

**RANCANG BANGUN ALAT UKUR TINGKAT MANIS BUAH JERUK  
MENGUNAKAN SENSOR KAPASITOR SEMI SILINDER  
BERBASIS ARDUINO**

**Skripsi**

**Oleh**

**Grace Pricilya Michiko**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDARLAMPUNG  
2022**

## ABSTRAK

### RANCANG BANGUN ALAT UKUR TINGKAT MANIS BUAH JERUK MENGUNAKAN SENSOR KAPASITOR SEMI SILINDER BERBASIS ARDUINO

Oleh

Grace Pricilya Michiko

Rancang bangun alat ukur tingkat manis buah jeruk telah direalisasikan menggunakan sensor kapasitor semi silinder berbasis arduino. Penelitian ini dilakukan dengan memberikan masukan pada pelat kapasitor menggunakan osilator dengan variasi nilai frekuensi sebesar 10 kHz, 100 kHz, dan 1 MHz. Osilator yang digunakan adalah tipe IC XR-2206. Tingkat manis buah jeruk diukur menggunakan *pocket refractometer Otago PAL- $\alpha$* . Pengujian sensor kapasitor semi silinder dilakukan pada 16 buah jeruk. Hasil pengukuran pada frekuensi 100 kHz memiliki *range* tegangan yang paling luas dan tinggi dibandingkan frekuensi lainnya. *Range* tegangan pada frekuensi 100 kHz yaitu 200,04 – 2026,37 mV, dengan nilai brix yang diperoleh antara 13,8 – 16,7%. Semakin tinggi tegangan buah jeruk maka semakin rendah nilai brix yang terkandung pada buah jeruk. Nilai brix 13,8 – 15,6% menyatakan tingkat manis buah jeruk yaitu asam, sedangkan nilai brix 16% menyatakan tingkat manis buah jeruk yaitu manis. Hasil pengujian alat diperoleh nilai *error* rata-rata sebesar 0,004% dan nilai akurasi alat sebesar 99,6%.

**Kata kunci:** Jeruk, kapasitor semi silinder, refraktometer.

## **ABSTRACT**

### **DESIGN OF BUILD SWEET LEVEL MEASURING ORANGES USING SEMI CYLINDER CAPACITOR BASED ARDUINO**

**By**

**Grace Pricilya Michiko**

The design of an instrument for measuring the sweetness level of citrus fruits has been realized using an arduino based semi cylindrical capacitor sensor. This study was conducted by providing input to the capacitor plates using an oscillator with a variety of frequency values of 10 kHz, 100 kHz, and 1 MHz. The oscillator used is the IC XR-2206 type. The sweet level of orange fruit is measured using a pocket refractometer Otago PAL- $\alpha$ . Semi cylinder capacitor sensor testing is carried out on 16 oranges. The measurement results at a frequency of 100 kHz have the widest and highest voltage range compared to other frequencies. The voltage range at a frequency of 100 KHz is 200,04 – 2026,37 mV, with a brix value obtained between 13,8 – 16,7%. The higher the orange voltage, the lower the Brix value contained in oranges. Brix value 13,8 – 15,6% states the sweet level of orange fruit is sour, while the Brix value 16% states the sweet level of orange fruit is sweet. The results of testing the instrument obtained an average error value of 0,004% and a tool accuracy value of 99,6%.

**Keyword:** orange, refractometer, semi cylinder capacitor.

**RANCANG BANGUN ALAT UKUR TINGKAT MANIS BUAH JERUK  
MENGUNAKAN SENSOR KAPASITOR SEMI SILINDER  
BERBASIS ARDUINO**

**Oleh**

**Grace Pricilya Michiko**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar  
SARJANA SAINS**

**Pada**

**Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDARLAMPUNG  
2022**

Judul Skripsi : **RANCANG BANGUN ALAT UKUR TINGKAT  
MANIS BUAH JERUK MENGGUNAKAN  
SENSOR KAPASITOR SEMI SILINDER  
BERBASIS ARDUINO**

Nama Mahasiswa : **Grace Pricilya Michiko**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1817041049**

Jurusan : **Fisika**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**MENYETUJUI,**

1. **Komisi Pembimbing**

Pembimbing I

Pembimbing II

**Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.**  
NIP. 197109092000121001

**Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si.**  
NIP. 199011252018032018

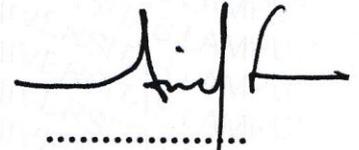
2. **Ketua Jurusan Fisika MIPA**

**Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**  
NIP. 198010102005011002

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

Ketua : **Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.**



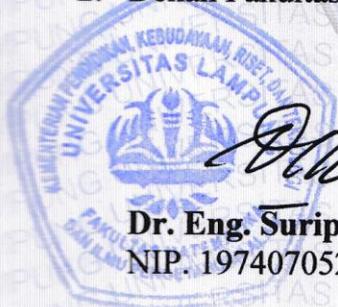
Sekretaris : **Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si.**



Penguji  
Bukan Pembimbing : **Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T.**  
NIP. 197407052000031001

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 29 November 2022**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandarlampung, 12 Desember 2022



**Grace Pricilya Michiko**  
NPM.1817041049

## RIWAYAT HIDUP



Grace Pricilya Michiko lahir di Bandung pada tanggal 23 November 2000. Penulis merupakan anak pertama dari 3 bersaudara dari pasangan Bapak Risal Noska Thyodores dan Ibu Dessy Wulani. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN Mangga Besar 03 Pagi Kota Jakarta tahun 2012, SMPN 2 Kota Cimahi tahun 2015, dan SMAN 1 Kota Cimahi tahun 2018. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN tahun 2018.

Selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung, penulis aktif tergabung Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) sebagai anggota Kesekretariatan dan Rumah Tangga (2018 – 2019). Penulis pernah menjadi asisten praktikum Elektronika Digital.

Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Workshop Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat pernah penulis ikuti dalam program Kuliah Kerja Nyata Universitas Lampung tahun 2021 di Kecamatan Telukbetung Selatan, Kota Bandarlampung. Penulis melaksanakan penelitian untuk menyusun skripsi dengan judul “**Rancang Bangun Alat Ukur**

**Tingkat Manis Buah Jeruk Menggunakan Sensor Kapasitor Semi Silinder Berbasis Arduino**” dibawah bimbingan Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng dan Ibu Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si.

## MOTTO

“Tujuan pendidikan itu untuk mempertajam kecerdasan, memperkuat kemauan serta memperhalus perasaan” – Tan Malaka

“Uang mempengaruhi nada bicara, pengetahuan mempengaruhi gaya bicara dan moral mempengaruhi etika bicara”

“Sebab kamu telah dibeli dan harganya telah lunas dibayar: Karena itu muliakanlah Allah dengan tubuhmu!” – 1 Korintus 6 : 20

“Bertolong-tolonganlah menanggung bebanmu! Demikianlah kamu memenuhi hukum Kristus!” – Galatia 6 : 2

## **PERSEMBAHAN**

**Dengan penuh rasa syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, kupersembahkan  
skripsi ini untuk semua orang yang ku sayangi dan ku cintai**

### **Bapak Risal Noska Thyodores dan Ibu Dessy Wulani**

Kedua orang tuaku yang telah melahirkan, membesarkan, mendidik, serta menjadi penyemangat aku dalam menjalani hidup selama ini

### **Agnes Dwi Nusapertiwi dan Joanita Anggia Teresia**

Adik-adikku tersayang yang telah memberikan semangat dan dukungan kepadaku sehingga membuat aku mampu menyelesaikan pendidikan S1

### **Bapak/Ibu Dosen FISIKA FMIPA UNILA**

Terima kasih telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepadaku

Serta almamater tercinta  
**“Universitas Lampung”**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Rancang Bangun Alat Ukur Tingkat Manis Buah Jeruk Menggunakan Kapasitor Semi Silinder Berbasis Arduino”**. Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat kesalahan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan untuk memperbaiki skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bukan hanya untuk penulis, tapi juga untuk para pembaca.

Bandarlampung, 12 Desember 2022

Penulis

## SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan atas karunia yang telah dilimpahkan oleh Tuhan Yesus Kristus sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Rancang Bangun Alat Ukur Tingkat Manis Buah Jeruk Menggunakan Sensor Kapasitor Semi Silinder Berbasis Arduino”. Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis telah mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan ilmu, bimbingannya dan nasihat dalam penelitian dan penulisan skripsi.
2. Ibu Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan ilmu, waktu, tenaga, motivasi serta arahan dalam penelitian dan penulisan skripsi.
3. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan saran dan koreksi sehingga penulisan skripsi ini dapat menjadi lebih baik.
4. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung yang telah memfasilitasi penulis dalam melakukan penelitian di lingkungan kampus.

5. Seluruh Dosen Jurusan Fisika atas segala ilmu yang telah diberikan selama penulis menjadi mahasiswa di Universitas Lampung.
6. Para staff dan karyawan Jurusan Fisika yang telah membantu memenuhi kebutuhan administrasi penulis.
7. Orang tua Bapak Risal Noska Thyodores dan ibu Dessy Wulani yang selalu memberi semangat dan kasih sayang kepada penulis.
8. Adik-adikku Agnes Dwi Nusapertiwi dan Joanita Anggia Teresia yang selalu memberikan motivasi dan dorongan kepada penulis.
9. Sahabat-sahabatku yang sangat baik hati, Nico Savero, Desy Setianingsih, Faradilla Nabila, Hauzan Khoirullah, Monica Karnailia, Silvi, Nidya Aisyah, Juana, dan Sherina Debora. Terima kasih untuk segala bantuan kalian baik dari segi kehangatan, kebersamaan, dan kesusahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Keluarga Lapet yang selalu menghibur penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Serta berbagai pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian dan skripsi penulis.

