan dengan sumber tegangan. Banyaknya muatan yang bisa disimpan kapasitor tersebut yang dinamakan kapasitansi. Kapasitansi biasanya dinyatakan dengan *farad*, *mikro farad*, *nano farad* hingga *pico farad*. Untuk mengukur kapasitansi sebuah kapasitor memerlukan alat ukur khusus yang bernama kapasitansi meter. Meskipun dalam kenyataannya kapasitor yang beredar di pasaran sudah memiliki nilai yang tercantum pada bodi kapasitor itu sendiri, tidak menutup kemungkinan penggunaan kapasitansi meter sangat diperlukan, apalagi ketika kapasitor digunakan dalam rangkaian elektronika yang memerlukan nilai kapasitansi yang akurat. Selain hal tersebut, kapasitansi meter juga sangat diperlukan dalam praktikum pembelajaran fisika, dalam hal ini praktikum kelistrikan tentang karakteristik kapasitor.

Selain menggunakan kapasitansi meter standar dari pabrikan, ternyata kita dapat membuat sebuah kapasitansi meter dengan menggunakan mikrokontroler, dalam hal ini adalah *arduino board* yang sudah terintegrasi baik dengan piranti lunaknya yakni *Arduino IDE*. Keunggulan dari penggunaan *arduino board* tersebut diantaranya adalah memiliki tingkat ketelitian yang tinggi, sehingga sangat baik jika digunakan sebagai alat ukur serta peneliti dapat dengan mudah memodifikasi alat ukur yang akan dibuat sesuai dengan keinginan. Dari uraian tersebut peneliti tertarik untuk merancang alat ukur kapasitansi meter menggunakan *arduino board*. Tujuan dari penelitian ini adalah : (1) mengetahui bagaimana rancang bangun alat



ukur kapasitansi meter berbasis *arduino board*, (2) mengetahui sistem kerja dari kapasitansi meter berbasis *arduino board*.

Berdasarkan analisis data pada penelitian kapasitansi meter berbasis *arduino board*, menunjukkan bahwa kapasitansi meter berbasis *arduino board* dapat dibuat dengan tiga desain (rangkaiannya), yakni rangkaian RC, rangkaian komparator dengan memanfaatkan IC Op-Amp LM-741 dan rangkaian monostable dengan menggunakan IC Timer 555. Ketiga rangkaian tersebut selanjutnya dihubungkan dengan *arduino board* yang sudah diprogram sedemikian rupa dengan memasukkan *coding* atau bahasa pemrograman melalui *arduino IDE*, kemudian *arduino board* menampilkan hasil pengukuran kapasitansi sebuah kapasitor yang diukur. Secara garis besar cara kerja dari kapasitansi meter berbasis *arduino board* tersebut dimulai dari pertama kali kapasitor yang akan kita ukur disambungkan ke kapasitansi meter berbasis *arduino*, yang selanjutnya terjadi proses pengisian kapasitor yang melibatkan rangkaian-rangkaian yang digunakan, baik rangkaian RC, rangkaian komparator dan rangkaian monostable. Selanjutnya *arduino* menghitung waktu pengisian kapasitor yang berlangsung yang selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai kapasitansi pada kapasitor yang kita ukur dengan menggunakan persamaan :

$$C = \frac{\tau}{R}$$

Dari ketiga desain kapasitansi meter berbasis *arduino board* tersebut, kapasitansi meter yang memanfaatkan rangkaian RC memiliki tingkat ketelitian rata-rata paling tinggi yakni 95,7699 %. Dan untuk kapasitansi meter yang menggunakan rangkaian komparator memiliki kemampuan pengukuran dengan *range* terbesar, yakni dari 1,5 pF hingga 2200  $\mu$ F.

## PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan berkah, rahmat dan hidayah-Nya, serta puji syukur kepada junjungan Nabi Besar Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Kapasitansi Meter Berbasis Arduino Board”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
2. Dr. Dwi Wahyuni, M.Kes., selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA;
3. Drs. Bambang Supriadi, M.Sc., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Fisika;
4. Drs. Alex Harijanto, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Rayendra Wahyu Bachtiar, S.Pd., M.Pd., yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya penulisan skripsi ini;
5. Drs. Sri Handono Budi Prastowo, M.Si., selaku Dosen Penguji Utama dan Dr. Yushardi, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji Anggota, yang telah meluangkan waktu dan pikiran guna memberikan saran dan masukan demi terselesaikannya penulisan skripsi ini;
6. Bapak dan Ibu dosen Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember, khususnya Bapak dan Ibu dosen Program Studi Pendidikan Fisika yang selama 4 tahun sudah memberikan ilmu yang semoga bermanfaat untuk penulis dalam menempuh jenjang selanjutnya.
7. Teman-teman Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Jember angkatan 2013 yang selama ini sudah menjadi bagian dari penulis selama kuliah di Universitas Jember

8. Teman-teman LELAKI 2013, ketawa, marah, drama dan konyol bareng sudah dilewati bersama dan terima kasih banyak sudah menjadi teman-teman yang kompak selama ini, dan
9. Teman-teman KOS 37, Ade, Tommy, Fariz, dan Alfido yang selalu memberikan semangat dan saling bahu membahu selama hidup di rantau.

Penulis menyadari adanya keterbatasan dan kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Untuk itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan penulisan selanjutnya. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Amin.

Jember, November 2017  
Penulis,

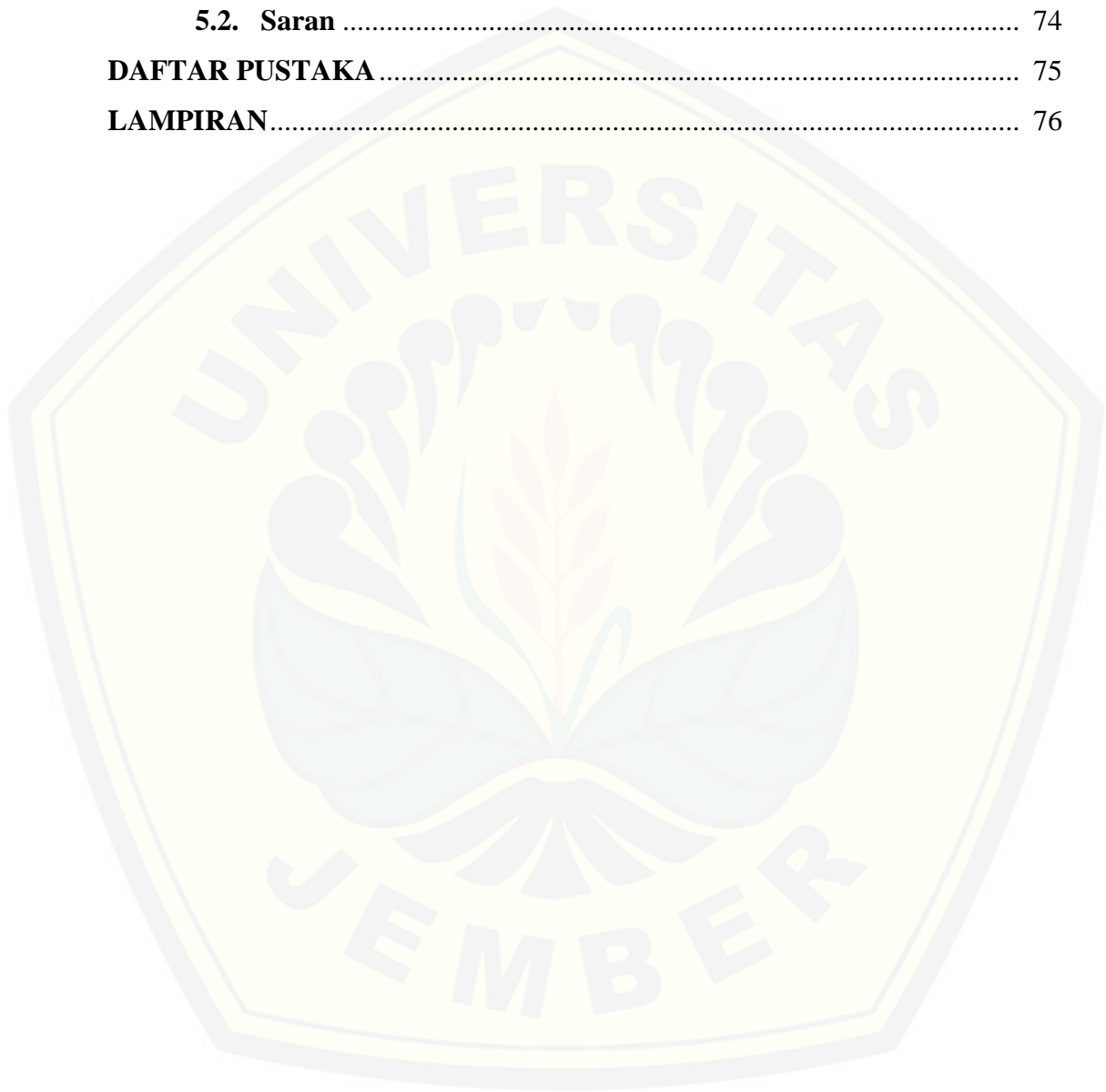
Afad Mirza Zulfy

DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1. Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2. Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3. Tujuan</b> .....	4
<b>1.4. Manfaat Penelitian</b> .....	4
<b>1.5. Batasan Masalah</b> .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1. Kapasitor</b> .....	5
2.1.1. Kapasitansi Kapasitor .....	7
2.1.2. Energi yang Tersimpan di Dalam Kapasitor .....	7
2.1.3. Jenis Kapasitor.....	8
<b>2.2. Rangkaian RC</b> .....	10
2.2.1. Pengisian Kapasitor .....	10
2.2.2. Konstanta Waktu Rangkaian RC .....	13
2.2.3. Pengosongan Kapasitor .....	15

<b>2.3. Pengukuran Kapasitansi</b> .....	17
2.3.1. Mengukur Kapasitansi Menggunakan LCR Meter.....	17
2.3.2. Mengukur Kapasitansi Menggunakan Multimeter .....	18
<b>2.4. Arduino</b> .....	20
2.4.1. Arduino Uno .....	21
<b>2.5. Operational Amplifier (Op-Amp)</b> .....	24
2.5.1. Op-Amp LM 741 .....	24
2.5.2. Rangkaian Komparator dengan LM 741 .....	26
<b>2.6. Rangkaian Monostable dengan IC 555</b> .....	27
2.6.1. IC Timer 555 .....	27
2.6.2. Rangkaian Monostable .....	30
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	32
<b>3.1. Jenis Penelitian</b> .....	32
<b>3.2. Tempat dan Waktu Penelitian</b> .....	32
<b>3.3. Variabel Penelitian dan Definisi Operasional Variabel</b> .....	32
3.3.1. Variabel Penelitian .....	32
3.3.2. Definisi Operasional Variabel .....	33
<b>3.4. Alat dan Bahan Penelitian</b> .....	34
<b>3.5. Desain Alat Penelitian</b> .....	34
3.5.1. Desain Alat Penelitian I.....	35
3.5.2. Desain Alat Penelitian II.....	36
3.5.3. Desain Alat Penelitian III .....	38
<b>3.6. Alur Penelitian</b> .....	40
<b>3.7. Langkah Penelitian</b> .....	41
<b>3.8. Teknik Penyajian Data</b> .....	42
<b>3.9. Teknik Analisis Data</b> .....	43
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	45
<b>4.1. Hasil Penelitian</b> .....	45
4.1.1. Prosedur Pembuatan Kapasitansi Meter Berbasis Arduino Board .....	45
4.1.2. Sistem Kerja Kapasitansi Meter Berbasis Arduino Board ..	46

4.1.3. Pengujian Prototipe dan Hasil Pengukuran Kapasitor.....	52
4.2. Pembahasan.....	70
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>74</b>
5.1. Kesimpulan.....	74
5.2. Saran.....	74
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>75</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>76</b>



**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Tetapan dan kekuatan bahan dielektrik beberapa bahan penyusun kapasitor .....	10
2.2 Konstanta waktu rangkaian RC.....	15
2.3 Spesifikasi arduino uno board.....	22
2.4 Konfigurasi dan fungsi pin Atmega 328 P.....	23
2.5 Konfigurasi alternative port D.....	23
2.6 Spesifikasi Op-Amp LM 741.....	25
3.1 Penyajian data hasil pengukuran kapasitansi kapasitor.....	42
4.1 Hasil pengukuran desain I.....	53
4.2 Hasil tes normalitas data pengukuran desain I.....	54
4.3 Hasil transformasi dari data pengukuran desain I.....	55
4.4 Hasil tes normalitas dari transformasi data pengukuran desain I.....	55
4.5 Hasil tes regresi linier sederhana data pengukuran desain I.....	56
4.6 Hasil pengukuran desain II.....	58
4.7 Hasil tes normalitas data pengukuran desain II.....	60
4.8 Hasil transformasi dari data pengukuran desain II.....	60
4.9 Hasil tes normalitas dari transformasi data pengukuran desain II.....	61
4.10 Hasil tes regresi linier sederhana data pengukuran desain II.....	61
4.11 Hasil pengukuran desain III.....	64
4.12 Hasil tes normalitas data pengukuran desain III.....	65
4.13 Hasil transformasi dari data pengukuran desain III.....	66
4.14 Hasil tes normalitas dari transformasi data pengukuran desain III.....	67
4.15 Hasil tes regresi linier sederhana data pengukuran desain III.....	67

**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
2.1 Dua buah konduktor yang terpisahkan oleh insulator (ruang vakum) .....	5
2.2 Proses yang terjadi dalam kapasitor saat diberikan beda potensial .....	6
2.3 Kapasitor dan Resistor terhubung dengan sumber tegangan. Kiri saat saklar terbuka dan kanan saat saklar tertutup .....	11
2.4 (a) grafik penurunan arus terhadap waktu; (b) grafik peningkatan muatan kapasitor terhadap waktu.....	12
2.5 Kurva pengisian dan pengosongan kapasitor dengan konstanta waktu .....	14
2.6 Proses Pengosongan Kapasitor .....	16
2.7 (a) Grafik arus pada pengosongan kapasitor (b) Grafik muatan pada pengosongan kapasitor .....	17
2.8 LCR Meter .....	18
2.9 Ilustrasi mengukur kapasitansi pada sebuah kapasitor dengan multimeter analog .....	19
2.10 Arduino Uno Board.....	21
2.11 Konfigurasi Pin Atmega168/328 .....	22
2.12 Lambang Op-Amp pada rangkaian .....	24
2.13 Pin Out LM 741 .....	25
2.14 Rangkaian Komparator dengan Op-Amp.....	26
2.15 Konfigurasi kaki IC 555.....	28
2.16 Pin Out IC 555 .....	29
2.17 Rangkaian Monostable IC 555.....	30
3.1 Desain Penelitian I : Kapasitansi Meter dengan Rangkaian RC .....	35
3.2 Rangkaian desain penelitian I .....	35
3.3 Diagram alir desain penelitian pertama (a) langkah kerja kapasitansi meter; (b) proses perhitungan pada kapasitansi meter .....	36
3.4 Desain Penelitian II : Kapasitansi Meter dengan Op-Amp LM741 .....	36
3.5 Rangkaian desain penelitian II .....	37



3.6	Diagram alir desain penelitian kedua (a) langkah kerja kapasitansi meter; (b) proses perhitungan pada kapasitansi meter .....	38
3.7	Desain Penelitian III : Kapasitansi meter dengan IC Timer 555 .....	38
3.8	Rangkaian desain penelitian III.....	39
3.9	Diagram alir desain penelitian ketiga (a) langkah kerja kapasitansi meter; (b) proses perhitungan pada kapasitansi meter .....	40
3.10	Skema alur penelitian.....	40
4.1	Skema kapasitansi meter dengan rangkaian <i>RC</i> .....	47
4.2	Skema kapasitansi meter dengan rangkaian komparator .....	48
4.3	Skema kapasitansi meter dengan rangkaian <i>monostable</i> .....	51
4.4	Hasil rancangan prototipe desain I.....	53
4.5	Grafik P-Plot Normalisasi Regresi desain I .....	56
4.6	Grafik hubungan kapasitansi dan waktu dalam kapasitor pada desain I....	57
4.7	Grafik hubungan tegangan dan waktu dalam kapasitor pada desain I.....	57
4.8	Hasil rancangan prototype desain II.....	58
4.9	Grafik P-Plot Normalisasi Regresi desain II.....	62
4.10	Grafik hubungan kapasitansi dan waktu dalam kapasitor pada desain II ..	63
4.11	Grafik hubungan tegangan dan waktu dalam kapasitor pada desain II.....	63
4.12	Hasil rancangan prototype desain III .....	64
4.13	Grafik P-Plot Normalisasi Regresi desain III .....	67
4.14	Grafik hubungan kapasitansi dan waktu dalam kapasitor pada desain III .	68
4.15	Grafik hubungan tegangan dan waktu dalam kapasitor pada desain III ....	69
4.13	Grafik perbedaan masing-masing desain .....	69

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
A. Matrik Penelitian.....	74
B. Bahasa Pemrograman Kapasitansi Meter Berbasis Arduino Board.....	75
C. Prosedur Pembuatan Kapasitansi Meter Berbasis Arduino Board.....	82
D. Tabel Hasil Pengukuran pada Masing-Masing Desain Kapasitansi Meter Berbasis Arduino Board.....	85
E. Foto Kegiatan Penelitian.....	87

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Kapasitansi merupakan ukuran jumlah muatan listrik yang tersimpan untuk beda potensial yang telah ditentukan. Piranti atau alat yang biasa kita temukan untuk menyimpan sebuah muatan dalam beda potensial tertentu, salah satunya adalah kapasitor. Kapasitor terbuat dari dua buah keping logam yang dipisahkan oleh bahan dielektrik, seperti keramik, gelas, vakum, dan lain-lain. Muatan positif dan negatif akan berkumpul pada kedua ujung berlainan tersebut, apabila kedua ujung metal (*elektroda*) dihubungkan dengan sumber tegangan. Banyaknya muatan yang bisa disimpan kapasitor tersebut yang dinamakan kapasitansi. Kapasitansi biasanya dinyatakan dengan *farad*, *mikro farad*, *nano farad* hingga *pico farad*. Penamaan tersebut di ambil dari nama belakang seorang ilmuwan yang sudah berkontribusi dalam konsep kapasitansi yakni Michael Faraday. Untuk mengukur sebuah kapasitansi bisa menggunakan beberapa alat ukur, misalnya menggunakan *LCR meter* dan *multimeter*, akan tetapi kapasitansi mempunyai alat ukur khusus yang bernama kapasitansi meter.

Kapasitansi meter digunakan untuk memastikan nilai dari kapasitas kapasitor. Meskipun dalam kenyataannya kapasitor memiliki nilai kapasitansi yang sudah tertulis di badan kapasitor, biasanya nilai tersebut kurang tepat atau memiliki nilai eror, sehingga untuk sebuah rangkaian elektronika yang membutuhkan ketelitian yang tinggi pada nilai komponen-komponen yang digunakan, alat ukur menjadi sebuah keperluan utama. Kapasitansi meter sangat diperlukan dalam kegiatan praktikum di laboratorium fisika, baik pada jenjang sekolah menengah maupun jenjang perkuliahan. Misalnya saja pembuktian hasil perhitungan kapasitansi kapasitor pada kapasitor yang disusun secara seri atau paralel serta percobaan kelistrikan dalam hal ini pengisian dan pengosongan kapasitor, seperti disebutkan dalam silabus fisika kurikulum 2013 terbaru pada kompetensi dasar 4.2 dan atau digunakan untuk menghitung konstanta dielektrik dari sebuah bahan.

Banyaknya fungsi dari kapasitansi meter tersebut, tidak menjadikan kapasitansi meter sebagai alat ukur yang sering digunakan. Beberapa penyebabnya adalah kapasitansi meter yang beredar saat ini memiliki harga yang lumayan mahal dan rentang pengukuran yang tidak terlalu besar. Kebanyakan dari pengguna alat ukur komponen elektronika, lebih memilih alat ukur *all in one* seperti multimeter dan *LCR meter*, dengan harga dan rentang pengukuran yang hampir sama dengan kapasitansi meter pabrikan, alat ukur *all in one* sudah memiliki banyak fungsi. Kelemahan lainnya dari alat ukur kapasitansi yang tersedia saat ini, hanya bisa mengukur nilai dari kapasitas kapasitor. Seiring dengan berkembangnya penelitian saat ini, pengukuran kapasitor bukan hanya memerlukan nilai dari kapasitas kapasitor, akan tetapi karakteristik dari kapasitor, misalnya proses pengisian dan pengosongan kapasitor, juga menjadi hal yang sangat penting dalam sebuah penelitian. Salah satu cara untuk mengatasi keadaan tersebut adalah dengan membuat ulang kapasitansi meter yang memiliki rentang pengukuran yang besar, tingkat ketelitian yang tinggi, biaya yang murah dan juga dapat digunakan untuk meneliti karakteristik kapasitor.

Saat ini terdapat mikrokontroler yang sudah terpadu dengan *software*-nya, salah satunya adalah *Arduino* dengan *software*-nya yang bernama *Arduino IDE*. Untuk piranti kerasnya *arduino* terdiri dari berbagai macam, seperti *arduino uno*, *arduino mega*, *arduino nano* dan lain sebagainya. Sedangkan untuk piranti lunak nya, yakni *Arduino IDE* merupakan *software* untuk memasukkan perintah-perintah yang kita inginkan kedalam piranti keras *arduino*. Piranti lunak *arduino* ini bersifat *open source*, jadi setiap orang bisa menggunakannya dan gratis. Saat ini *Arduino IDE* sudah mencapai versi 1.8.2 (arduino.cc, 2017). Antara piranti keras dan lunak milik *arduino* sudah terintegrasi secara baik sehingga setiap orang yang ingin menggunakannya bisa dengan mudah untuk mengoperasikan kedua piranti tersebut.

Jenis *arduino* yang sering digunakan oleh pemula untuk penelitian dan pengembangan adalah jenis *arduino uno*. Harga *arduino uno* berkisar antara 80.000-120.000 rupiah, menjadikan *arduino uno* sebagai salah satu mikrokontroler yang banyak sekali digunakan untuk eksperimen. Menurut D'Ausilio (2011) *arduino uno* merupakan pilihan tepat untuk melakukan eksperimen yang

mebutuhkan *input* dan *output* yang tingkat akurasi tinggi. Dalam eksperimennya, beliau melakukan 8 kali tes dengan desain tes yang berbeda-beda untuk mengetahui tingkat akurasi dari *arduino uno*, didapatkan hasil bahwa *arduino uno* memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Oleh karena itu, *arduino uno* banyak sekali kegunaannya, salah satunya adalah membuat ulang alat ukur. Ditambah dengan sedikit rangkaian luar (sensor), *arduino uno* bisa berubah menjadi alat pengukur suhu, pengukur intensitas cahaya, pengukur tegangan dan lain-lain bahkan *arduino uno* bisa digunakan untuk membuat ulang sebuah kapasitansi meter.

Penelitian terkait dengan implementasi *arduino* yang dijadikan alat ukur banyak sekali ditemukan. Misalkan saja penelitian Srividyadevi (2013) yang menghitung usaha dan energi pada pemakaian listrik menggunakan *arduino*, rancang bangun alat ukur desibel meter dengan *arduino* yang dilakukan oleh Tuwaidan (2015) dan penelitian yang terkait dengan kapasitansi meter menggunakan *arduino uno* yang dilakukan oleh Hamid (2016) untuk mengukur tingkat kematangan buah tomat. Kelemahannya, desain kapasitansi meter yang dirancang oleh Hamid (2016) hanya bisa digunakan untuk mengukur kematangan buah tomat, tidak bisa digunakan untuk mengukur kapasitor secara umum. Dalam penelitian ini, peneliti ingin membuat beberapa desain rancang bangun kapasitansi meter untuk mengetahui tingkat akurasi dan range (jarak ukur) masing-masing desain.

Berdasarkan penjelasan di atas dan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, peneliti tertarik untuk merancang dan membuat ulang kapasitansi meter menggunakan *arduino board*. Oleh karena itu penelitian ini berjudul **“Rancang Bangun Kapasitansi Meter Berbasis *Arduino Board*”**.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan suatu permasalahan, sebagai berikut :

- a. Bagaimana rancang bangun kapasitansi meter berbasis *arduino board*?
- b. Bagaimana sistem kerja dari kapasitansi meter berbasis *arduino board*?

### 1.3. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengetahui rancang bangun alat ukur kapasitansi meter berbasis *arduino board*
- b. Mengetahui sistem kerja dari kapasitansi meter berbasis *arduino board*

### 1.4. Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang hendak dicapai, maka penelitian ini diharapkan bermanfaat. Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Bagi peneliti, sebagai pengalaman dan latihan untuk menambah pengetahuan dan pemahaman mengenai mikrokontroler khususnya *arduino board*
- b. Bagi peneliti lain, dapat digunakan sebagai bahan referensi untuk mengembangkan dan melanjutkan penelitian selanjutnya yang sejenis
- c. Bagi pendidikan, dapat digunakan sebagai alat ukur pada kegiatan praktikum sehingga bisa membantu praktikan untuk lebih paham karakteristik dari kapasitor.

### 1.5. Batasan Masalah

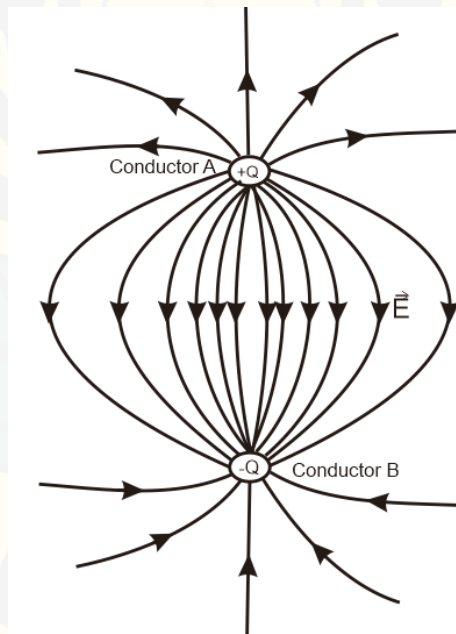
Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Mikrokontroler yang digunakan adalah arduino uno R3 dengan ATMEGA 328P sebagai *IC*-nya.
- b. Penelitian dilakukan diruangan yang sama, yakni laboratorium lanjut Pendidikan Fisika Universitas Jember
- c. Range (jarak ukur) dari alat ini mulai dari 1,5 pF sampai 2200  $\mu$ F.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Kapasitor

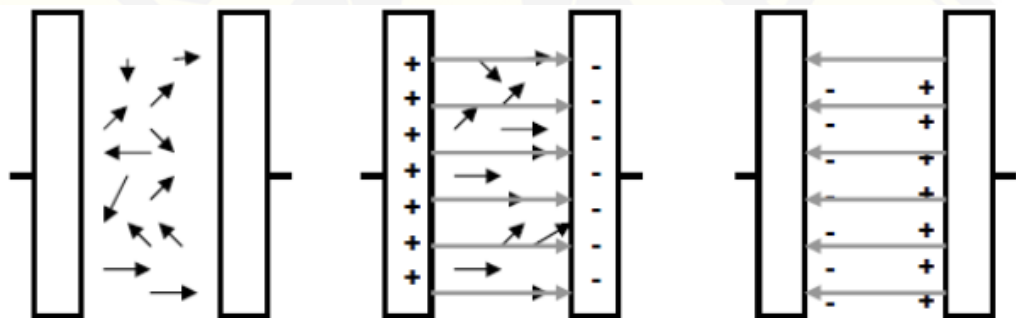
Kapasitor banyak digunakan dalam sirkuit elektronik dan mengerjakan berbagai fungsi. Pada dasarnya kapasitor merupakan alat penyimpan muatan listrik yang dibentuk dari dua permukaan (piringan) yang berhubungan, tetapi dipisahkan oleh suatu penyekat. Menurut Sinclair dan Dunton (2007:29) kapasitor merupakan komponen elektronika yang terdiri dari dua plat konduktor yang tidak saling bersentuhan dan dipisahkan oleh bahan isolator (dielektrik) yang ditemukan oleh Michael Faraday pada tahun 1791-1867, sedangkan menurut Young dan Freedman (2008 : 816) apabila ada dua buah konduktor yang terpisahkan oleh insulator (ruang vakum) disebut dengan kapasitor (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Dua buah konduktor yang terpisahkan oleh insulator (ruang vakum)

Perhatikan dua buah konduktor yang membawa muatan yang memiliki besar yang sama, tetapi berbeda tanda, seperti yang ditunjukkan gambar di atas. Kombinasi dari kedua konduktor itu disebut dengan kapasitor (Serway dan Jewett, 2010:210)

Kapasitor (yang pada awalnya disebut kondensator) secara struktur prinsipnya terdiri dari dua buah pelat konduktor yang berlawanan muatan, masing-masing memiliki luas permukaan  $A$  dan mempunyai muatan persatuan luas. Konduktor dipisahkan oleh sebuah zat dielektrik yang bersifat isolator sejauh  $d$ . Zat inilah yang nantinya akan memerangkap (menampung) elektron-elektron bebas. Muatan berada pada permukaan konduktor yang jumlah totalnya adalah nol. Hal ini disebabkan jumlah muatan negative dan positif sama besar. Bahan dielektriknya adalah bahan yang jika tidak terdapat medan listrik bersifat isolator, namun jika medan listrik yang melewatinya, maka akan terbentuk dipol-dipol listrik, yang arah medan magnetnya melawan medan listrik semula (Rianto, 2005 : 86-87)



*Sebelum adanya muatan pada kedua pelat, bahan dielektrik memiliki dipole acak sehingga bersifat isolator*

*Setelah pelat bermuatan yang menghasilkan medan listrik ke arah kanan, muatan pada dielektrik terpolarisasi oleh medan listrik. Muatan positif perlahan-lahan menuju pelat negatif dan muatan negatif ke pelat positif*

*Akibatnya terdapat medan listrik baru pada dielektrik yang melawan medan listrik semula yang saling menghilangkan, sehingga medan listrik total menjadi nol, dan arus berhenti mengalir*

Gambar 2.2 Proses yang terjadi dalam kapasitor saat diberikan beda potensial (Sumber : Chanif, 2014)

Dari uraian di atas, kegunaan dari kapasitor adalah sebagai berikut :

- a. Menyimpan muatan listrik
- b. Memilih gelombang radio (*tuning*)
- c. Perata arus pada *rectifier*
- d. Komponen rangkaian starter kendaraan bermotor
- e. Memadamkan bunga api pada sistem pengapian model
- f. Sebagai filter dalam catu daya (*power supllay*)



### 2.1.1. Kapasitansi Kapasitor

Seperti disebutkan sebelumnya bahwasannya sebuah kapasitor terdiri dari dua buah konduktor yang berdekatan, jika kedua konduktor dipisahkan oleh isolator (bisa berupa udara), dan antara kedua konduktor itu dihubungkan dengan kutub-kutub baterai maka beda potensial antara kedua kutub itu senilai dengan beda potensial antara kedua konduktor. Isolator diantara kedua konduktor itu disebut *dielektrik*. Diantara kedua konduktor terdapat medan listrik, sehingga di tempat itu tersimpan tenaga potensial. Beda potensial antar konduktor ( $V$ ) sebanding dengan muatan yang tersimpan ( $Q$ ) pada konduktor, dan tetapan kesebandingannya adalah  $C$  yang bersatuan farad (=coulomb/volt) (Murdaka dan Kuntoro, 2010 : 46).

Kapasitansi adalah ukuran kapasitas suatu kapasitor untuk menyimpan muatan terhadap beda potensial yang diberikan. Satuan kapasitansi adalah coulomb per volt dan satuan tersebut dinamakan farad (F). Nama farad diberikan untuk menghormati Michael Faraday atas kontribusinya mengembangkan konsep kapasitansi. Kapasitansi biasa dinyatakan dalam kaitan :

$$C = \frac{Q}{V} \text{ atau } C = \frac{dQ}{dV} \quad (2.1)$$

Persamaan di atas tidak boleh dimaknai bahwa  $C$  bergantung pada  $Q$  dan atau  $V$ , tetapi harus dimaknai bahwa  $C$  hanyalah tetapan kesebandingan antara  $Q$  dengan  $V$ . Nilai  $C$  sebuah kapasitor dapat diperbesar dengan cara memperkecil  $V$  pada nilai  $Q$  yang tetap. Hal ini dapat dilakukan anatara lain dengan meletakkan sebuah isolator (dielektrik) di antara kedua konduktor itu. Nilai  $C$  sebuah kapasitor bergantung pada : geometri konduktor, jenis dielektrik, dimensi kapasitor dan jarak antara kedua konduktor (Murdaka dan Kuntoro, 2010 : 46).

### 2.1.2. Energi yang Tersimpan di Dalam Kapasitor

Pemilihan kapasitor dalam suatu rangkaian tergantung dari kemampuan kapasitor tersebut untuk menyimpan energi. Energi yang tersimpan pada kapasitor sama dengan usaha yang di gunakan saat pengisian kapasitor berlangsung. Ketika kapasitor tersebut mengalami pengosongan, energi yang tersimpan tersebut meng-cover usaha yang sudah dilakukan oleh gaya listrik. Kita dapat menghitung energi potensial  $U$  dari sebuah kapasitor dengan cara menghitung usaha  $W$  yang

dibutuhkan untuk pengisian kapasitor tersebut. Kita anggap bahwasannya ketika pengisian sudah selesai, pengisian terakhir (muatan) adalah  $Q$  dan beda potensial terakhir adalah  $V$ . Sehingga berlaku

$$V = \frac{Q}{C} \quad (2.2)$$

Biarkan  $q$  dan  $v$  yang masing-masing sebagai muatan dan beda potensial selama tahap pengisian, kemudian  $v = \frac{q}{C}$ . Pada tahap ini usaha  $dW$  yang dibutuhkan untuk proses pengisian  $dq$  adalah

$$dW = v dq = \frac{q dq}{C} \quad (2.3)$$

Sehingga usaha total yang dibutuhkan untuk pengisian  $q$  dari nol sampai akhir nilai  $Q$  adalah

$$W = \int_0^Q dW = \frac{1}{C} \int_0^Q q dq = \frac{Q^2}{2C} \quad (2.4)$$

Jika kita definisikan energi potensial pada saat pengosongan kapasitor adalah nol, kemudian usaha pada persamaan (2.4) adalah sama dengan energi potensial  $U$  dari pengisian kapasitor. Muatan akhir  $Q = CV$ , maka kita dapat menyebutkan bahwa  $U$  (sama dengan  $W$ ) sebagai

$$U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} QV \quad (2.5)$$

Persamaan tersebut merupakan total energi potensial yang tersimpan pada kapasitor (Young dan Freedman, 2008 : 824)

### 2.1.3. Jenis Kapasitor

#### a. Jenis kapasitor berdasarkan geometrinya

Geometri pada kapasitor bisa menentukan seberapa besar kapasitansi yang dimiliki oleh kapasitor tersebut, berikut adalah jenis kapasitor berdasarkan geometrinya

##### 1) Kapasitor bola

Kapasitor jenis ini memiliki 2 bola konduktor konsentris, bola bagian dalam misalnya berjari-jari  $a$ , bermuatan keseluruhan  $+Q$  yang tersebar secara homogen ke seluruh permukaan, dan bola luar berjari-jari  $b$  bermuatan  $-Q$ . Beda potensial antara kedua bola konsentris itu adalah :

$$V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right) \quad (2.6)$$

Jika beda potensial pada kapasitor bola itu dikombinasikan dengan persamaan  $C = \frac{Q}{V}$ , diperoleh persamaan untuk C yang merupakan fungsi dimensi (a dan b) :

$$C = 4\pi\epsilon_0 \frac{ab}{b-a} \quad (2.7)$$

Ketika b bernilai tidak terhingga, maka persamaan untuk kapasitansi C menjadi :

$$C = 4\pi\epsilon_0 a \quad (2.8)$$

Artinya, setiap bola konduktor dapat dipandang sebagai sebuah kapasitor. Persamaan terakhir tersebut merupakan persamaan kapasitor yang berjari-jari a.

## 2) Kapasitor pelat sejajar

Sesuai dengan namanya, kapasitor jenis ini terdiri dari 2 pelat konduktor yang didekatkan sehingga permukaan kedua pelat itu sejajar. Kapasitansi pada kapasitor jenis ini, berbentuk :

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad (2.9)$$

## 3) Kapasitor silinder

Terbuat dari 2 buah konduktor berbentuk silinder konsentris. Kapasitansi pada kapasitor jenis ini dituliskan :

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)} \quad (2.10)$$

(Murdoko dan Kuntoro, 2010 : 46 - 49).

### b. Jenis kapasitor berdasarkan bahannya

Kapasitor yang dijual bebas biasanya dari timah yang dijalin dengan lembaran tipis dari kertas yang diisi parafin atau *Mylar* sebagai bahan dielektriknya. Lapisan yang berselang-seling antara timah dan dielektrik digulung menjadi silinder membentuk suatu paket kecil. Kapasitor bertenaga tinggi umumnya terdiri dari sejumlah lempengan logam yang dijalin bersama dan dicelupkan ke dalam minyak silikon. Kapasitor kecil biasanya dibuat dari bahan keramik. Berikut adalah tabel tetapan dielektrik dan kekuatan dielektrik beberapa bahan penyusun kapasitor.