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>PERNYATAAN.....</b>	<b>vi</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>vii</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>ix</b>
<b>PERSEMBAHAN.....</b>	<b>x</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>SANWACANA .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xviii</b>
 <b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	5

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Penelitian Sebelumnya .....	6
2.2 Jeruk .....	9
2.3 Jeruk BW (Citrus sp. var. chokun BW) .....	11
2.4 Refraktometer .....	12
2.5 Penyearah Gelombang.....	14
2.6 Osilator .....	16
2.7 Sensor Kapasitor .....	28
2.8 Arduino.....	39

## **III. METODE PENELITIAN**

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	43
3.2 Alat dan Bahan .....	43
3.3 Perancangan Prosedur Penelitian .....	44
3.4 Rancangan Data Hasil Pengukuran .....	51

## **IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1. Sensor Kapasitor Semi Silinder.....	53
4.2. Realisasi Alat.....	53
4.3. Pengukuran Frekuensi Osilator .....	56
4.4. Karakteristik Sensor Kapasitor Semi Silinder.....	58
4.5. Regresi Linear Tegangan Keluaran .....	60
4.6. Pemograman Arduino Uno.....	62
4.7. Pengujian Alat .....	65

## **V. KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran.....	68

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2. 1</b> Jeruk BW (Balittanah, 2022) .....	11
<b>Gambar 2. 2</b> Prinsip kerja refraktometer (Andaru, 2022).....	13
<b>Gambar 2. 3</b> Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan.....	14
<b>Gambar 2. 4</b> Penjelasan rangkaian penyearah gelombang (Zuhal, 2004) .....	15
<b>Gambar 2. 5</b> Osilasi harmonis sederhana sistem bandul matematis.....	17
<b>Gambar 2. 6</b> Osilasi harmonis sederhana sistem pegas-massa.....	17
<b>Gambar 2. 7</b> Umpan balik positif (Flore, 2021) .....	19
<b>Gambar 2. 8</b> Rangkaian osilator dasar.....	20
<b>Gambar 2. 9</b> Rangkaian osilator <i>Wien-Bridge</i> (gelombang sinus).....	20
<b>Gambar 2. 10</b> Rangkaian UJT pada osilator (Petruzella, 1996) .....	22
<b>Gambar 2. 11</b> Gelombang sinus .....	23
<b>Gambar 2. 12</b> Rangkaian pembentuk gelombang segitiga ke sinus .....	24
<b>Gambar 2. 13</b> Gelombang kotak.....	24
<b>Gambar 2. 14</b> Gelombang gigi gergaji .....	25
<b>Gambar 2. 15</b> Rangkaian generator gelombang gigi gergaji (Coughlin, 2001) ..	25
<b>Gambar 2. 16</b> Keluaran gelombang gigi gergaji (Coughlin, 2001).....	26
<b>Gambar 2. 17</b> Blok diagram XR-2206 (Budiarso, 2014) .....	27
<b>Gambar 2. 18</b> (a) Kapasitor terdiri dari dua pelat bermuatan berlawanan .....	29
<b>Gambar 2. 19</b> Kapasitor berbagai jenis (Ling, 2016) .....	30

<b>Gambar 2. 20</b> (a) Kapasitor saat terisi penuh memiliki $V_0$ dan $Q_0$ .....	31
<b>Gambar 2. 21</b> Kapasitor pelat sejajar.....	33
<b>Gambar 2. 22</b> Sensor kapasitor semi silinder (a) tanpa dielektrik (b) dengan.....	36
<b>Gambar 2. 23</b> Distribusi medan listrik bagian dalam sensor kapasitor .....	36
<b>Gambar 2. 24</b> Tampak atas sensor kapasitor tanpa bahan dielektrik.....	37
<b>Gambar 2. 25</b> Bagian-bagian pada arduino .....	40
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram alir penelitian .....	44
<b>Gambar 3. 2</b> Diagram blok perancangan alat .....	45
<b>Gambar 3. 3</b> Perancangan box mekanik .....	46
<b>Gambar 3. 4</b> Perancangan alat (a) tampak depan (b) tampak belakang .....	46
<b>Gambar 3. 5</b> Rangkaian penyusun alat .....	47
<b>Gambar 3. 6</b> Rangkaian pengukur tegangan.....	48
<b>Gambar 3. 7</b> Grafik hubungan tegangan terhadap kadar gula pada buah jeruk... 52	
<b>Gambar 4. 1</b> Sensor kapasitor semi silinder (a) tampak atas.....	53
<b>Gambar 4. 2</b> Rangkaian keseluruhan alat yang terdiri dari catu daya .....	54
<b>Gambar 4. 3</b> Alat ukur tingkat manis buah jeruk (a) tampak samping.....	55
<b>Gambar 4. 4</b> Pocket refractometer Otago PAL- $\alpha$ .....	56
<b>Gambar 4. 5</b> Pengukuran frekuensi osilator 10 kHz.....	57
<b>Gambar 4. 6</b> Grafik hubungan tegangan keluaran terhadap kadar gula .....	59
<b>Gambar 4. 7</b> Grafik regresi linear tegangan keluaran 100 kHz .....	61
<b>Gambar 4. 8</b> Grafik Pengujian Alat .....	66