Tabel 2.1 Tetapan dan Kekuatan bahan dielektrik beberapa bahan penyusun kapasitor

Material	Tetapan Dielektrik K	Kekuatan Dielektrik (kV/mm)
Vakum	1,00000	Tak terhingga
Udara Kering	1,00054	0,8
Air	78	---
Mika	5,4	10-150
Kertas	3,5	14
Pirek	4,5	13
Polietilen	2,3	50
Teflon	2,1	60

Seringkali, sebuah kapasitor *elektrolit* digunakan untuk menyimpan sejumlah besar muatan pada tegangan yang relatif rendah. Perangkat ini terdiri dari lembaran timah yang terhubung dengan *elektrolit* yang menghantarkan listrik karena Bergeraknya ion-ion yang dikandung dalam larutan. Ketika terdapat tegangan antara lembaran timah dan *elektrolit*, lapisan tipis oksida logam (sebuah *isolator*) akan terbentuk jadi lembaran timah dan lapisan tipis ini berfungsi sebagai dielektrik. Nilai kapasitansi yang sangat besar dapat diperoleh dalam kapasitor *dielektrik* karena lapisan dielektriknya sangat tipis dan dengan demikian jarak antar kepingnya sangat kecil (Serwey dan Jewett, 2010 : 332)

## 2.2. Rangkaian RC

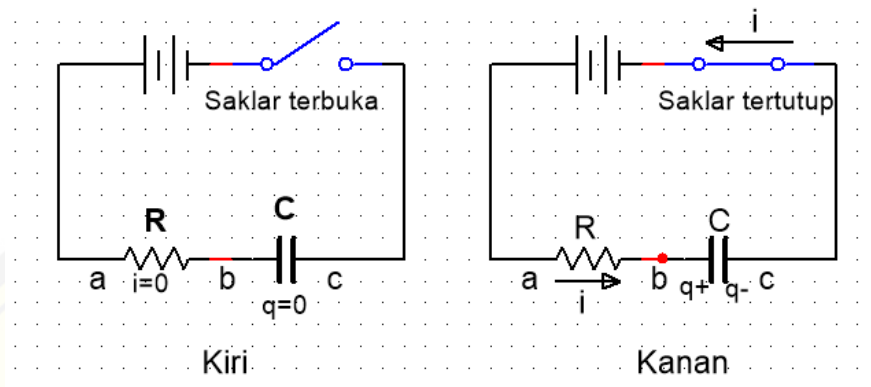
Dalam rangkaian-rangkaian DC yang mengandung berbagai kapasitor arusnya selalu memiliki arah yang sama, tetapi dapat berubah nilainya seiring dengan waktu. Sebuah rangkaian yang memuat suatu kombinasi dari sebuah resistor dan sebuah kapasitor disebut dengan rangkaian RC.

### 2.2.1. Pengisian Kapasitor

Jika suatu kapasitor dengan kapasitansi  $C$  dihubungkan dengan suatu sumber tegangan  $V$  maka setelah beberapa waktu kapasitor akan terisi oleh muatan sebesar:

$$Q = C \cdot V \text{ atau } dQ = C \cdot dV$$

Kita mulai dari keadaan kapasitor yang belum terisi (Gambar 2.3 kiri), kemudian dalam beberapa waktu tertentu kita tutup saklar pada rangkaian tersebut, yang mengakibatkan arus mengalir dalam rangkaian untuk memulai pengisian kapasitor (Gambar 2.3, kanan).



Gambar 2.3 Kapasitor dan Resistor terhubung dengan sumber tegangan. Kiri saat saklar terbuka dan kanan saat sakalar tertutup

Karena kapasitor (Gambar 2.3, kiri) dalam keadaan belum terisi, beda potensial  $v_{bc} = 0$  pada  $t = 0$ . Pada keadaan ini jika ditinjau dari hukum loop Kirchoff, beda potensial  $v_{ab}$  yang melalui resistor sama dengan tegangan sumber  $\mathcal{E}$ . Sedangkan untuk arus awal yang mengalir pada resistor ( $t = 0$ ), yang kita sebut sebagai  $I_0$  di jelaskan oleh hukum Ohm :  $I_0 = \frac{v_{ab}}{R} = \frac{\mathcal{E}}{R}$

Ketika dalam keadaan pengisian kapasitor, beda potensial pada titik bc ( $v_{bc}$ ) naik dan beda potensial pada titik ab ( $v_{ab}$ ) pada resistor menurun, sesuai dengan penurunan arus. Penjumlahan kedua beda potensial ini konstan dan sama dengan  $\mathcal{E}$ . Setelah beberapa waktu kapasitor akan terisi penuh dan arus yang ada pada rangkaian turun menjadi nol dan beda potensial  $v_{ab}$  yang ada di resistor juga bernilai nol. Dan seluruh sumber tegangan baterai  $\mathcal{E}$  terdapat dalam kapasitor dan  $v_{bc} = \mathcal{E}$ . Untuk kedua beda potensial tersebut bisa dituliskan sebagai berikut

$$v_{ab} = iR \quad (2.11)$$

$$v_{bc} = \frac{q}{C} \quad (2.12)$$

dengan menggunakan aturan loop Kirchoff, kita menemukan

$$\mathcal{E} - iR - \frac{q}{C} = 0 \quad (2.13)$$

dari persamaan di atas, kita dapat menemukan  $i$  dengan cara

$$i = \frac{\varepsilon}{R} - \frac{q}{RC} \quad (2.14)$$

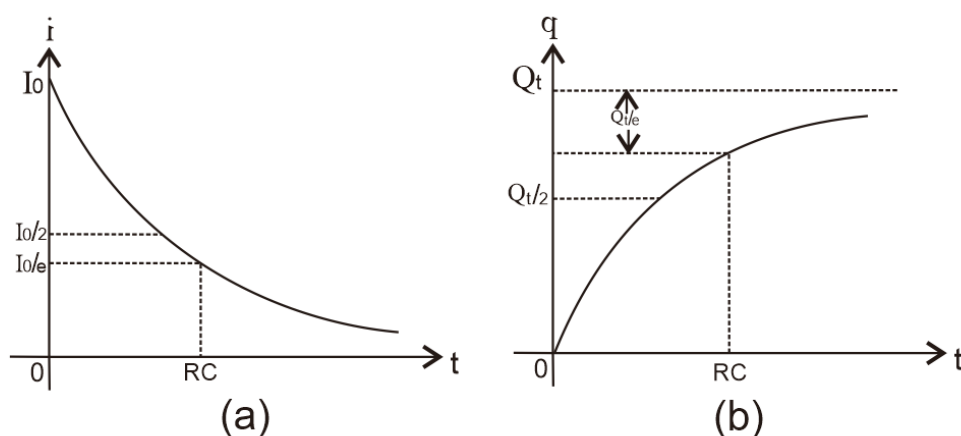
pada saat  $t = 0$ , ketika saklar pertama kali tertutup, kapasitor dalam keadaan tidak terisi, dan juga  $q = 0$ . Dengan cara mensubstitusikan  $q=0$  ke dalam persamaan (2.14), kita dapat menemukan bahwasannya arus mula-mula  $I_0$  dapat dicari dengan  $I_0 = \frac{\varepsilon}{R}$  seperti pada pembahasan sebelumnya. Jika kapasitor tidak berada dalam rangkaian, bentuk terakhir pada persamaan (2.14), yakni  $\frac{q}{RC}$  tidak dapat ditulis. Dengan begitu arus yang mengalir besarnya konstan dan sama dengan  $\frac{\varepsilon}{R}$ .

Ketika pengisian  $q$  mulai naik, bentuk  $\frac{q}{RC}$  menjadi besar dan pengisian kapasitor mencapai nilai akhir, yang disebut dengan  $Q_t$ . Arus yang mengalir mengalami penurunan dan akhirnya menjadi nol. Ketika arus menjadi nol, maka persamaan (2.14) menjadi

$$\frac{\varepsilon}{R} = \frac{Q_t}{RC} \quad (2.15)$$

$$Q_t = C\varepsilon \quad (2.16)$$

Sebagai catatan, nilai akhir dari  $Q_t$  tidak bergantung dengan  $R$ . Berikut adalah grafik arus dan muatan terhadap waktu yang terjadi pada rangkaian RC saat pengisian kapasitor (Young dan Freedman, 2008 : 896-897).



Gambar 2.4 (a) grafik penurunan arus terhadap waktu; (b) grafik peningkatan muatan kapasitor terhadap waktu

Kita dapat memperoleh bentuk umum untuk muatan  $q$  dan arus  $i$  sebagai fungsi waktu. Dengan memilih arah positif dari arus (Gambar 2.3, kanan)  $i$  mempunyai nilai yang sama dengan muatan positif pada piringan kapasitor (arus menuju piringan keping positif dari kapasitor), sehingga  $i = dq/dt$ . Kemudian disubstitusikan ke dalam persamaan (2.14), didapatkan

$$\frac{dq}{dt} = \frac{\mathcal{E}}{R} - \frac{q}{RC} = -\frac{1}{RC}(q - C\mathcal{E}) \quad (2.17)$$

Persamaan tersebut dapat disusun menjadi

$$\frac{dq}{q - C\mathcal{E}} = -\frac{dt}{RC} \quad (2.18)$$

kemudian integralkan kedua sisi. Kita ubah variabel integrasinya ke  $q'$  dan  $t'$  sehingga kita bisa gunakan  $q$  dan  $t$  sebagai batas atas. Sebagai batas bawah  $q' = 0$  dan  $t' = 0$ , sehingga :

$$\int_0^q \frac{dq'}{q' - C\mathcal{E}} = -\int_0^t \frac{dt'}{RC} \quad (2.19)$$

kemudian dihasilkan :

$$\ln\left(\frac{q - C\mathcal{E}}{-C\mathcal{E}}\right) = -\frac{t}{RC} \quad (2.20)$$

Kedua sisi dikalikan dengan eksponensial, menghasilkan

$$\frac{q - C\mathcal{E}}{-C\mathcal{E}} = e^{-\frac{t}{RC}} \quad (2.21)$$

$$q = C\mathcal{E}\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) = Q_t\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \quad (2.22)$$

Persamaan di atas, menyatakan muatan pada pengisian kapasitor, sedangkan untuk arusnya dapat dituliskan

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-\frac{t}{RC}} = I_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (2.23)$$

### 2.2.2. Konstanta Waktu Rangkaian RC

Kita asumsikan kapasitor dalam keadaan pengosongan dan saklar terbuka. Ketika saklar dalam keadaan tertutup, waktu dimulai dari  $t=0$  dan arus mulai mengalir ke kapasitor melalui resistor. Selama tegangan yang melintasi kapasitor adalah nol ( $V_c=0$ ), kapasitor muncul sebagai rangkaian pendek dan arus maksimum yang mengalir pada rangkaian dibatasi oleh resistor ( $R$ ). Arus ini disebut dengan arus pengisian yang memenuhi persamaan  $i = V_s/R$ . Kemudian kapasitor mulai

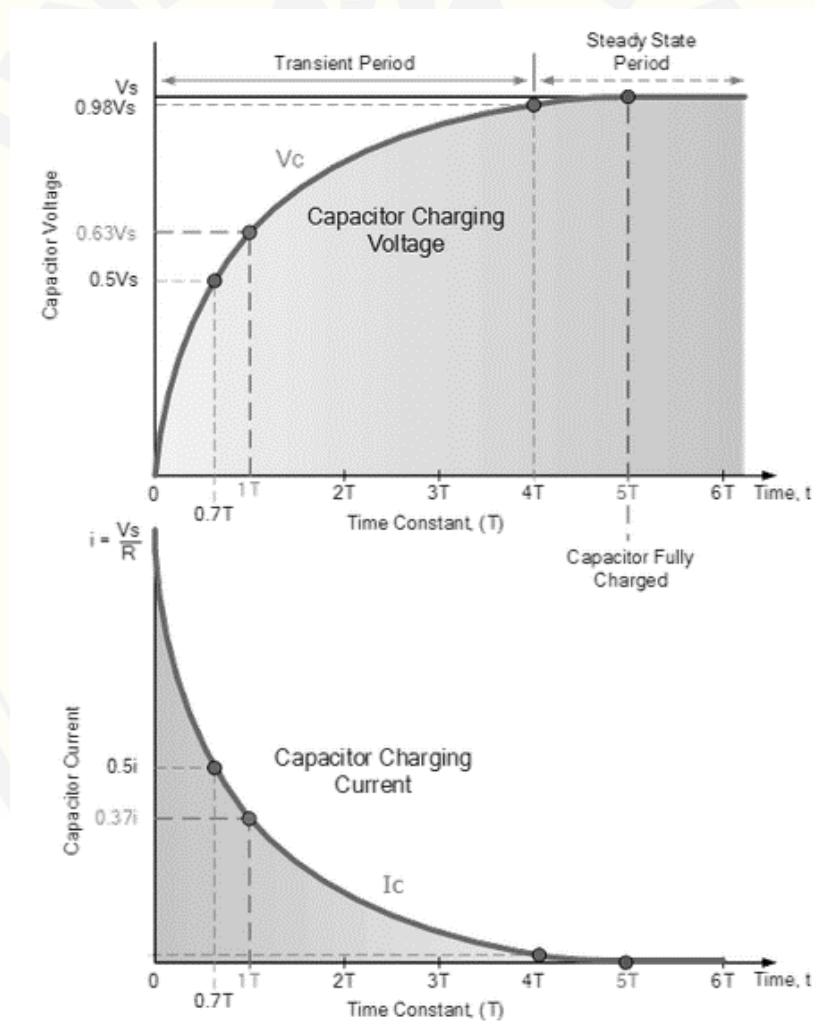
pengisian untuk mencapai 63% dari tegangan maksimum yang mungkin bisa diisi ke dalam kapasitor dalam waktu tertentu, dalam hal ini  $0,63V_s$  biasa disebut dengan **Konstanta Waktu ( $\tau$ )** atau biasa ditulis dengan  $1T$ . Kita bisa mencari waktu yang dibutuhkan untuk pengisian kapasitor dalam  $1T$  (1 konstanta waktu) dengan persamaan berikut :

$$\tau = R \cdot C \quad (2.24)$$

Sedangkan untuk nilai dari tegangan yang melalui kapasitor ( $V_c$ ) pada setiap konstanta waktu selama pengisian, ditunjukkan dengan persamaan:

$$V_c = V(1 - e^{-t/RC}) \quad (2.25)$$

(Dutt, 2015)



Gambar 2.5 Kurva pengisian dan pengosongan kapasitor dengan konstanta waktu

(Sumber : [http://www.electronics-tutorials.ws/rc/rc\\_1.html](http://www.electronics-tutorials.ws/rc/rc_1.html))



Setelah periode pengisian sama dengan 4 konstanta waktu ( $4T$ ), kapasitor pada rangkaian RC ini dianggap sudah dalam keadaan penuh dan tegangan yang melewati kapasitor senilai 99% dari nilai maksimal,  $0,99V_s$ . Waktu yang dibutuhkan kapasitor untuk mencapai keadaan ini disebut dengan **Transient Period**. Setelah mencapai 5 konstanta waktu ( $5T$ ) kapasitor benar-benar dalam keadaan penuh dan tegangan yang melewati kapasitor ( $V_c$ ) sama dengan tegangan pada power supply ( $V_s$ ). Dalam keadaan seperti ini, tidak ada arus yang mengalir dalam rangkaian RC, sehingga keadaan ini disebut dengan **Steady State Period** (Dutt, 2015)

Tabel 2.2 Konstanta waktu rangkaian RC

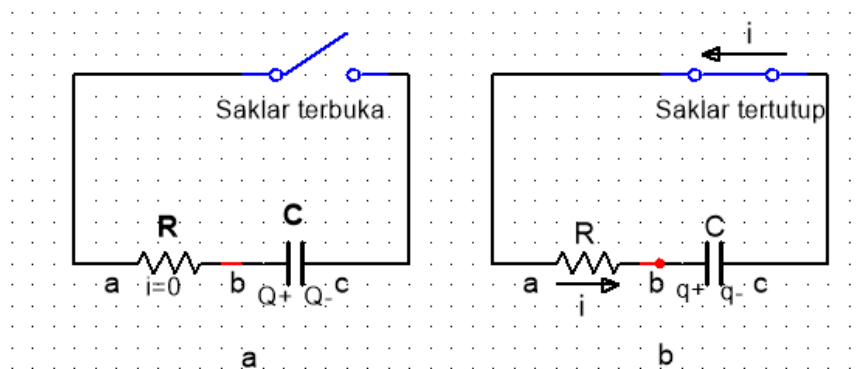
Konstanta Waktu	Nilai RC	Prosentase maksimum	
		Tegangan	Arus
0,5 konstanta waktu	$0,5T = 0,5RC$	39,3 %	60,7 %
0,7 konstanta waktu	$0,7T = 0,7RC$	50,3 %	49,7 %
1,0 konstanta waktu	$1T = 1RC$	63,2 %	36,8 %
2,0 konstanta waktu	$2T = 2RC$	86,5 %	13,5 %
3,0 konstanta waktu	$3T = 3RC$	95,0 %	5,0 %
4,0 konstanta waktu	$4T = 4RC$	98,2 %	1,8 %
5,0 konstanta waktu	$5T = 5RC$	99,3 %	0,7 %

Sumber : [http://www.electronics-tutorials.ws/rc/rc\\_1.html](http://www.electronics-tutorials.ws/rc/rc_1.html)

Sebagai catatan kurva untuk rangkaian RC pada saat pengisian berbentuk eksponensial, dan kapasitor dalam keadaan nyata tidak pernah terisi 100% penuh. Jadi setelah 5 konstanta waktu ( $5T$ ) kapasitor dianggap terisi penuh dalam setiap penelitian.

### 2.2.3. Pengosongan Kapasitor

Setelah kapasitor pada (Gambar 2.3, kanan) sudah terisi penuh, kemudian baterai pada rangkaian tersebut diputuskan sambungannya dengan rangkain RC dan titik a dan titik c pada rangkaian disambungkan dengan saklar yang terbuka seperti (Gambar 2.6.a). Kemudian saklar ditutup, dengan begitu stopwatch secara instan ter-reset menjadi  $t = 0$ , pada saat yang bersamaan  $q = Q_0$ . Kapasitor kemudian mengalami pengosongan dan muatan yang ada pada kapasitor akan secara berkala menjadi nol.