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2. 1</b> Perbandingan nilai brix pada buah-buahan .....	12
<b>Tabel 2. 2</b> Keterangan pin XR-2206.....	27
<b>Tabel 2. 3</b> Penjelasan bagian-bagian pada arduino .....	40
<b>Tabel 3. 1</b> Rancangan data pengukuran kapasitor semi silinder .....	51
<b>Tabel 4. 1</b> Tegangan keluaran kapasitor semi silinder terhadap kadar gula buah jeruk pada tiga frekuensi osilator berbeda.....	58
<b>Tabel 4. 2</b> Data pengujian alat.....	65

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Jeruk merupakan salah satu produk hortikultura yang penting di Indonesia dan produksinya terus meningkat setiap tahunnya. Sebagai salah satu komoditas buah-buahan, jeruk menjadi andalan di sektor pertanian dengan volume perdagangan dunia yang cukup besar. Jeruk mempunyai konsumen tersendiri yang bisa memberikan kontribusi terhadap perekonomian baik di daerah maupun nasional (Ardianto, 2020). Tanaman jeruk tumbuh baik di daerah tropis maupun subtropis. Jeruk dapat beradaptasi dengan baik di daerah tropis pada ketinggian 900 – 1.200 meter di atas permukaan laut (mdpl) dengan udara yang lembab, serta memiliki persyaratan air tertentu (Simbolon, 2010).

Lampung merupakan daerah sentra penghasil jeruk (*Citrus sp. var. chokun BW*). Jeruk BW terkenal dengan rasa buah yang menyegarkan dengan kombinasi rasa manis dan asamnya yang pas. Pada tahun 2018 Lampung menghasilkan 19.737 ton jeruk BW dengan luas 427 hektar dengan produktivitas 46,25 ton. Terdapat empat cara untuk menentukan kemasakan buah jeruk, yaitu secara fisik melalui penglihatan atau dipegang, perhitungan (buah jeruk akan masak 8 bulan setelah masa pembungaan), analisis pengukuran tingkat manis dengan menggunakan nilai brixmeter dan kadar sari buah (nilai brix yang baik saat buah jeruk masak

adalah 9 – 10). Kadar serat buah jeruk 30% - 35% dari total bobot buah jeruk saat panen. Untuk keperluan pasar biasanya dilakukan pemilahan ukuran yaitu buah besar, sedang, dan kecil (Balittanah, 2022).

Setiap buah memiliki ciri kematangan yang berbeda-beda. Kematangan buah secara umum dapat dilihat dari ukuran, aroma, warna, dan kekerasan. Pada buah jeruk, banyaknya jenis jeruk berdampak pada keberagaman cara menentukan kematangan. Hal itulah yang menjadi permasalahan bagi masyarakat. Konsumen sering kali tertipu ketika membeli jeruk, karena warna kulit pada buah jeruk tidak dapat menentukan tingkat manis dari jeruk tersebut. Oleh sebab itu dibutuhkan alat untuk membantu masyarakat dalam menentukan jeruk dengan rasa yang manis.

Selama ini untuk mengukur tingkat manis buah dilakukan dengan mengukur kandungan padatan terlarut (KPT) yang bersifat merusak produk. Semakin tinggi nilai KPT maka semakin tinggi kandungan gula dan rasanya semakin manis. Untuk keperluan pasar ekspor, penilaian konvensional menggunakan refraktometer tidak dapat diandalkan lagi. Selain merusak produk, pengukuran tersebut membutuhkan waktu lama, pekerja yang banyak dan menghasilkan limbah. Disinilah urgensinya menentukan KPT buah jeruk secara tidak merusak (Suhandy, 2010).

Di Indonesia sudah terdapat beberapa penelitian mengukur kematangan atau kemanisan buah jeruk. Salah satunya mengukur tingkat manis buah jeruk dengan metode *NIR spectroscopy* (Suhandy, 2010). *NIR spectroscopy* memiliki keunggulan pengukuran yang sangat cepat (25 detik per sampel), akan tetapi

terjadi kendala dalam penentuan model kalibrasi yang menyebabkan kurang akuratnya parameter KPT prediksi *NIR spectroscopy*. Perlu dilakukan pengukuran tingkat manis dengan metode lain guna melihat keakuratan hasil. Kurniawan (2015) menganalisa buah jeruk manis menggunakan pengolahan citra digital dengan metode deteksi tepi *Laplacian of Gaussian (LoG)*. Dalam metode ini hanya membutuhkan 0,61 detik untuk mengetahui apakah jeruk itu matang atau tidak. Namun pada kenyataannya jeruk yang warnanya kuning belum tentu memiliki rasa manis. Hal tersebut membuat metode pengolahan citra digital kurang akurat. Sementara Naisa (2019) mengukur kadar gula pada buah jeruk Medan menggunakan kapasitor semi silinder. Sensor melingkari seluruh bagian buah dengan harapan mampu melakukan pengukuran diseluruh sisi sehingga hasilnya lebih akurat. Hasil penelitian tersebut belum optimal karena pengukuran dilakukan secara manual menggunakan multimeter untuk mengetahui keluaran tegangan, oleh sebab itu penelitian yang telah dirancang tersebut perlu adanya pengembangan.

Penelitian ini diusulkan untuk memperbaiki alat ukur tingkat manis buah jeruk yang telah dilakukan sebelumnya (Naisa, 2019). Inovasi yang dilakukan adalah mengaplikasikan sensor kapasitor semi silinder sebagai detektor sampel buah jeruk seperti yang dilakukan oleh Naisa (2019) namun dengan perbaikan dalam rangkaian pengkondisi sinyal sehingga diperoleh sensitivitas lebih besar. Selain itu juga mendigitalisasi alat yang sebelumnya masih menggunakan multimeter analog. Dalam metode ini, jeruk diletakkan di dalam sensor sebagai bahan dielektrik kapasitor. Tingkat manis buah jeruk diasumsikan sebagai variabel sifat dielektrik bahan. Dengan menggunakan rangkaian jembatan AC

sebagai pengkondisi sinyal sensor maka sinyal tegangan keluaran yang dihasilkan akan berbanding lurus dengan tingkat manis buah jeruk. Prinsip fisika inilah yang mendasari cara kerja instrumen pengukur tingkat manis buah jeruk menggunakan sensor kapasitor semi silinder. Arduino Uno akan disematkan pada alat ini sebagai prosesor untuk memproses sinyal tegangan sensor menjadi data digital yang akan ditampilkan pada layar LCD.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana desain kapasitor semi silinder sebagai sensor tingkat manis buah jeruk?
2. Bagaimana hubungan antara tegangan keluaran rangkaian pengkondisi sinyal kapasitor dengan nilai brix pada refraktometer?
3. Bagaimana alat ukur tingkat manis buah jeruk dirancang menggunakan arduino sebagai prosesor alat?

## **1.3 Tujuan penelitian**

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Membuat kapasitor semi silinder sebagai sensor tingkat manis buah jeruk.
2. Membuat hubungan antara tingkat manis buah jeruk dengan tegangan keluaran sensor kapasitor dari rangkaian pengkondisi sinyal.
3. Membuat alat ukur tingkat manis buah jeruk tanpa merusak buah menggunakan sensor kapasitor semi silinder berbasis arduino.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tersedianya alat ukur tingkat manis buah jeruk tanpa merusak buah bagi petani buah atau pedagang buah.
2. Mempermudah pedagang dalam menyortir buah jeruk yang akan dijual sesuai kadar kemanisannya.
3. Memberikan kepuasan pelanggan bagi pedagang buah yang menggunakan alat hasil penelitian.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Buah jeruk yang digunakan adalah jeruk BW.
2. Sensor yang digunakan adalah kapasitor semi silinder.
3. Sistem pengukuran pada alat ini menggunakan arduino uno.
4. Generator sinyal yang digunakan yaitu osilator dengan tipe IC XR2206.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Suhandy (2010) mengukur tingkat manis buah jeruk dengan metode *NIR spectroscopy*. *NIR spectroscopy* memiliki keunggulan pengukuran yang sangat cepat (25 detik per sampel). Hasil antara parameter aktual KPT yang diukur oleh refraktometer dengan parameter KPT prediksi yang dihitung menggunakan *NIR spectroscopy* tidak berbeda secara nyata, dengan model kalibrasi terbaik memiliki  $R^2 = 0,92$  dengan *standard error of calibration* (SEC) = 0,36 dan *standard error of prediction* (SEP) = 0,64. Model ini memiliki *ratio prediction to deviation* (RPD) = 2,03 dan bias = 0,14. Akan tetapi terjadi kendala dalam penentuan model kalibrasi yang menyebabkan kurang akuratnya penentuan KPT yang menggunakan *NIR spectroscopy*.

Pengukuran kandungan padatan terlarut buah jeruk dan jeruk bali menggunakan *visible-near infrared* (Vis-NIR) dilakukan oleh Ruslan (2012). Jenis jeruk yang digunakan adalah jeruk *Hamlin*, dan *Valencia*, serta jeruk bali yang digunakan adalah *Thompson Red*. Spektrum Vis-NIR diperoleh menggunakan spektrometri portabel dengan rentang panjang gelombang 350 hingga 2.500 nm dalam mode transmisi. Model kalibrasi kandungan padatan terlarut (KPT)

yang terbaik pada penelitian ini diperoleh jeruk *Valencia* dengan  $R^2 = 0,91$  dan  $0,47^\circ\text{Brix}$ . Dengan menggunakan spektrometri Vis-NIR, petani dapat memahami kandungan padatan terlarut buah sebelum masa panen, sehingga mempermudah menentukan tanggal panen.

Penelitian lainnya mengenai analisa buah jeruk manis menggunakan pengolahan citra digital dengan metode deteksi tepi *Laplacian of Gaussian* (LoG) dilakukan oleh Kurniawan (2015). Dalam metode ini hanya membutuhkan 0,61 detik untuk mengetahui apakah jeruk tersebut matang atau tidak. Hasil dari penelitian ini yaitu sistem *sorting* buah jeruk manis dengan menggunakan metode deteksi tepi *Laplacian of Gaussian* (LoG) dapat diterapkan pada *plant* sesungguhnya. Perbedaan perangkat yang digunakan sangat mempengaruhi dari hasil proses *sorting* baik itu komputer maupun kamera yang digunakan, dan cahaya dari lingkungan sekitar sangat mempengaruhi hasil *image processing*.