Gambar 2.6 Proses Pengosongan Kapasitor

Seperti halnya pada pengisian, kita sebut  $i$  dan  $q$  sebagai arus dan muatan bergantung waktu sesaat setelah koneksi dibuat. Pada (Gambar 2.6.b) arah arus positif sama dengan (Gambar 2.3, kanan), kemudian kita gunakan aturan loop dari Kirchoff pada persamaan (2.14) dengan  $\mathcal{E} = 0$ , sehingga :

$$i = \frac{dq}{dt} = -\frac{q}{RC} \quad (2.26)$$

Arus yang mengalir saat ini menjadi negatif, hal ini dikarenakan muatan  $q$  meninggalkan “lempeng kiri” pada kapasitor (Gambar 2.6.b). Sehingga arah arus berlawanan dengan yang ditunjukkan pada gambar. Pada saat  $t = 0$  dan  $q = Q_0$  arus mula-mula adalah

$$I_0 = -\frac{Q_0}{RC} \quad (2.27)$$

Untuk mencari  $q$  sebagai fungsi waktu, kita susun ulang persamaan (2.26), kemudian kita ganti variabelnya menjadi  $q'$  dan  $t'$  dan diintegrasikan. Kita gunakan batas dari  $q'$  mulai dari  $Q_0$  sampai  $q$ . Sehingga diperoleh

$$\int_{Q_0}^q \frac{dq'}{q'} = -\frac{1}{RC} \int_0^t dt' \quad (2.28)$$

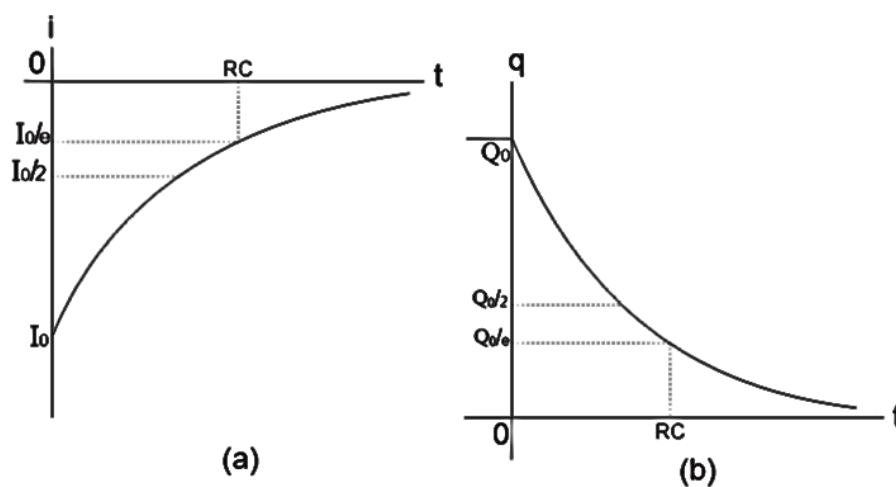
$$\ln \frac{q}{Q_0} = -\frac{t}{RC} \quad (2.29)$$

$$q = Q_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (2.30)$$

Sedangkan untuk arus adalah turunan dari persamaan di atas terhadap waktu, sehingga

$$i = \frac{dq}{dt} = -\frac{Q_0}{RC} e^{-t/RC} = -I_0 e^{-t/RC} \quad (2.31)$$

Pada grafik arus dan muatan pada Gambar 2.7, keduanya menuju nilai nol secara eksponensial terhadap waktu. Jika dibandingkan dengan persamaan  $q$  dan  $i$  pada proses pengisian, kita dapatkan bahwasannya penggambaran dari arus adalah identik, kecuali tanda dari  $I_0$ . Muatan kapasitor mendekati nilai nol pada persamaan  $q$  pada pengosongan, sedangkan untuk perbedaan antara  $q$  dan  $Q$  yang mendekati nilai nol terdapat pada persamaan  $q$  pada proses pengisian kapasitor (Young dan Freedman, 2008 : 899)



Gambar 2.7 (a) Grafik arus pada pengosongan kapasitor (b) Grafik muatan pada pengosongan kapasitor

### 2.3. Pengukuran Kapasitansi

Pengukuran kapasitansi pada sebuah kapasitor ada beberapa macam cara, selain menggunakan kapasitansi meter, berikut adalah beberapa cara untuk mengukur kapasitansi pada sebuah kapasitor

#### 2.3.1. Mengukur Kapasitansi Menggunakan LCR Meter

LCR Meter adalah alat ukur yang dapat mengukur nilai L (Induktansi / Inductance, untuk mengukur Induktor atau Coil), C (Kapasitansi / Capacitance, untuk mengukur Kapasitor atau Kondensator) dan R (Resistansi / Resistance, untuk mengukur Hambatan atau Resistor). Berikut adalah cara untuk mnegukur kapasitor dengan menggunakan LCR meter

- a. Tempatkan posisi pengukuran pada bagian C. Pada bagian ini terdapat beberapa pilihan seperti pF, nF, mF serta F yang masing-masing menunjukkan besaran dalam nilai kapasitansi kapasitor. Beberapa alat juga memberikan petunjuk berupa 100pF, 100nF, 100mF, 100uF atau 1F.
- b. Pilihlah posisi pengukuran yang paling mendekati di atas nilai kapasitor yang akan di ukur
- c. Jika nilai kapasitor tidak terbaca pada komponen akibat rusak atau terhapus, tempatkan dengan cara coba-coba dengan melihat jenis kapasitor.
- d. Hubungkan secara singkat untuk kapasitor yang memiliki nilai kapasitansi besar untuk mencegah kerusakan pada alat ukur sebelum pengukuran
- e. Baca nilai yang tertera pada layar. Jika nilai pengukuran menunjukkan nilai desimal yang terlalu kecil, maka posisi pembacaan dapat diturunkan 1 tingkat di bawah posisi awal untuk mendapatkan nilai desimal yang lebih besar (Kho, 2015)



Gambar 2.8 LCR Meter

### 2.3.2. Mengukur Kapasitansi Menggunakan Multimeter

Saat ini, telah banyak jenis Multimeter Digital yang telah mempunyai fungsi untuk mengukur nilai Kapasitor sehingga kita tidak perlu membeli alat khusus untuk mengukur nilai Kapasitansi Kapasitor dan tentunya Multimeter sebagai alat ukur gabungan memiliki batas tertentu dalam Mengukur Kapasitansi sebuah Kapasitor. Kapasitor yang mempunyai Kapasitansi yang besar terutama pada

Kapasitor Elektrolit (ELCO) tidak semuanya dapat diukur nilainya oleh sebuah Multimeter Digital. Seperti contoh pada salah satu Multimeter dengan merek SANWA yang bertipe CD800a, batas pengukuran Kapasitansi Kapasitor hanya berkisar antara 50nF sampai 100 $\mu$ F.

Untuk menguji apakah Komponen Kapasitor dapat berfungsi dengan baik, kita juga dapat menggunakan Multimeter Analog dengan Skala Resistansi (Ohm). Multimeter Analog tidak dapat mengetahui dengan pasti nilai Kapasitansi dari sebuah Kapasitor, tetapi cukup bermanfaat untuk mengetahui apakah Kapasitor tersebut dalam Kondisi baik ataupun rusak (seperti Bocor ataupun Short (hubungan pendek)). Berikut adalah cara untuk mengukur kapasitansi sebuah kapasitor dengan menggunakan multimeter analog.

- Atur posisi skala selektor ke Ohm ( $\Omega$ ) dengan skala x1K
- Hubungkan Probe merah (positif) ke kaki kapasitor positif
- Hubungkan probe hitam (negatif) ke kaki kapasitor negatif
- Periksa jarum yang ada pada display multimeter analog

Kapasitor yang baik : jarum bergerak naik dan kemudian kembali lagi

Kapasitor yang rusak : jarum bergerak naik tetapi tidak kembali lagi

Kapasitor yang rusak : jarum tidak naik sama sekali



Gambar 2.9 Ilustrasi mengukur kapasitansi pada sebuah kapasitor dengan multimeter analog (Sumber : Kho, 2015. Tersedia : [www.teknikelektronika.com](http://www.teknikelektronika.com))

## 2.4. Arduino

Arduino merupakan platform elektronik yang berbasis *hardware* maupun *software* yang mudah digunakan (*easy-to-use*). Selama arduino sudah menjadi pemroses ribuan dari sebuah proyek, mulai dari proyek sehari-hari hingga instrument yang rumit. Arduino di tunjukkan untuk siswa, seniman, programmer dan profesional yang tertarik dalam membuat objek atau lingkungan yang interaktif. Arduino pertama kali dibuat di Institut Ivrea Interaction Design sebagai alat yang mudah digunakan untuk mahasiswa yang belum memiliki dasar elektronik dan programming. Arduino terdiri dari berbagai macam arduino board yang keseluruhannya open source yang memudahkan penggunaannya untuk membuat sesuai keinginan dan kebutuhannya. Begitu juga dengan software arduino, software arduino juga open source sehingga pengguna bisa merekayasa perintah ke dalam arduino board sesuai kebutuhan (arduino.cc, 2017).

Nama arduino di sini tidak hanya dipakai untuk menamai board rangkaiannya saja, tetapi juga untuk menamai bahasa dan software pemrogramannya, seta lingkungan pemrograman atau IDE-nya (IDE = *Intregrated Development Environment*). Kelebihan dari arduino dari platform hardware mikrokontroler lain adalah:

- a. IDE arduino merupakan multiplatform, yang dapat dijalankan di berbagai sistem operasi, seperti Windows, Macintosh dan Linux
- b. IDE arduino dibuat berdasarkan pada IDE Processing yang sederhana sehingga mudah digunakan
- c. Pemrograman arduino menggunakan kabel yang terhubung dengan port USB, bukan port serial. Fitur ini berguna karena sekarang tidak semua komputer memiliki port serial
- d. Arduino adalah hardware dan software open source, pengguna bisa mendownload software dan gambar rangkaian bahkan bahasa pemrograman arduino tanpa harus membayar kepada pembuat arduino
- e. Biaya hardware cukup murah, sehingga tidak terlalu menakutkan jika terjadi kesalahan

- f. Proyek arduino dikembangkan dalam dunia pendidikan, sehingga untuk pemula bisa cepat dan mudah mempelajarinya
- g. Memiliki begitu banya pengguna dan komunitas di internet yang dapat membantu setiap kesulitan yang dihadapi (Artanto, 2012 : 2)

#### 2.4.1. Arduino Uno

Arduino Uno merupakan salah satu dari arduino board yang banyak digunakan oleh pemula. Arduino Uno adalah papan mikrokontroler yang menggunakan Atmega 328P sebagai prosesornya. Atmega 328P mempunyai 14 pin digital input/output, dimana 6 pin bisa digunakan sebagai PWM (Pulse Width Modulation) output, 6 pin sebagai input analog. Menggunakan osilator sebesar 16 Mhz, koneksi USB, ICSP header dan tombol reset.



Gambar 2.10 Arduino Uno Board

(Sumber : Arduino.cc, 2015)

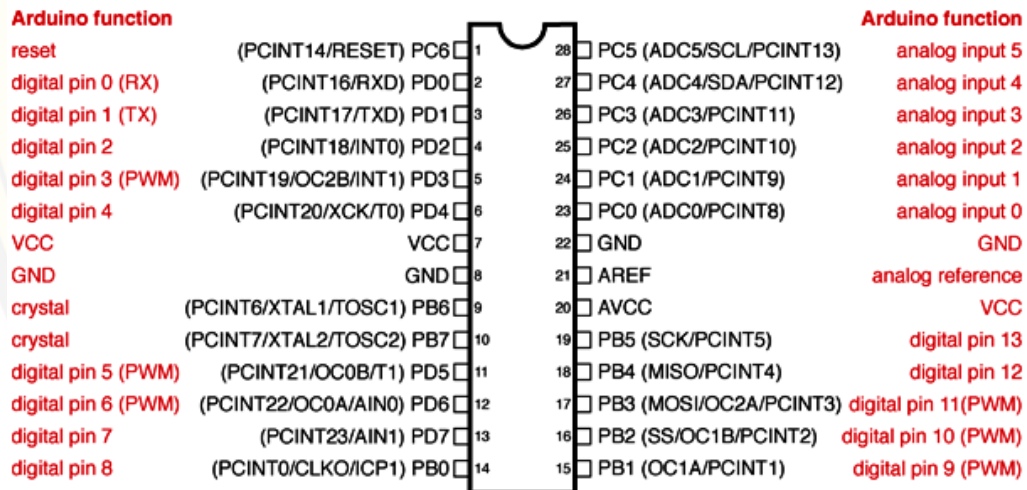
Kata “Uno” yang berarti satu dalam bahasa Italia, dipilih untuk peluncuran Arduino Software (IDE) 1.0. Untuk menghidupkan arduino dapat melalui USB atau dengan power supply eksternal yang bisa berasal dari AC to DC adapter atau baterai. Jika menggunakan adapter AC to DC bisa disambungkan dengan jack 2.1mm ke dalam power jack yang ada di board sedangkan jika menggunakan baterai bisa melalui pin GND dan Vin. Berikut adalah spesifikasi dari arduino uno menurut website resmi arduino.cc

Tabel 2.3 Spesifikasi Arduino Uno Board

Microcontroller	Atmega 328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PMW output)
PMW Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O	20 mA
DC Current for 3,3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (Atmega 328P) of which 0,5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (Atmega328P)
EEPROM	1 KB (Atmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED-BUILTIN	13
Length	68,6 mm
Width	53,4 mm
Weight	25 g

(Sumber : arduino.cc)

### Atmega168 Pin Mapping



Digital Pins 11, 12 & 13 are used by the ICSP header for MOSI, MISO, SCK connections (Atmega168 pins 17, 18 & 19). Avoid low-impedance loads on these pins when using the ICSP header.

Gambar 2.11 Konfigurasi Pin Atmega168/328

(sumber : arduino.cc)



Tabel 2.4 Konfigurasi dan fungsi pin Atmega328P

No Pin	Nama Pin	Keterangan
7	Vcc	Sumber tegangan positif
8, 12	GND	Ground
9, 10, 14, 15, 16, 17, 18, 19	Port B (PB7:0)	Masing-masing pin pada port B memiliki resistor pull-up internal dan dapat digunakan sebagai 8 bit I/O digital. Untuk pin PB.6 dan PB.7 terhubung dengan crystal 16 MHz dan tidak digunakan sebagai I/O. Pin PB.1-pin PB.3 dapat digunakan sebagai output PMW
1, 23, 24, 25, 26, 27, 28	Port C (PC6:0)	Masing-masing pin pada port C memiliki resistor pill-up internal dan dapat digunakan sebagai 7 bit I/O analog. Pin PC.6 sebagai input reset
2, 3, 4, 5, 6, 11, 12, 13	Port D (PD.7:0)	Untuk konfigurasi alternatif port D dapat dilihat pada tabel 2.6
20	Avcc	Sumber tegangan positif untuk konversi analog ke digital
21	Aref	Tegangan referensi untuk konversi analog ke digital (Sumber : Arduino.cc)

Tabel 2.5 Konfigurasi Alternatif Port D

No Pin	Nama Pin	Keterangan
13	PD7	AIN1 (Analog Comparator Negative Input) PCINT23 (Pin Change Interupt 23)
12	PD6	AIN0 (Analog Comparator Negative Input) OC0A (Timer/Counter 0 Output Compare Match A Output) PCINT22 (Pin Change Interupt 22)
11	PD5	TI (Timer/Counter 1 External Counter Input) OC0B (Timer/Counter 0 Output Compare Match B Output) PCINT21 (Pin Change Interupt 21)
6	PD4	XCK (USART External Clock Input/Output) T0 (Timer/Counter 0 External Counter Input) PCINT20 (Pin Change interupt 20)
5	PD3	INTI (External Interupt 1 Input) OC2B (Timer/Counter 2 output Compare Match B Output) PCINT19 (Pin Change Interupt 19)
4	PD2	INT0 (External Interupt 1 Input) PCINT18 (Pin Change Interupt 18)

3	PD1	TXD (USART Output Pin) PCINT17 (Pin Change Interupt 17)
2	PD0	RXD (USART Input Pin) PCINT16 (Pin Change Interupt 16)

(Sumber : arduino.cc)

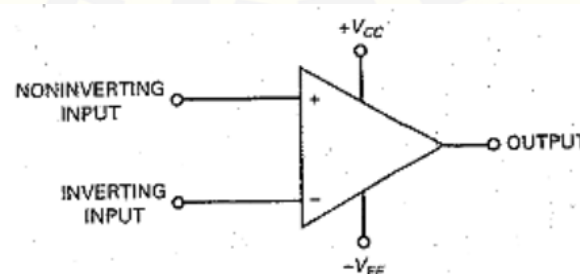
## 2.5. Operational Amplifier (OP-Amp)

Penguat operasional atau op-amp (dari kata operational amplifier) adalah penguat diferensial dengan dua masukan dan satu keluaran yang mempunyai penguatan tegangan yang amat tinggi, yaitu dalam orde  $10^5$ . Dengan penguatan yang amat tinggi ini, penguat operasional dengan rangkaian balikan lebih banyak digunakan daripada dalam rangkaian terbuka. Pada masa kini op-amp dibuat dalam bentuk rankaian terpadu atau IC (integrated Circuit), dimana dalam satu potong kristal silikon dengan luas kurang dari  $1 \text{ mm}^2$  terkandung rangkaian penguat lengkap yang terdiri dari banyak transistor, dioda, resistor dan kadang-kadang kapsaitor (Sutrisno, 1987 : 117)

Aplikasi dari Op-Amp ini banyak digunakan pada sistem instrumentasi yang membutuhkan penguat, terutama pada elektronika analog (Malvino, 2008 : 662).

Op-Amp ini memiliki beberapa sifat ideal, yaitu:

- Penguat lingkak terbuka ( $A_{VOL}$ ) tak berhingga
- Hambatan keluaran lingkak terbuka ( $R_{o,ol}$ ) nol.
- Hambatan masukan lingkak terbuka ( $R_{i,ol}$ ) tak terhingga
- Lebar pita (bandwith) tak berhingga atau  $\Delta f$  tak berhingga
- Common Mode Rejection Ratio (CMRR) tak berhingga

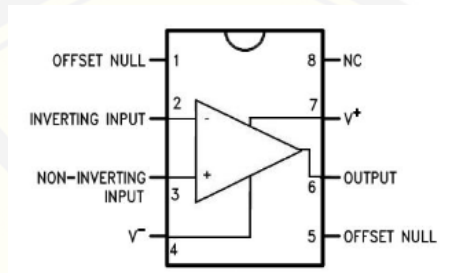


Gambar 2.12 Lambang Op-Amp pada rangkaian

(Sumber : Malvino, 2008 : 662)

### 2.5.1. Op-Amp LM 741

LM 741 ini merupakan tipe Op-Amp dual supply, artinya Op-Amp ini memiliki dua masukan tegangan agar Op-Amp dapat berfungsi dengan baik. Supply masukan Op-Amp ini memiliki batasan yang dapat dilihat pada datasheet. Berikut ini merupakan fungsi dari masing-masing kaki pada LM 741 beserta konfigurasi pinnya.



Gambar 2.13 Pin Out LM 741

(Sumber : Malvino, 2008 : 664)

- a. Kaki 1 : Berfungsi untuk mengeliminasi tegangan offset dan menyeimbangkan tegangan masukan
- b. Kaki 2 : Berfungsi sebagai masukan inverting
- c. Kaki 3 : Berfungsi sebagai masukan non-inverting
- d. Kaki 4 : Berfungsi sebagai penyuplai tegangan negatif pada Op-Amp
- e. Kaki 5 : Memiliki fungsi yang sama seperti kaki 1
- f. Kaki 6 : Berfungsi sebagai keluaran dari sinyal yang telah dikuatkan
- g. Kaki 7 : Berfungsi sebagai penyuplai tegangan positif pada Op-Amp
- h. Kaki 8 : Not-Connected, tidak terhubung ke Op-Amp

Untuk spesifikasi lebih jelas dari Op-Amp LM 741 bisa dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.6 Spesifikasi Op-Amp LM 741

		MIN	MAX
Supply Voltage	LM741, LM741A		$\pm 22$
	LM741C		$\pm 18$
Power dissipation			500
Differensial input volatge			$\pm 30$
Input voltage			$\pm 15$
Output short circuit duration			Continous
Operating temperature	LM741, LM741A	-50	125

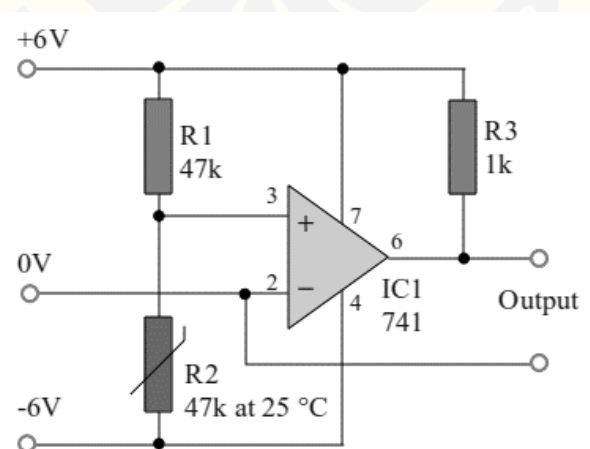
	LM741C	0	70
Junction temperature	LM741, LM741A		150
	LM741C		100
Soldering information	PDIP package (10 seconds)		260
	CDIP or TO-99 package (10 second)		300
Storage temperature		-65	150

(Sumber : Jauregui, 2015)

### 2.5.2. Rangkaian Komparator dengan LM 741

Rangkaian komparator merupakan rangkaian pembanding dua sinyal tegangan. Dalam Op-Amp dengan konfigurasi loop terbuka baik yang memiliki input berbeda atau hanya satu input, memiliki nilai yang lebih besar dari pada nol. Jika kedua input pada Op Amp pada kondisi open-loop, maka Op Amp akan membandingkan kedua saluran input tersebut. Hasil komparasi dua tegangan pada saluran masukan akan menghasilkan tegangan saturasi (tegangan jenuh) positif (+Vsat) atau saturasi negatif (-Vsat).

Gain komparator kurang lebih adalah sebesar 200.000, sehingga selisih input sebesar hanya 100  $\mu\text{V}$  pun sudah cukup untuk menurunkan output mendekati 0V atau menaikkannya hingga mencapai tegangan catu. Komparator dibuat dalam bentuk IC (*Integrated Circuit*, rangkaian terpadu). Karena kemiripan antara komparator dan op-amp, IC op-amp dapat digunakan sebagai komparator. Rangkaian untuk aplikasi komparator op-amp seperti di bawah ini.



Gambar 2.14 Rangkaian Komparator dengan Op-Amp

(sumber : Caang, 2013)

Dua buah input ke rangkaian penguat adalah input membalik (inverting, simbol  $-$ ) dan input tak membalik (non inverting, simbol  $+$ ). Output yang dihasilkan akan bernilai positif apabila input (+) lebih besar dari input ( $-$ ). Output akan mendekati 0V, apabila input (+) lebih kecil dari input ( $-$ ). Input pembalik disambungkan ke jalur catu 0V, sehingga tegangan pada input ini adalah 0V. Input non inverting disambungkan ke sebuah pembagi tegangan yang menggunakan sensor suhu atau thermistor.

Apabila input yang diberikan oleh pembagi tegangan adalah 0V atau kurang, output yang dihasilkan adalah 0V. Apabila input dari bagian pembagi tegangan adalah sepersekian milivolt atau lebih dari 0V, maka output akan naik dengan sangat cepat hingga mencapai +6V. Output berubah dari 0V ke +6V ketika nilai suhu yang diterima R2 persis sama dengan titik suhu acuan (*temperature set point*). Pada rangkaian ini, output akan berubah pada titik suhu sekitar 25 °C. Output sebuah op-amp mungkin tidak akan pernah mencapai nilai yang sama dengan tegangan-tegangan catu. Untuk tipe 741, misalnya, dengan tegangan catu sebesar  $\pm 15$  V, output hanya dapat mencapai nilai  $\pm 13$ V. Pada tipe lainnya, output dapat mencapai nilai yang lebih mendekati (Caang, 2013)

## 2.6. Rangkaian Monostable dengan IC 555

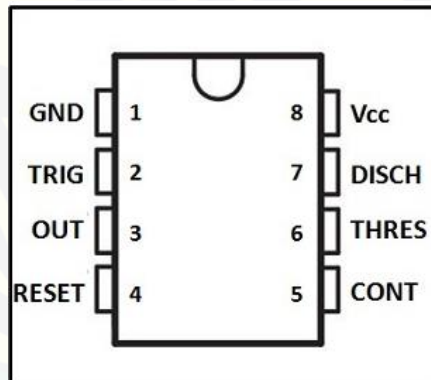
Rangkaian monostable menggunakan IC 555 merupakan rangkaian elektronika yang sering dijumpai. IC 555 mengolah masukan dan mengeluarkan berupa output yang berlogika 0 dan 1 dalam beberapa waktu tertentu.

### 2.6.1. IC Timer 555

IC Timer atau IC Pewaktu adalah jenis IC yang digunakan untuk berbagai Rangkaian Elektronika yang memerlukan fungsi Pewaktu dan multivibrator didalamnya. Beberapa rangkaian yang memerlukan IC Timer diantaranya seperti Waveform Generator, Frequency Meter, Jam Digital, Counter dan lain sebagainya. IC Timer atau IC Pewaktu yang paling populer saat ini adalah IC 555 yang dikembangkan oleh Hans R. Camenzind yang bekerja untuk Signetic Corporation pada tahun 1970-an. Pada dasarnya, IC Timer 555 merupakan IC Monolitik

pewaktu yang menghasilkan Osilasi (Oscilation) dan Waktu Penundaan (Delay Time) dengan keakuratan dan kestabilan tinggi (Kho, 2016)

IC Timer 555 yang umum digunakan adalah IC Timer 555 yang berbentuk DIP (Dual Inline Package) dengan 8 kaki terminalnya. Namun seiring dengan perkembangannya, saat ini kita dapat menemui beberapa versi IC 555, diantaranya seperti IC 556 yang menggabungkan 2 buah IC 555 dalam satu kemasan (14 kaki), IC 558 yang menggabungkan 4 buah IC555 dalam satu kemasan (16 kaki) serta IC555 yang mengkonsumsi daya rendah seperti 7555 dan TLC555. Nama IC 555 diambil dari 3 buah resistor yang terdapat dalam kemasan IC dengan nilai masing-masingnya  $5k\Omega$ .



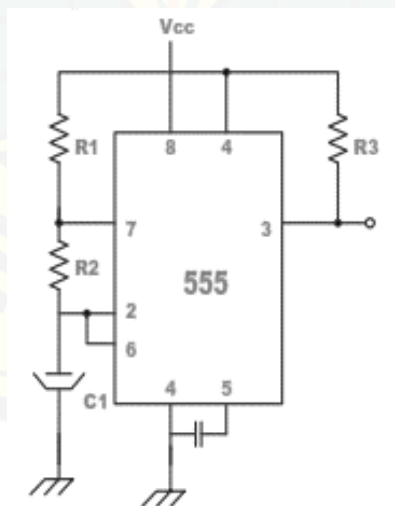
Gambar 2.15 Konfigurasi kaki IC 555

Berikut ini adalah susunan dan konfigurasi Kaki IC 555 yang berbentuk DIP 8 kaki.

- a. Kaki 1 (GND) : *Terminal Ground* atau Terminal Negatif sumber tegangan DC.
- b. Kaki 2 (TRIG) : *Terminal Trigger* (Pemicu), digunakan untuk memicu Output menjadi “High”, kondisi High akan terjadi apabila level tegangan pada kaki Trigger ini berubah dari High menuju ke  $<1/3V_{cc}$  (Lebih kecil dari  $1/3V_{cc}$ ).
- c. Kaki 3 (OUT) : *Terminal Output* (Keluaran) yang memiliki 2 keadaan yaitu “Tinggi/High” dan “Rendah/Low”.
- d. Kaki 4 (RESET) : *Terminal Reset*. Apabila kaki 4 digroundkan, Output IC akan menjadi rendah dan menyebabkan perangkat ini menjadi

OFF. Oleh karena itu, untuk memastikan IC dalam kondisi ON, Kaki 4 biasanya diberikan sinyal “High”.

- e. Kaki 5 (CONT) : *Terminal Control Voltage* (Pengatur Tegangan), memberikan akses terhadap pembagi tegangan internal. Secara default, tegangan yang ditentukan adalah  $2/3 V_{cc}$ .
- f. Kaki 6 (THRES) : *Terminal Threshold*, digunakan untuk membuat Output menjadi “Low”. Kondisi “Low” pada Output ini akan terjadi apabila Kaki 6 atau Kaki Threshold ini berubah dari Low menuju  $> 1/3 V_{cc}$  (lebih besar dari  $1/3 V_{cc}$ ).
- g. Kaki 7 (DISCH) : *Terminal Discharge*. Pada saat output “Low”, Impedansi kaki 7 adalah “Low”. Sedangkan pada saat output “High”, Impedansi kaki 7 adalah “High”. Kaki Discharge ini biasanya dihubungkan dengan Kapasitor yang berfungsi sebagai penentu interval pewaktuan. Kapasitor akan mengisi dan membuang muatan seiring dengan impedansi pada kaki 7. Waktu pembuangan muatan inilah yang menentukan Interval Pewaktuan dari IC555.’
- h. Kaki 8 (Vcc) : *Terminal Positif sumber tegangan DC* (sekitar 4,5V atau 16V)



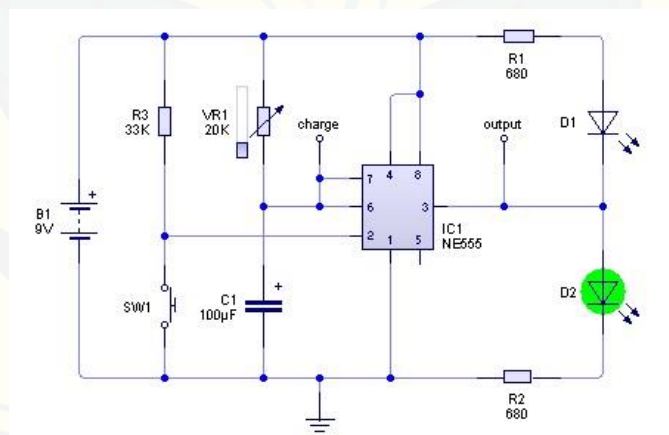
Gambar 2.16 Pin Out IC 555

(Sumber : Bachri, 2013 : 431)

Cara kerja dari IC 555 secara garis besar dimulai ketika supply diberikan,  $V_{cc} = 0$  volt. Kaki 2 memberikan trigger dari tegangan yang tinggi ( $V_{cc}$ ) menuju  $1/3 V_{cc}$  ( $<1/3 V_{cc}$ ), kaki 3 (output) akan high dan pada saat tersebut kaki 7 mempunyai nilai hambatan yang besar terhadap Ground atau kaki 7 akan high impedance. C1 diisi melalui  $V_{cc}$  ke R1, kemudian ke R2 dan selanjutnya ke C1. Setelah  $0,7(R1 + R2)$  C1 detik, maka tegangan  $c1 = 2/3 V_{cc}$ . Sehingga kaki 3 (output) akan Low, pada saat tersebut, kaki 7 akan mempunyai nilai hambatan yang rendah sekali terhadap ground atau pin 7 akan low impedance. C1 membuang muatan, setelah  $0,7 (R2)$  C1 detik, maka tegangan  $C1 = 1/3 V_{cc}$ . Trigger terjadi lagi sehingga output akan high. Pin 7 akan high impedance dan C1 diisi kembali (Bachri, 2013 : 431)

### 2.6.2. Rangkaian Monostable

Rangkaian Monostable ini sendiri merupakan rangkaian yang keluarannya akan berlogika 1(satu) selama beberapa saat kemudian akan kembali berlogika 0 (nol), Untuk lebih memahami rangkainan ini mungkin lebih baik perhatikan gambar berikut ini:



Gambar 2.17 Rangkaian Monostable IC 555

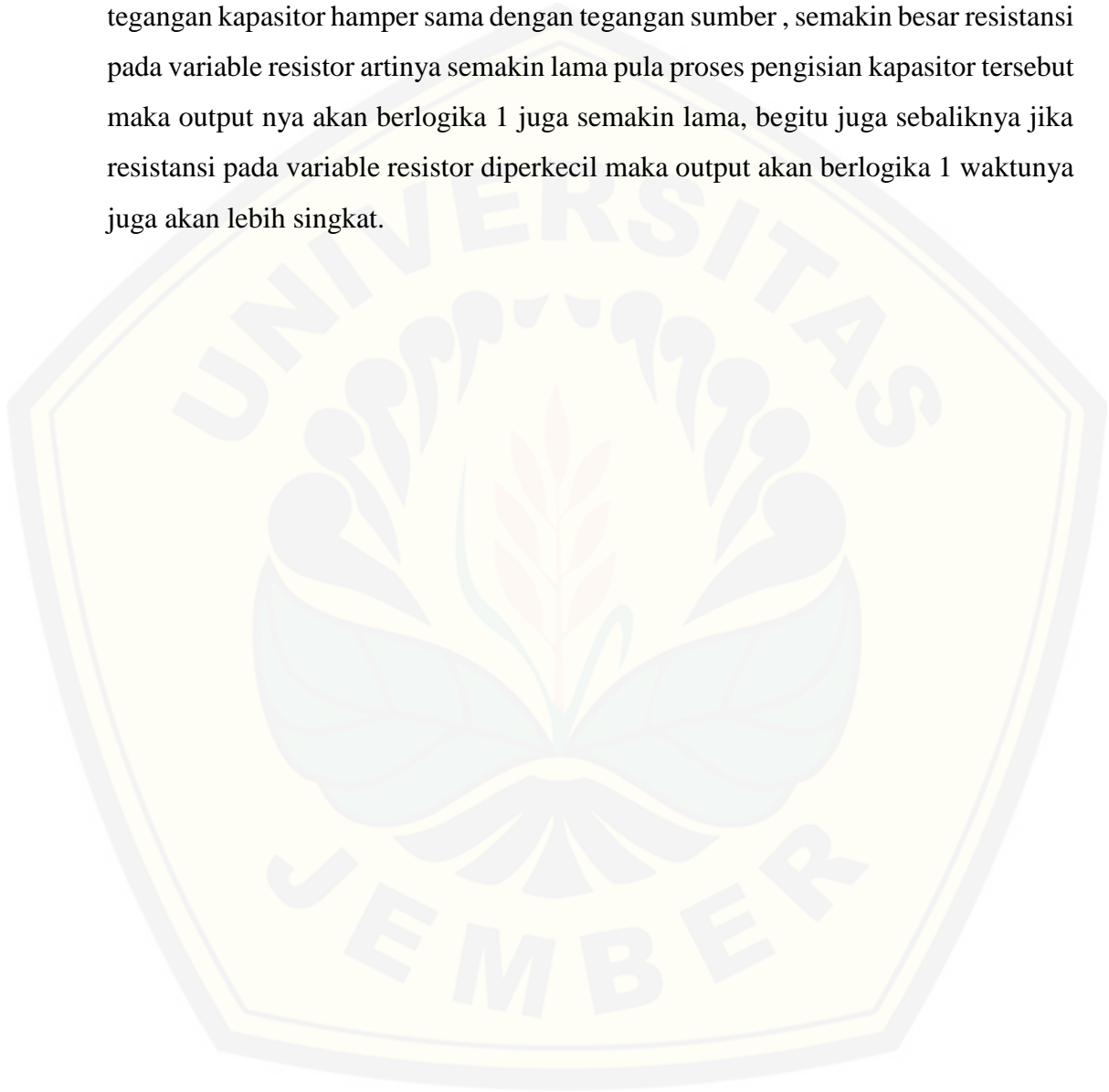
Konsep utama rangkaian ini adalah memanfaatkan pengisian dan pengosongan kapasitor sebagai waktu tundanya. untuk lamanya penundaan dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$Td = RC$$



Dimana  $T_d$  : Waktu tunda; R : Resistor dan C : Kapasitor.

Ketika push button ditekan maka kapasitor akan mulai melakukan pengisian dan selama proses pengisian itu ( kapasitor terhubung ke pin 6 dan pin 7 pada IC 555, maka ketika itu output pada IC 555 (pin 3) akan berlogika satu sampai tegangan kapasitor hampir sama dengan tegangan sumber , semakin besar resistansi pada variable resistor artinya semakin lama pula proses pengisian kapasitor tersebut maka output nya akan berlogika 1 juga semakin lama, begitu juga sebaliknya jika resistansi pada variable resistor diperkecil maka output akan berlogika 1 waktunya juga akan lebih singkat.



### **BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini akan diuraikan mengenai: 1) Jenis penelitian, 2) Tempat dan waktu penelitian, 3) Variabel penelitian dan definisi operasional variabel, 4) Alat dan bahan penelitian, 5) Desain alat penelitian, 6) Alur penelitian, 7) Langkah penelitian, 8) Teknik penyajian data dan 9) Teknik Analisis Data

#### **3.1. Jenis Penelitian**

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana cara membuat dan cara kerja dari kapasitansi meter berbasis *Arduino Board*.