Redzwan *et al* (2018) menganalisa kualitas buah non-invasif menggunakan sensor *split ring resonator* dan menghubungkan hasil variasi dielektrik pada buah akibat penuaan. Sensor *microwave split ring resonator* (SRR) digunakan untuk membedakan antara jeruk bali (*Citrus Paradisi*) segar dan tua pada frekuensi 1 – 10 GHz selama 1 hari hingga 2 minggu titik waktu pengukuran. Teknik ini cocok untuk pemeriksaan kematangan buah yang cepat dan berkualitas.

Pengukuran estimasi kematangan jeruk menggunakan spektroskopi fluoresensi dilakukan oleh Itakura *et al* (2019). Setiap kulit jeruk diekstraksi, dan nilai fluoresensinya diukur. Spektrum fluoresen dianalisis menggunakan *convolutional*

*neutral network* (CNN) untuk memperkirakan rasio Brix/asam jus dari daging secara akurat. Dari hasil penelitian semakin tinggi rentang panjang gelombang maka kesalahan estimasi absolut rasio Brix/asam semakin kecil. Jumlah asam amino menjadi indikator yang baik dari kematangan jeruk (Itakura, 2019).

Naisa (2019) mengukur kadar gula pada buah jeruk menggunakan kapasitor semi silinder. Sensor melingkari seluruh bagian buah dengan harapan mampu melakukan pengukuran diseluruh sisi sehingga hasilnya lebih akurat. Kapasitor semi silinder mampu mengukur tegangan keluaran yang dihasilkan dari buah jeruk sebagai bahan dielektrik dengan variasi frekuensi 1 kHz, 10 kHz dan 100 kHz. Hasil pengukuran tegangan keluaran yang diperoleh memiliki korelasi dengan hasil pengukuran tingkat manis buah jeruk yang dilakukan menggunakan *pocket refractometer*.

Huang *et al* (2020) mengusulkan alat pengukur air gula menggunakan mikrokomputer chip tunggal STM32 sebagai prosesor. Perubahan kapasitansi yang disebabkan oleh perubahan konsentrasi air gula diubah menjadi bilangan biner 28 bit, yang ditransmisikan ke STM32 melalui antarmuka IIC (*Inter Integrated Circuit*). Sistem menampilkan informasi melalui LCD TFT 1,44 inci. Nilai ambang alarm diatur dengan menekan tombol. Ketika kadar gula melebihi standar, alarm akan berbunyi. Desain pada penelitian ini memiliki karakteristik akurasi deteksi yang tinggi dan biaya rendah, serta praktis. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi konsentrasi air gula, maka nilai kapasitansi secara bertahap menurun (Huang, 2020).

## 2.2 Jeruk

Tanaman jeruk adalah tanaman buah tahunan yang berasal dari Asia. Tiongkok dipercaya sebagai tempat pertama kali tumbuh. Sejak ratusan tahun yang lalu, jeruk sudah tumbuh di Indonesia baik secara alami atau dibudidayakan. Tanaman jeruk yang ada di Indonesia merupakan peninggalan orang Belanda yang mendatangkan jeruk manis dan keprok dari Amerika dan Italia (Setiawan, 2019).

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil jeruk di dunia. Pengembangan jeruk menyebar dari dataran rendah sampai dataran tinggi. Sentra penanamannya tersebar hampir ke seluruh pelosok negeri, mulai dari Garut (Jawa Barat), Tawangmangu (Jawa Tengah), Batu (Jawa Timur), Tejakula (Bali), Selayar (Sulawesi Selatan), Pontianak (Kalimantan Barat), dan Medan (Sumatera Utara). Secara umum, jeruk dibagi menjadi 4 golongan utama, yaitu:

1. Jeruk Manis (*citrus sinensis osbeck*)

Jeruk manis saat ini menjadi salah satu pilihan pertama untuk dikonsumsi karena manis sehingga tidak mengherankan apabila jeruk ini paling banyak ditanam saat ini.

2. Jeruk Mandarin (*citrus nobilis*)

Pohon jeruk mandarin umumnya lebih kecil dan banyak cabangnya. Buahnya dapat dikonsumsi langsung karena kulit buah jeruk ini tipis dan daging buahnya tebal. Tekstur buahnya lembut dan lunak, banyak mengandung air dan rasanya manis dan bijinya sedikit.

### 3. Jeruk Besar (*citrus maximus*)

Ukuran garis tengah buah jeruk besar mencapai 20 cm. Yang termasuk ke dalam jenis ini adalah jeruk bali, jeruk silumpang, jeruk nambangan, jeruk delima, dan jeruk sinamalagi.

### 4. Jeruk sitrun (*citrus medica*)

Jeruk sitrun merupakan tanaman perdu yang mempunyai banyak dahan dan ranting. Buah yang dihasilkannya bermacam-macam, ada yang besar dan adapula yang kecil (Dyah, 2007).