#### **3.2. Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian untuk mengetahui bagaimana cara membuat dan cara kerja dari kapasitansi meter berbasis *Arduino Board* bertempat di Laboratorium Fisika Lanjut Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember. Waktu penelitian akan dilaksanakan pada semester genap tahun akademik 2017.

#### **3.3. Variabel Penelitian dan Definisi Operasional Variabel**

Variabel dan definisi operasional variabel dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

##### **3.3.1. Variabel Penelitian**

Variabel merupakan segala sesuatu yang akan menjadi objek pengamatan penelitian. Dalam penelitian ini terdapat beberapa variabel, yakni variabel bebas, variabel terikat dan variabel kontrol.

a. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah :

1. Rancangan kapasitansi meter
2. Jenis kapasitor

b. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah :

1. Kapasitas kapasitor
2. Tingkat ketelitian kapasitansi meter

c. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah :

1. Jenis mikrokontroler (arduino uno R3 ATmega 328p)
2. Rentang pengukuran (range) kapasitas kapasitor

### 3.3.2. Definisi Operasional Variabel

Untuk menghindari perbedaan persepsi dan penafsiran yang kesalahan dalam penelitian ini, maka diperlukan adanya definisi operasional variabel. Adapun pengertian dari variabel-variabel tersebut, antara lain:

a. Rancangan kapasitansi meter

Rancangan kapasitansi meter dapat didefinisikan sebagai cara bagaimana membuat ulang sebuah kapasitansi meter dalam hal ini menggunakan mikrokontroler arduino board. Mulai dari rangkaian komponen-komponennya, hingga perintah (*coding*) untuk menjalankan mikrokontrolernya.

b. Jenis kapasitor

Jenis kapasitor dalam penelitian ini memiliki definisi dari bahan apa sebuah kapasitor tersebut terbentuk. Kapasitor yang beredar dipasaran saat ini sangat beragam jenisnya, diantaranya kapasitor elektrostatis yang biasa terbuat dari keramik, film dan mika, kapasitor elektrolitik yang terbuat dari lapisan metal-oksida dan kapasitor elektrokimia yang terbuat dari campuran larutan atau bahan kimia kedalamnya.

c. Kapasitas kapasitor

Kapasitas kapasitor didefinisikan sebagai banyaknya muatan yang tersimpan dalam suatu kapasitor, biasanya dinyatakan dengan farad. Hal ini disesuaikan dengan nama penemu dari kapasitor yakni Michael Faraday.

d. Tingkat ketelitian kapasitansi meter

Tingkat ketelitian kapasitansi meter merupakan tingkatan untuk menyatakan seberapa tepat kapasitansi meter berbasis arduino board mengukur kapasitansi kapasitor. Hasil pengukuran tersebut dibandingkan dengan hasil ukur kapasitansi meter pabrikan yang sudah tervalidasi sebelumnya.

e. Jenis mikrokontroler

Mikrokontroler sangat banyak saat ini, salah satunya adalah arduino. Arduino merupakan mikrokontroler *open source*, dimana semuanya bisa

mengakses dengan gratis. Dalam penelitian ini, digunakan jenis arduino uno dengan ATmega 328p sebagai prosesor dari mikrokontrolernya.

f. Rentang pengukuran

Rentang pengukuran didefinisikan sebagai jarak ukur kemampuan suatu alat ukur, sejauh mana alat tersebut bisa mengukur mulai dari nilai terkecil, hingga batas maksimum alat tersebut. Dalam penelitian kali ini, kapasitansi meter berbasis mikrokontroler arduino board memiliki rentang pengukuran sebesar 20pF sampai 1000  $\mu$ F.

### 3.4. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan untuk rancang bangun kapasitansi meter berbasis *Arduino board* adalah sebagai berikut :

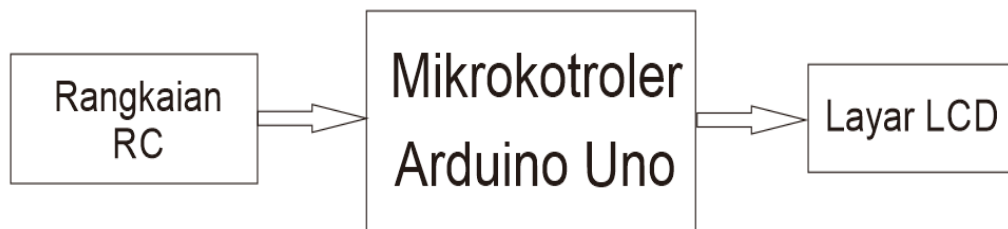
- a. *Arduino Board*, yang digunakan dalam penelitian ini adalah *arduino uno R3*
- b. Resistor, yang digunakan untuk merangkai rangkaian RC
- c. Op-Amp LM741
- d. IC Timer 555
- e. LCD, untuk menampilkan nilai kapasitas kapasitor dan waktu pengisian kapasitor
- f. *Power Supplay* 5 volt, untuk *input* daya ke *arduino board*
- g. *Software Arduino*, untuk memasukkan perintah ke dalam *arduino board*
- h. Laptop, untuk menjalankan *software arduino*
- i. Solder dan timah
- j. Kabel dan PCB

### 3.5. Desain Alat Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan, menggunakan desain alat seperti gambar di bawah ini.

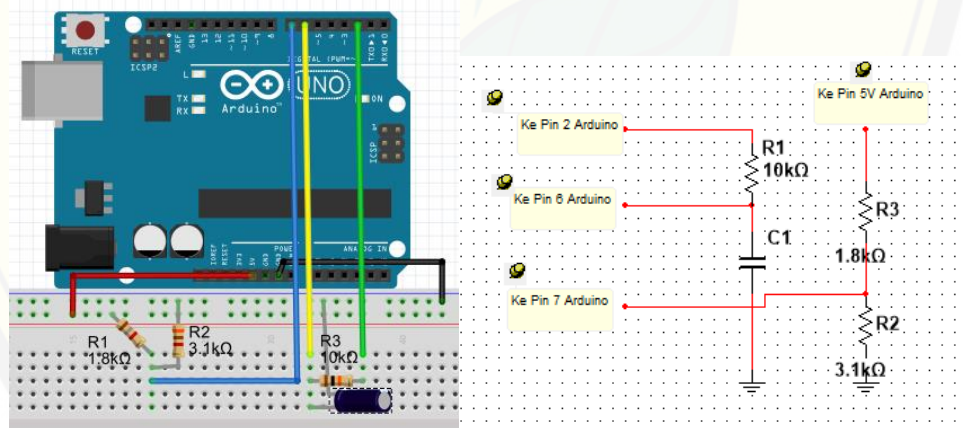
### 3.5.1. Desain Alat Penelitian I

Pada desain pertama ini, kapasitansi meter dirancang bangun dengan menggunakan rangkain luar yang berupa rangkaian RC yang terdiri dari Resistor dan Kapasitor. Berikut adalah desain untuk penelitian yang pertama.



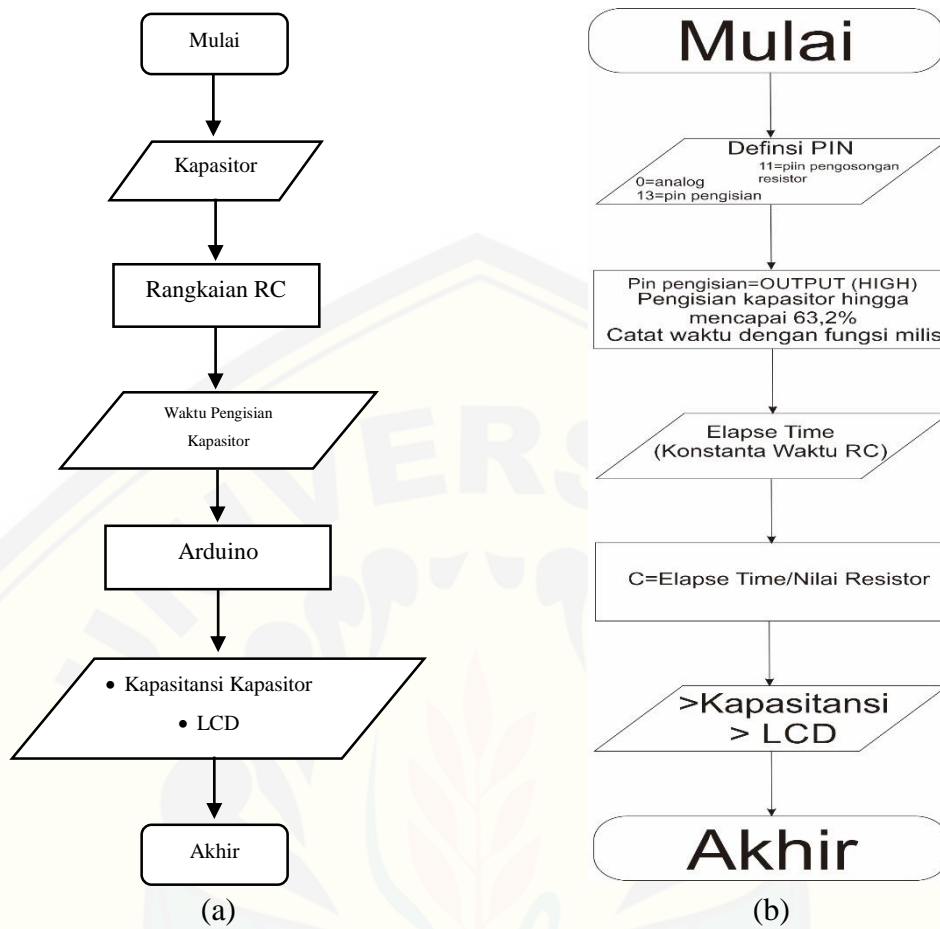
Gambar 3.1 Desain Penelitian I : Kapasitansi Meter dengan Rangkaian RC

Pada rancangan pertama ini, penulis menggunakan resistor dan kapasitor yang dirangkai dalam satu rangkaian, yang biasa disebut dengan rangkaian RC yang dihubungkan dengan arduino sebagai pengolahnya. Pada rangkaian RC tersebut, nilai kapasitor merupakan nilai yang harus dicari, dengan menggunakan teori pada rangkaian RC, penulis bisa mengetahui berapa nilai kapasitansi yang diukur.



Gambar 3.2 Rangkaian desain penelitian I

Kemudian nilai tersebut diolah oleh arduino menjadi data digital yang bisa ditampilkan pada layar LCD sekaligus berapa lama waktu yang dibutuhkan oleh kapasitor tersebut dalam proses pengisian (Scott, 2015) . Untuk diagram alir dari desain pertama ini sebagai mana gambar di bawah



Gambar 3.3 Diagram alir desain penelitian pertama (a) langkah kerja kapasitansi meter; (b) proses perhitungan pada kapasitansi meter

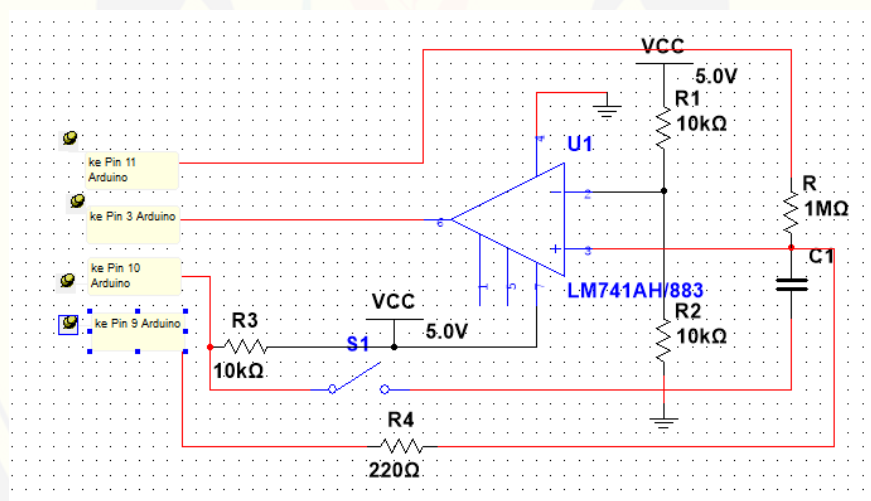
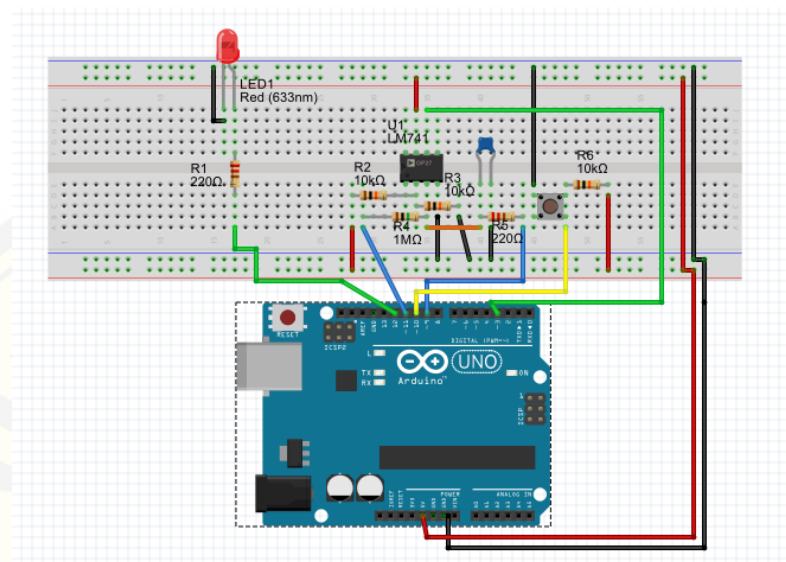
3.5.2. Desain Alat Penelitian II

Pada desain yang kedua ini, menggunakan sebuah operational amplifier (Op-Amp) yakni LM741 yang berfungsi sebagai komparator. Berikut adalah desain alat penelitian kedua yang digunakan dalam penelitian ini



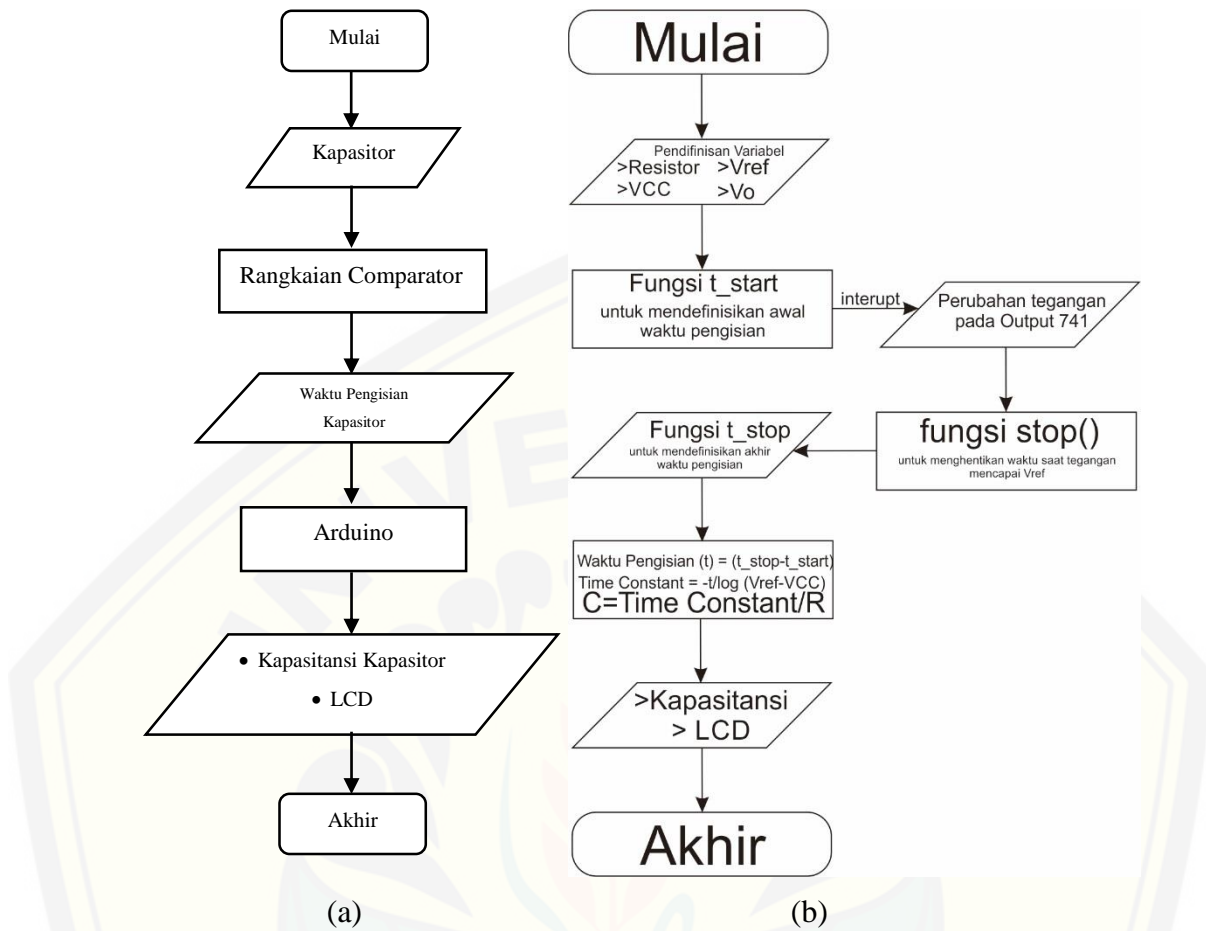
Gambar 3.4 Desain Penelitian II : Kapasitansi Meter dengan Op-Amp LM741

Pada desain ini, Op-Amp LM741 berfungsi sebagai komparator, yakni sebagai pembanding antara tegangan masukan dengan tegangan yang sudah masuk kedalam kapasitor. LM741 menginformasikan kepada arduino momen yang tepat kapasitor yang diukur mencapai tegangan tertentu (Ramtonio, 2015)



Gambar 3.5 Rangkaian desain penelitian II

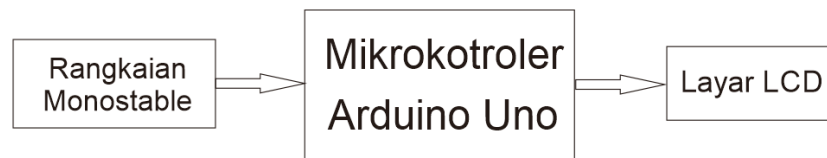
Kemudian arduino menghitung waktu yang dibutuhkan dari awal pengisian hingga tegangan pada kapasitor tercapai. Waktu tersebut yang nantinya bisa digunakan untuk menghitung berapa nilai dari kapasitor yang ingin diketahui kapasitansinya. Untuk diagram alir dari desain kedua ini sebagai mana gambar di bawah



Gambar 3.6 Diagram alir desain penelitian kedua (a) langkah kerja kapasitansi meter; (b) proses perhitungan pada kapasitansi meter

### 3.5.3. Desain Alat Penelitian III

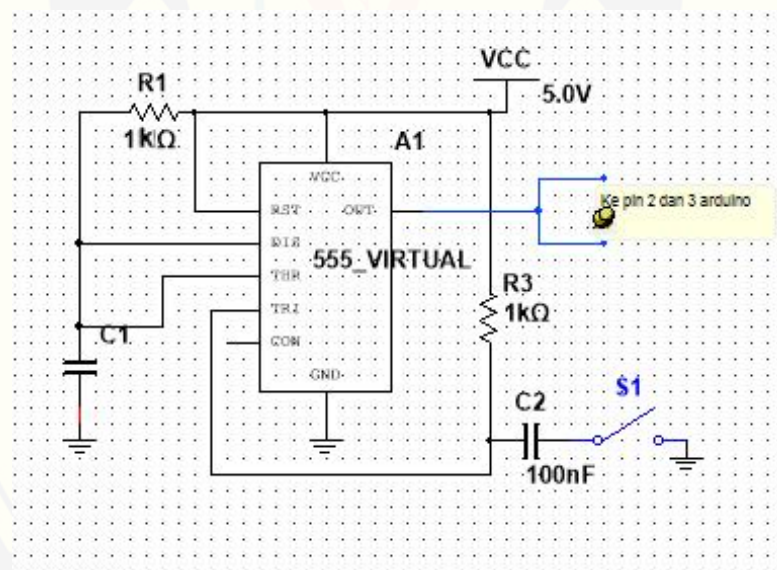
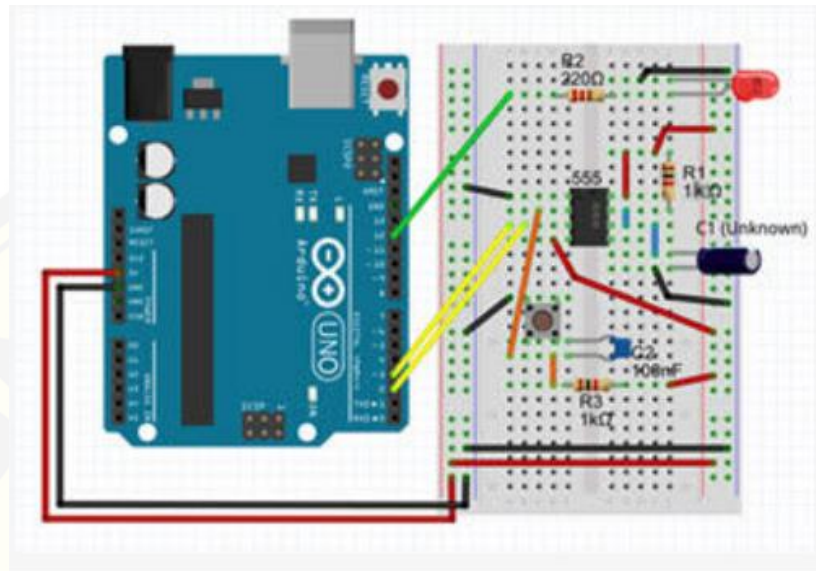
Untuk desain penelitian yang terakhir kapasitansi meter dibuat dengan rangkaian luar menggunakan IC Timer 555. Berikut adalah desain alat yang digunakan



Gambar 3.7 Desain Penelitian III : Kapasitansi meter dengan IC Timer 555

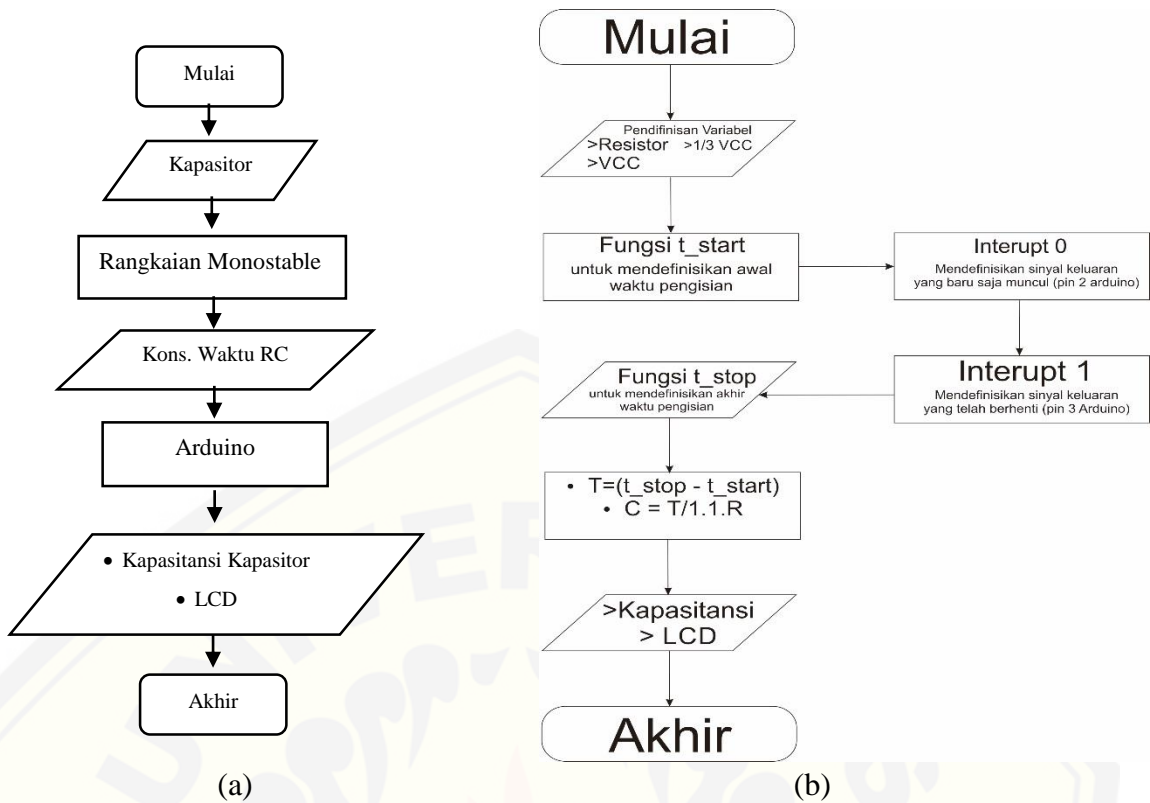


IC timer 555 digunakan pada desain ini sebagai monostable dimana IC timer 555 digunakan untuk menghasilkan pulsa keluaran dimana waktu yang diperlukan bisa dihitung dengan memperhatikan nilai dari resistor dan kapasitor itu sendiri dengan menggunakan formula yang sederhana (Ramtonio, 2015)



Gambar 3.8 Rangkaian desain penelitian III

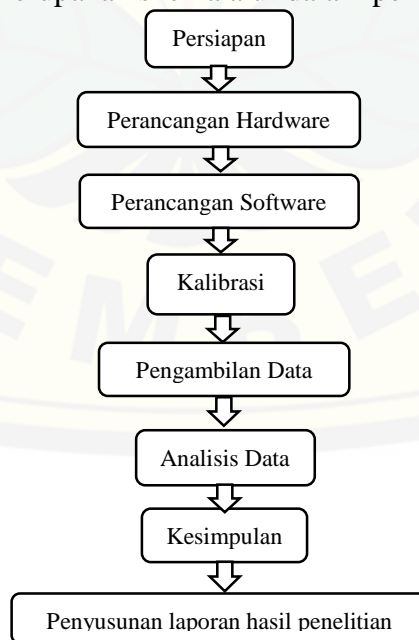
Setelah waktu yang dibutuhkan untuk pengisian kapasitor tersebut sudah bisa diketahui, maka mudah untuk mencari besar kapasitansi dari sebuah kapasitor yang ingin kita ketahui. Untuk diagram alir dari desain kedua ini sebagai mana gambar di bawah



Gambar 3.9 Diagram alir desain penelitian ketiga (a) langkah kerja kapasitansi meter; (b) proses perhitungan pada kapasitansi meter

### 3.6. Alur Penelitian

Berikut merupakan skema alur dalam penelitian ini :



Gambar 3.10 Skema Alur Penelitian

### 3.7. Langkah Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

a. Mempersiapkan alat dan bahan

Alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini sudah disebutkan sebelumnya. Alat yang harus dalam kondisi tertentu adalah arduino uno, alat ini harus sudah bisa tersambung dengan PC yang sudah terinstall software arduino.

b. Perancangan Hardware

Merancang alat dan bahan yang sudah siap digunakan sesuai dengan desain penelitian. Pada tahap ini diperlukan ketelitian yang lebih untuk merancang alat dan bahan tersebut, perlu dilakukan pengecekan ulang sebelum melanjutkan ke langkah berikutnya.

c. Perancangan Software

Pada langkah ini, alat dan bahan yang telah tersusun dengan benar diberikan perlakuan yakni memasukkan perintah bahasa pemrograman arduino melalui PC yang sudah terinstall software arduino. Desain penelitian satu dengan yang lainnya memiliki perintah yang berbeda.

d. Kalibrasi

Setelah alat sudah bekerja sesuai dengan fungsinya, maka langkah selanjutnya adalah kalibrasi. Kalibrasi bertujuan untuk mengetahui sudah sesuai atau belum alat ukur yang baru saja dibuat. Dalam hal ini, kalibrasi dilakukan dengan mengukur kapasitansi kapasitor yang sudah diketahui nilainya menggunakan kapasitansi meter arduino, kemudian dianalisis dengan menggunakan analisis regresi linier sederhana dengan SPSS untuk mengetahui kelinieran kapasitansi meter arduino dengan kapasitansi meter pabrikan.

e. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan cara mengukur nilai kapasitansi beberapa kapasitor yang sudah diukur sebelumnya menggunakan kapasitansi meter pabrikan. Hasil dari pengukuran ini dibandingkan dengan hasil pengukuran kapasitansi meter pabrikan dan nilai yang tertera pada kapasitor dan dimasukkan ke dalam tabel yang sudah tersedia.

f. Analisis Data

Data yang sudah dicatat dalam tabel, kemudian akan dianalisis sejauh mana tingkat ketelitian dari desain alat kapasitansi meter menggunakan arduino board yang sudah dirancang.

g. Kesimpulan dan Penyusunan Laporan Penelitian

Membuat kesimpulan dari penelitian yang sudah dilakukan berdasarkan keseluruhan data yang sudah didapat. Kemudian membuat laporan dari apa yang sudah didapatkan mulai dari langkah awal hingga akhir penelitian.

### 3.8. Teknik Penyajian Data

Data yang sudah didapat dari pengukuran akan ditabulasi dalam tabel berikut :

Tabel 3.1 Penyajian data hasil pengukuran kapasitansi kapasitor

No	Nilai pada Label (Farad)	Kapasitansi Meter Pabrikasi (Farad)	Desain I			Desain II			Desain III		
			Hasil (Farad)	Nilai Error (%)	Tingkat Ketelitian (%)	Hasil (Farad)	Nilai Error (%)	Tingkat Ketelitian (%)	Hasil (Farad)	Nilai Error (%)	Tingkat Ketelitian (%)
1											
2											
3											
4											

Ketentuan pengisian tabel di atas adalah sebagai berikut :

- Kolom Nilai pada Label diisi dengan nilai kapasitansi yang tertera pada kapasitor yang akan diukur, jika kapasitor yang akan diukur tidak mempunyai nilai atau nilai pada label telah rusak atau hilang, bisa dikosongkan.
- Kolom Kapasitansi Meter Pabrikasi diisi dengan nilai kapasitansi kapasitor yang diukur dengan kapasitansi meter yang ada di pasaran
- Kolom hasil diisi dengan hasil pengukuran kapasitansi kapasitor menggunakan desain yang sudah dibuat. Jika pengukuran menggunakan alat desain I maka nilai kapasitansi yang terukur dimasukkan ke dalam kolom hasil pada desain I, begitupun untuk desain II dan desain III.

- d. Kolom nilai error diisi dengan berapa presentase perbedaan hasil pengukuran kapasitansi meter berbasis arduino board dengan hasil pengukuran kapasitansi standar yang beredar di pasaran.

$$\text{Nilai Error (\%)} = \frac{\text{Nilai kapasitansi meter standar} - \text{Nilai kapasitansi meter desain I}}{\text{Nilai kapasitansi meter standar}} \times 100$$

- e. Kolom tingkat ketelitian diisi dengan berapa presentase ketelitian pengukuran kapasitansi kapasitor menggunakan alat ukur yang sudah di desain, dengan kapasitor meter yang beredar di pasaran. Untuk menghitung seberapa besar tingkat ketelitian, dapat menggunakan perhitungan berikut ini

$$\text{Tingkat Ketelitian (\%)} = 100 - \text{Nilai Error}$$

(Samosir, 2016)

### 3.9. Teknik Analisis Data

Analisis data merupakan cara untuk menyusun dan mengolah data yang terkumpul sehingga menghasilkan suatu kesimpulan yang dapat dipertanggungjawabkan. Berdasarkan tujuan penelitian yang telah dikemukakan, maka digunakan teknik analisis statistik untuk mengolah data yang diperoleh. Data yang akan dianalisis pada penelitian ini berupa nilai kelinieritasan kapasitansi meter yang sudah dibuat dengan kapasitansi meter pabrikan.

Untuk menganalisis data tersebut peneliti menggunakan analisis korelasi regresi sederhana. Teknik analisis regresi menggunakan asumsi adanya hubungan yang linier antara variabel independen (X) dalam hal ini adalah data yang dihasilkan oleh kapasitansi meter arduino, dan variabel dependen (Y) atau nilai yang didapat dari kapasitansi meter pabrikan. Selanjutnya data yang didapat diolah menggunakan SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) versi 22. Berikut adalah persamaan regresi linier sederhana :

$$Y = a + bX \quad (3.1)$$

Keterangan :

$Y'$  : Variabel dependen

$X$  : Variabel independen

$a$  : Konstanta (nilai  $Y'$  apabila  $X = 0$ )

$b$  : Koefisien regresi (nilai peningkatan atau penurunan)

(Gunawan, 2015 : 35)



## BAB 5. PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data yang sudah dilakukan pada penelitian rancang bangun kapasitansi meter berbasis arduino board dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Rancang bangun kapasitansi meter berbasis arduino board memanfaatkan arduino board, dalam hal ini arduino uno, sebagai pengatur dan pengolah utama dengan tiga rangkaian tambahan, yakni rangkaian RC, rangkaian komparator dan rangkaian monostable.
2. Sistem kerja dari kapasitansi meter berbasis arduino board dari masing-masing desain pada dasarnya memiliki kesamaan kerja, yakni dimulai dengan menempatkan kapasitor ke kapasitansi meter berbasis arduino board, selanjutnya akan terjadi proses pengisian. Bersamaan dengan hal tersebut, timer pada arduino board mencatat waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 63,2 % (1 konstanta waktu) dari tegangan sumber, kemudian arduino board memproses waktu tersebut untuk mengetahui kapasitansi dari kapasitor yang diukur.

### 5.2. Saran

Untuk menyempurnakan penelitian terkait rancang bangun kapasitansi meter berbasis arduino board atau sejenisnya, disarankan untuk :

1. Menggunakan jenis komponen yang lebih bagus, misalnya resistor, IC Op-Amp LM741 dan IC Timer 555 yang memiliki toleransi lebih kecil untuk meningkatkan ketelitian pada masing-masing desain.
2. Sumber pada desain II dan desain III disamakan (dikalibrasi) terlebih dahulu dengan sumber arduino menggunakan osiloskop, sehingga akan menghasilkan grafik yang lebih baik.
3. Penggunaan kapasitansi meter berbasis arduino board dalam penelitian ini lebih direkomendasikan untuk pembelajaran atau penelitian tentang karakteristik kapasitor

**DAFTAR PUSTAKA**

- Arduino. 2017. Arduino IDE Software. <https://www.arduino.cc/en/main/software>. [Diakses pada 12 April 2017]
- Artanto, D. 2002. *Interaksi Arduino dan Lab View*. Jakarta : Gramedia
- Bachri, A. 2013. Simulasi Karakteristik Inverter IC 555. *Jurnal Teknika*. 5 (1) : 430-433
- Caang, G. 2013. Komparator Op-Amp. <http://www.elektronikabersama.web.id/2013/01/komparator-op-amp.html>. [Diakses pada 12 April 2017]
- Chanif, M. 2014. Analisa Pengaruh Penambahan Kapasitor terhadap Pengisian Baterai Wahana Bawah Laut. *Jurnal Teknik Pomits*. 3(1) : 70-75
- D'Ausilio, A. 2011. Arduino : A Low-Cost Multipurpose Lab Equipment. *Behavior Research Methods, Instrument, & Computers*. 44:305-313
- Dutt, S. 2015. *RC Circuit Delays*. Chicago : ECE Department University of Illinois
- Gunawan, K. A. 2015. Rancang Bangun Alat Pengukur Suhu Tanah sebagai Alat Bantu Penentu Benih Sayuran yang akan Dibudidayakan. *Skripsi*. Semarang: Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
- Jauregui, D. 2015. LM741 Operational Amplifier. <http://www.ti.com>. [Diakses : Selasa, 14 Februari 2017 pukul : 20:32]
- Kho, D. 2015. Mengukur Kapasitor dengan Multimeter. <http://teknikelektronika.com/cara-mengukur-kapasitor-dengan-multimeter/>. [Diakses Rabu, 15 Februari 2017 pukul : 15:15]
- Kho, Dickson. 2016. Mengenal IC 555 (IC Timer) dan Konfigurasi Kakinya. [https://www. http://teknikelektronika.com/pengertian-mengenal-ic-555-ic-timer-konfigurasi-kaki-ic555/](https://www.teknikelektronika.com/pengertian-mengenal-ic-555-ic-timer-konfigurasi-kaki-ic555/). [Diakses tanggal 14 Februari 2017 pukul 23:11]
- Malvino, A. P. 2008. *Electronic Principles*. 7<sup>th</sup> Edition. United States : McGraw-Hill Education
- Murdaka, B. dan T. Kuntoro. 2010. *Fisika Dasar : Listrik-Magnet, Optika, Fisika Modern untuk Mahasiswa ilmu-ilmu Eksakta & Teknik*. Yogyakarta : Andi