Buah jeruk sangat digemari masyarakat Indonesia karena kandungan nutrisi buah jeruk yang baik bagi kesehatan, terutama kandungan vitamin C yang dimiliki. Menyediakan produk dengan mutu yang sesuai dengan permintaan pasar merupakan dasar untuk mengembangkan industri hortikultura terutama buah-buahan. Kesegaran, warna, aroma, dan rasa dari buah merupakan parameter yang dijadikan para konsumen dalam menentukan pilihan (Dewi, 2020).

Buah jeruk termasuk buah yang mudah mengalami kerusakan dan termasuk buah nonklimaterik. Buah nonklimaterik setelah dipanen tetap melakukan metabolisme meliputi respirasi dan transpirasi. Aktivitas ini mengakibatkan kehilangan substrat dan air pada buah sehingga bobot buah menurun. Kehilangan air tidak saja berpengaruh langsung terhadap kehilangan kualitatif, tetapi juga menyebabkan kerusakan tekstur, kandungan gizi dan kerusakan lainnya (pengerutan) (Kader, 2006). Aktivitas respirasi dapat menurunkan kandungan vitamin C pada buah karena asam askorbat sangat peka terhadap oksidasi. Selain itu, aktivitas respirasi juga mengakibatkan padatan terlarut pada buah semakin besar akibat akumulasi gula hasil metabolisme pati (Hidayat, 2018).

### 2.3 Jeruk BW (*Citrus sp. var. chokun BW*)

Lampung terkenal dengan produksi buah jeruk. Jeruk tersebut adalah jeruk keprok BW yang memiliki rasa manis dan asam. Pada tahun 2018 Lampung menghasilkan jeruk BW dengan luas 427 hektar, produktivitas 46,25 ton/hektar serta produksi sebesar 19737 ton. Peningkatan luas panen dan produksi jeruk ini tidak lepas dari keinginan petani dan dukungan pemerintah daerah untuk meningkatkan pendapatan petani. Jenis jeruk yang cukup terkenal di Lampung adalah jeruk BW termasuk dalam kelompok jeruk Terigas.

Jeruk keprok BW Lampung mempunyai kendala yaitu persentase pecah buah sampai 60%, sehingga panennya hanya 40% saja. Pecah buah pada jeruk Trigas/BW adalah faktor genetik, pecah buah bisa disebabkan oleh fluktuasi suhu dan kelembaban tanah yang tinggi, buah terlalu lebat, dan ratio nutrisi hara yang tidak tepat. Disamping permasalahan tersebut jeruk keprok BW hanya perlu didukung 10 daun aktif, sedangkan jeruk lainnya membutuhkan 30 daun jeruk aktif. Jeruk BW dapat berbunga setiap saat bila kondisi air mencukupi. Harga jual jeruk BW relatif lebih tinggi dibandingkan jenis jeruk lainnya (Balittanah, 2022). Jeruk BW ditunjukkan pada **Gambar 2.1**.



**Gambar 2. 1** Jeruk BW (Balittanah, 2022)

## 2.4 Refraktometer

Refraktormeter merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kadar gula dan kadar air, nilai ini dapat dikonversi menjadi nilai indeks bias pada suatu cairan dengan satuan yang digunakan adalah Brix (Novestiana, 2015). Brix merupakan derajat satuan untuk menggambarkan jumlah atau kadar kandungan gula (zat padat) yang terlarut dalam larutan air. Zat padat termasuk gula (sukrosa, glukosa, dan fruktosa), pektin, asam organik, dan asam amino, seluruhnya berkontribusi pada nilai Brix. Brix disimbolkan dengan °Bx atau °Brix. Umumnya brix digunakan untuk menghitung persentase gula dalam buah dan sayur serta persentase gula dalam produk pangan. Kandungan gula tentu saja mempengaruhi rasa manis yang biasanya menjadi komponen penting dalam penilaian konsumen terhadap kualitas produk. Satu derajat Brix setara dengan 1 gram sukrosa dalam 100 gram larutan, namun jika larutan mengandung padatan terlarut selain sukrosa maka derajat Brix hanya dapat diperkirakan mendekati kandungan padatan terlarut lainnya (Warasi, 2022). Perbandingan nilai brix pada buah-buahan dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

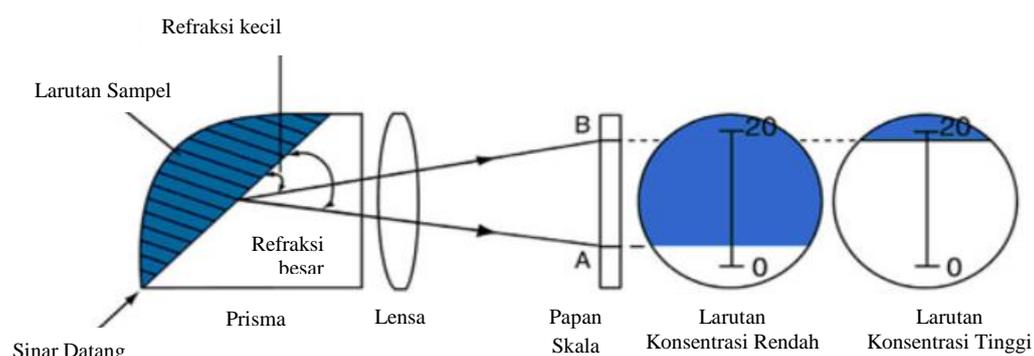
**Tabel 2. 1** Perbandingan nilai brix pada buah-buahan