- Ramtonio. 2015. Capacitance Meter With Arduino and 555 Timer. <http://www.instructables.com/id/Capacitance-meter-with-arduino-and-555-timer/>. [Diakses 14 Februari 2017]
- Ramtonio. 2015. Capacitance Meter With Arduino and 741 Op-Amp. <http://www.instructables.com/id/Capacitance-meter-with-arduino-and-741-op-amp/>. [Diakses 14 Februari 2017]
- Rianto, Y. 2005. *Listrik Dinamik 2*. Jakarta : Universitas Gunadarma
- Samosir, A. S. 2016. Implementasi Alat Ukur Kapasitansi Digital (Digital Capacitance Meter) berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elktro*. 10(1) : 21-26
- Scott. 2015. How to Make an Arduino Capacitance Meter. <http://www.circuitbasics.com/how-to-make-an-arduino-capacitance-meter/>. [Diakses 14 Februari 2017]
- Serway, R. A. dan J. W. Jewett. 2010. *Fisika untuk Sains dan Teknik*. Jakarta : Salemba Teknika
- Sinclair, I. dan J. Dunton. 2007. *Practical Electronics Handbook*. Oxford : Elsevier
- Srividyadevi, P., D. V. Pusphalatha, and P.M. Sharma. 2013. Measurement of Power and Energy Using Arduino. *Research Journal of Engineering Sciences*. 2(10) : 10-15
- Sutrisno. 1987. *Elektronika Teori dan Penerapannya*. Jilid 2. Bandung : Penerbit ITB
- Tuwaidan, Y. A. 2015. Rancang Bangun Alat Ukur Desibel (dB) Meter Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno R3. *E-Journal Teknik Elektro dan Komputer*, ISSN : 2301-8402
- Young, H. D. dan R. A. Freedman. 2008. *University Physics : With Modern Physics*. 12<sup>th</sup> Edition. San Fransisco : Pearson Education

## LAMPIRAN A. MATRIK PENELITIAN

Judul	Rumusan Masalah	Variabel	Indikator	Sumber Data	Metode Penelitian
Rancang Bangun Kapasitansi Meter Berbasis <i>Arduino board</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bagaimana merancang dan membuat Kapasitansi Meter Berbasis <i>Arduino board</i>?</li> <li>2. Bagaimana sistem kerja dari kapasitansi meter berbasis <i>Arduino board</i>?</li> </ol>	<p><b>Variabel Bebas :</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Rancangan kapasitansi meter</li> <li>2. Jenis kapasitor</li> </ol> <p><b>Variabel Terikat</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kapasitas Kapasitor</li> <li>2. Tingkat ketelitian kapasitansi meter</li> </ol> <p><b>Variabel Kontrol</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Jenis mikrokontroler (Arduino Uno ATmega328P)</li> <li>2. Rentang pengukuran kapasitas kapasitor</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cara kerja kapasitansi meter berbasis <i>Arduino board</i></li> <li>2. Hasil pengukuran kapasitor menggunakan kapasitansi meter berbasis <i>Arduino board</i></li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hasil Percobaan</li> <li>2. Literatur : Buku dan Jurnal Ilmiah</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Rancangan penelitian:</b> Penelitian eksperimen</li> <li>2. <b>Tempat penelitian:</b> Lab. lanjut fisika</li> <li>3. <b>Teknik pengumpulan data:</b> Data didapat dari hasil percobaan</li> <li>4. <b>Teknik Analisis data :</b> Uji Regresi Linier Sederhana menggunakan SPSS versi 22</li> </ol>

## LAMPIRAN B. BAHASA PEMROGRAMAN KAPASITANSI METER BERBASIS ARDUINO BOARD

### DESAIN I

```
const byte pulsePin = 2;  
const unsigned long resistance = 10000;
```

```
volatile boolean triggered;  
volatile boolean active;  
volatile unsigned long startTime;  
volatile unsigned long duration;
```

```
ISR (ANALOG_COMP_vect)  
{  
  unsigned long now = micros ();  
  if (active)  
  {  
    duration = now - startTime;  
    triggered = true;  
    digitalWrite (pulsePin, LOW);  
  }  
}
```

```
void setup ()  
{  
  pinMode(pulsePin, OUTPUT);  
  digitalWrite(pulsePin, LOW);  
  Serial.begin(9600);  
  Serial.println("Started.");  
  ADCSRB = 0;  
  ACSR = _BV (ACI)
```

```
    |_BV (ACIE)
    |_BV (ACIS0) |_BV (ACIS1);
}

void loop ()
{
  if (!active)
  {
    active = true;
    triggered = false;
    digitalWrite (pulsePin, HIGH);
    startTime = micros ();
  }

  if (active && triggered)
  {
    active = false;
    Serial.print ("Capacitance = ");
    Serial.print (duration * 1000 / resistance);
    Serial.println (" nF");
    triggered = false;
    delay (3000);
  }
}
```

**DESAIN II**

```
float R = 1.0e6

// 0 < C <= 10nF => R = 1 Mohm
// 10 nF < C <= 300 uF => R = 10 kohm
// 300 uF < C <= 2000 uF => R = 1 kohm

float C = 0.;
float RC = 0.;
long t_start = 0;
volatile long t_stop = 0;
long T = 0
float VCC = 5;
float Vref = VCC / 2;
float V0 = 0;
int led_pin = 12;
int source_pin = 11;
int switch_pin = 10;
int discharge_pin = 9;
float error_correction = 40
int debounce_delay = 20;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  attachInterrupt(1, stop, RISING);
  Vref = VCC / 2;
  pinMode(led_pin, OUTPUT);
  pinMode(source_pin, OUTPUT);
  digitalWrite(source_pin, LOW);
  pinMode(switch_pin, INPUT);
  pinMode(discharge_pin, INPUT);
  digitalWrite(led_pin, LOW);
}
```

```
void loop()
{
  if(debounce(switch_pin) == LOW)
  {
    pinMode(discharge_pin, OUTPUT);
    digitalWrite(discharge_pin, LOW);
    delay(100)
    pinMode(discharge_pin, INPUT);
    digitalWrite(source_pin, HIGH);
    t_start = micros();
    digitalWrite(led_pin, HIGH);
  }

  if (t_stop > 0 and t_start > 0 and (t_stop - t_start) > 0 )
  {
    T = (t_stop - t_start);
    RC = -T / log((Vref - VCC) / (V0 - VCC));
    C = RC / R;
    digitalWrite(led_pin, LOW);

    Serial.println("-----");
    Serial.print("C = ");
    Serial.print(C, 1);
    Serial.println(" uF");
    Serial.print("C = ");
    Serial.print(C * 1000, 1);
    Serial.println(" nF");
    Serial.print("C = ");
    Serial.print(C * 1000000 - error_correction , 0);
    Serial.println(" pF");
```

```
Serial.println("-----");
Serial.println();

.
t_start = 0;
t_stop = 0;
digitalWrite(source_pin, LOW);
}
}
void stop()
{
t_stop = micros();
}

int debounce(int pin)
{
int state;
int previous_state;
previous_state = digitalRead(pin);
for(int counter = 0; counter < debounce_delay; counter++)
{
delay(1);
state = digitalRead(pin);
if( state != previous_state)
{
counter = 0;
previous_state = state;
}
}
return state;
}
```

**DESAIN III**

```
float R1 = 1e6;
float C1 = 0;
volatile int led_pin = 12;
volatile long t_start = 0;
volatile long t_stop = 0;
long T = 0;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  attachInterrupt(0, start, RISING);
  attachInterrupt(1, stop, FALLING);
  pinMode(led_pin, OUTPUT);
}

void loop()
{
  if (t_stop > 0)
  {
    T = t_stop - t_start;
    C1 = T * 1000 / (1.1 * R1);

    Serial.print("t = ");
    Serial.print(T);
    Serial.println(" microSeg");
    Serial.print("C = ");
    Serial.print(C1 );
    Serial.println(" microF");
    Serial.print("C = ");
    Serial.print(C1 * 1000);
    Serial.println(" nanoF");
```



```
Serial.println();
t_start = 0;
t_stop = 0;
}

}

void start()
{
t_start = millis();
digitalWrite(led_pin, HIGH);
}

.

void stop()
{
t_stop = millis();
digitalWrite(led_pin, LOW);
}
```

## **LAMPIRAN C. PROSEDUR PEMBUATAN KAPASITANSI METER BERBASIS ARDUINO BOARD.**

### **DESAIN I**

1. Persiapkan alat dan bahan untuk membuat kapasitansi meter berbasis arduino board desain I sesuai yang dicantumkan pada bab 3.
2. Rangkai komponen sesuai dengan skema pada desain I
3. Sambungkan resistor R2 senilai 3,1 kOhm dengan R3 senilai 1,8 kOhm secara seri.
4. Kaki R3 yang tidak tersambung dengan R2 dihubungkan dengan VCC, dalam hal ini pin VCC 5 Volt pada arduino.
5. Kaki R2 yang tidak tersambung dengan R3 dihubungkan dengan Ground pada arduino board.
6. Pada sambungan R2 dan R3 diberi simpangan yang tersambung dengan pin digital nomor 7 arduino board.
7. Buat rangkaian RC dengan menyambungkan secara seri kapasitor yang akan kita ukur dengan resistor R1 sebesar 10 kOhm.
8. Pada kaki R1 yang lainnya hubungkan dengan pin digital nomor 2 arduino board.
9. Kaki kapasitor yang menunjukkan negatif (pada kapasitor tabung) dihubungkan dengan pin ground pada arduino board
10. Sambungan antara Resistor dan kapasitor diberikan simpangan yang langsung dihubungkan dengan pin digital nomor 6.
11. Sebagai tegangan masukan pada arduino untuk mengoperasikan alat ini dapat memanfaatkan USB pada komputer atau menggunakan power bank serta baterai 9 Volt.

**DESAIN II**

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Pasang IC Op-Amp LM741 terlebih dahulu pada project board atau PCB.
3. Pasang komponen-komponen dari nomor kaki LM741 terkecil, hingga paling besar.
4. Sambungkan 2 resistor 10 kOhm yang dirangkai seri dengan kaki nomor 2 LM741.
5. Salah satu kaki resistor yang tidak terhubung dengan apapun, dihubungkan dengan VCC dan Ground.
6. Serikan R bernilai 1 Mohm dengan kapasitor yang akan kita ukur, kemudian sambungkan dengan kaki nomor 3 LM741.
7. Kaki R 1 Mohm yang lainnya dihubungkan dengan pin nomor 11 arduino board
8. Kaki pada kapasitor yang lainnya terhubung saklar yang langsung menuju ke pin digital nomor 10 pada arduino board.
9. Resistor dengan nilai 10 kOhm dihubungkan ke kaki saklar sebelum menuju ke pin digital arduino sebagai resistor pull-up yang tersambung dengan VCC
10. Pada persimpangan rangkaian RC dihubung dengan resistor bernilai 220 Ohm yang tersambung dengan pin digital nomor 9 pada arduino board.
11. Kaki nomor 4 IC LM 741 terhubung langsung dengan ground.
12. Kaki nomor 6 IC LM741 sebagai output, terhubung dengan pin nomor 3 pada arduino board
13. Kaki nomor 7 IC LM 741 terhubung langsung dengan VCC untuk menyuplai tegangan pada rangkaian komparator ini.
14. Untuk indikator diberikan LED yang terhubung dengan resistor 220 Ohm yang kemudian masuk pada pin digital nomoe 12 pada arduino board.

**DESAIN III**

1. Persiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan sesuai dengan yang disebutkan pada bab 3.
2. Pasang terlebih dahulu IC Timer 555 pada project board atau PCB.
3. Kaki 1 IC Timer 555 langsung terhubung dengan ground
4. Kaki 2 IC Timer 555 sebagai trigger dengan kapasitor 100 nF yang terhubung dengan seri dengan resistor 1 kOhm yang menuju ke VCC.
5. Kapasitor 100 nF terhubung dengan switch yang salah satu kakinya langsung menuju ke ground.
6. Kaki 3 IC timer 555 sebagai output langsung terhubung dengan pin digital nomor 2 dan 3 pada arduino board.
7. Kaki 4 dan 8 IC Timer 555 langsung tersambung dengan VCC
8. Kaki 5 tidak digunakan.
9. Kaki 6 dan 7 terhubung dengan rangkain RC yang terdiri dari Resistor 1 kOhm dengan kapasitor yang akan kita ukur.
10. Kaki resistor yang lainnya tersambung dengan VCC dan kaki kapsaitor yang lainnya menuju ke ground.
11. Untuk indikator digunakan LED yang terhubung seri dengan resistor 220 Ohm dan masuk pada pin digital nomor 12 pada arduino board.

**LAMPIRAN D. TABEL HASIL PENGUKURAN PADA MASING-MASING DESAIN KAPASITANSI METER BERBASIS ARDUINO BOARD**

No	Nilai pada Label ( $\mu\text{F}$ )	Kapasitansi Meter Standar ( $\mu\text{F}$ )	Desain I			Desain II			Desain III		
			Hasil ( $\mu\text{F}$ )	Nilai Error (%)	Tingkat Ketelitian (%)	Hasil ( $\mu\text{F}$ )	Nilai Error (%)	Tingkat Ketelitian (%)	Hasil ( $\mu\text{F}$ )	Nilai Error (%)	Tingkat Ketelitian (%)
1	0,000004	0,0000082	NR	-	-	NR	-	-	NR	-	-
2	0,000015	0,0000158	NR	-	-	0,000012	24,0506	75,9494	NR	-	-
3	0,000022	0,0000222	NR	-	-	0,000023	-3,6036	96,3964	NR	-	-
4	0,000033	0,0000342	NR	-	-	0,000029	15,2047	84,7953	NR	-	-
5	0,000047	0,0000481	NR	-	-	0,000052	-8,1081	91,8919	NR	-	-
6	0,000068	0,0000713	NR	-	-	0,00007	1,8233	98,1767	NR	-	-
7	0,0001	0,0001012	NR	-	-	0,00011	-8,6957	91,3043	NR	-	-
8	0,0001	0,0001096	NR	-	-	0,000116	-5,8394	94,1606	NR	-	-
9	0,00028	0,000277	NR	-	-	0,000277	0,0000	100,0000	NR	-	-
10	0,00047	0,000414	NR	-	-	0,000439	-6,0386	93,9614	NR	-	-
11	0,0005	0,000496	NR	-	-	0,000508	-2,4194	97,5806	NR	-	-
12	0,0015	0,00142	NR	-	-	0,0015	-5,6338	94,3662	0,0018	-26,7606	73,2394
13	0,002	0,002	NR	-	-	0,0020	0,0000	100,0000	0,0018	10,0000	90,0000
14	0,0022	0,00219	NR	-	-	0,0026	-18,7215	81,2785	0,0027	-23,2877	76,7123
15	0,0022	0,00222	NR	-	-	0,0023	-3,6036	96,3964	0,0027	-21,6216	78,3784
16	0,0027	0,00284	NR	-	-	0,0029	-2,1127	97,8873	0,0027	4,9296	95,0704
17	0,0033	0,00338	0,0036	-6,5089	93,4911	0,0035	-3,5503	96,4497	0,0036	-6,5089	93,4911
18	0,0047	0,00408	0,0040	1,9608	98,0392	0,0045	-10,2941	89,7059	0,0046	-12,7451	87,2549
19	0,0053	0,0053	0,0051	3,7736	96,2264	0,0053	0,0000	100,0000	0,0055	-3,7736	96,2265
20	0,0068	0,00702	0,0070	0,2849	99,7151	0,0072	-2,5641	97,4359	0,0073	-3,9886	96,0114
21	0,0082	0,00826	0,0084	-1,6949	98,3051	0,0086	-4,1162	95,8838	0,0082	0,7264	99,2736
22	0,01	0,01011	0,0102	-0,8902	99,1098	0,0103	-1,8793	98,1207	0,0100	1,0880	98,9120

23	0,022	0,024	0,0240	0,0000	100,0000	0,0250	-4,1667	95,8333	0,0245	-2,0833	97,9167
24	0,027	0,0256	0,0261	-1,9531	98,0469	0,0265	-3,5156	96,4844	0,0272	-6,2500	93,7550
25	0,1	0,0994	0,1002	-0,8048	99,1952	0,1027	-3,3199	96,6801	0,1036	-4,2254	95,7746
26	0,1	0,0994	0,0858	13,6821	86,3179	0,1056	-6,2374	93,7626	0,0991	0,3018	99,6982
27	0,12	0,1212	0,1220	-0,6601	99,3399	0,1252	-3,3003	96,6997	0,1254	-3,4653	96,5347
28	0,22	0,212	0,2169	-2,3113	97,6887	0,2199	-3,7264	96,2736	0,2263	-6,7453	93,2547
29	1	1,021	1,0912	-6,8756	93,1244	1,0900	-6,7581	93,2419	1,2240	-19,8825	80,1175
30	2,2	2,11	2,1509	-1,9384	98,0616	2,1680	-2,7488	97,2512	2,3620	-11,9431	88,0569
31	3,3	3,2	3,4261	-7,0656	92,9344	3,4510	-7,8438	92,1563	3,7000	-15,6250	84,3750
32	4,7	4,69	4,8838	-4,1322	95,8678	4,8220	-2,8145	97,1855	5,0370	-7,3987	92,6013
33	10	11,14	13,2457	-18,9022	81,0978	13,5110	-21,2837	78,7163	12,6360	-13,4291	86,5709
34	22	21,24	22,9782	-8,1836	91,8164	15,1530	28,6582	71,3418	24,9090	-17,2740	82,7260
35	33	34,9	36,1631	-3,6192	96,3808	36,5530	-4,7364	95,2636	36,3640	-4,1948	95,8052
36	47	48	47,0677	1,9423	98,0577	49,8680	-3,8917	96,1083	49,1820	-2,4625	97,5375
37	100	87,9	89,3496	-1,6491	98,3509	91,5750	-4,1809	95,8191	90,8180	-3,3197	96,6803
38	220	195	NR	-	-	224,3130	-15,0323	84,9677	226,0910	-15,9441	84,0559
39	470	447	NR	-	-	485,6830	-8,6539	91,3461	471,9090	-5,5725	94,4275
40	1000	826	NR	-	-	935,9830	-13,3151	86,6849	874,3640	-5,8552	94,1448
41	2200	2300	NR	-	-	2389,2430	-3,8801	96,1199	NR	-	-
42	4700	4470	NR	-	-	NR	-	-	NR	-	-
			<b>Rata-rata tingkat ketelitian</b>		<b>95,7699</b>	<b>Rata-rata tingkat ketelitian</b>		<b>93,0919</b>	<b>Rata-rata tingkat ketelitian</b>		<b>90,9863</b>

**LAMPIRAN E. FOTO KEGIATAN PENELITIAN**