Buah	Rendah (°Brix)	Sedang (°Brix)	Baik (°Brix)	Sangat Baik (°Brix)
Apel	6	10	14	18
Alpukat	4	6	8	10
Pisang	8	10	12	14
Blewah	8	12	14	16
Ceri	6	8	14	16
Kelapa	8	10	12	14
Anggur	8	12	16	20
Jeruk Bali	6	10	14	18
Lemon	4	6	8	12
Jeruk Nipis	4	6	10	12

Buah	Rendah (°Brix)	Sedang (°Brix)	Baik (°Brix)	Sangat Baik (°Brix)
Mangga	4	6	10	14
Jeruk	6	10	16	20
Pepaya	6	10	18	22
Persik	6	10	14	18
Pir	6	10	12	14
Nanas	12	14	20	22
Kismis	60	70	75	80
Rasberi	6	10	14	16
Stroberi	6	10	14	16
Tomat	4	6	8	12
Semangka	8	12	14	16

(USA, 1969)

Fisika merupakan disiplin ilmu yang kompleks dan konsep-konsepnya banyak diterapkan sebagai dasar berbagai bidang ilmu. Salah satu konsep yang diterapkan dalam bidang ilmu lain adalah indeks bias. Refraktometer adalah alat yang digunakan untuk menetapkan padatan terlarut berdasarkan nilai indeks bias (Hardani, 2022). Prinsip kerja refraktometer ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.



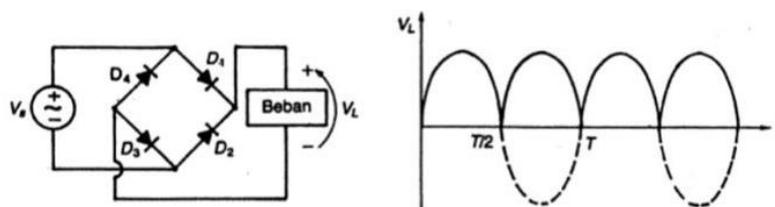
**Gambar 2. 2** Prinsip kerja refraktometer (Andaru, 2022)

Refraktometer menggunakan prisma yang memiliki indeks bias jauh lebih besar daripada larutan sampel yang akan diukur. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan fenomena bias yang muncul pada antarmuka prisma dan larutan sampel. Ketika seberkas cahaya tampak melewati antarmuka antara dua zat yang

berbeda, fenomena pembiasan dapat terjadi. Pada kondisi refraksi ekstrim (pemantulan total), cahaya tidak akan masuk ke antarmuka kedua zat tersebut, tetapi akan di pantulkan seolah-olah bertemu cermin. Adanya sudut sebagai tempat datangnya cahaya ketika fenomena ini terjadi disebut sebagai “sudut kritis”. Besarnya sudut kritis sangat ditentukan oleh indeks bias kedua zatnya. Jika indeks bias suatu zat diketahui, ditambah besar sudut kritisnya, maka indeks bias zat lain dapat ditentukan. Indeks bias adalah sifat fisik yang melekat pada setiap zat. Analisis cairan didasarkan pada analisis konsentrasi zat terlarut (Andaru, 2022). Semakin tinggi kadar gula pada cairan maka indeks biasnya akan semakin tinggi, sehingga refraktometer akan menunjukkan skala yang semakin besar (Misto, 2016).

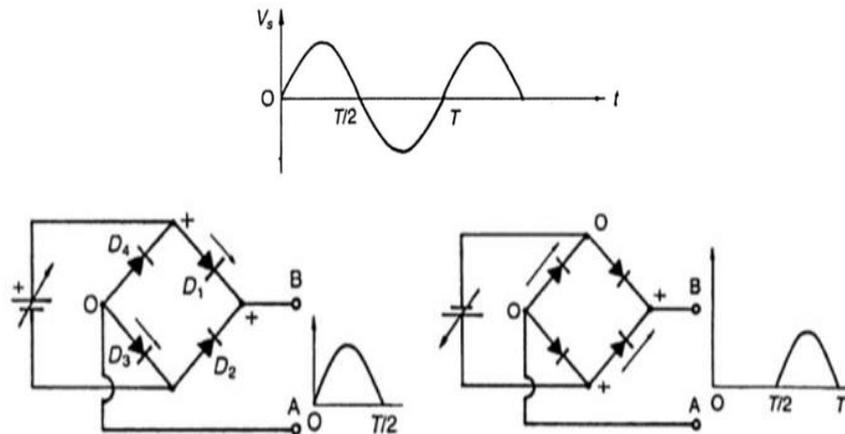
## 2.5 Penyearah Gelombang

Rangkaian penyearah adalah suatu rangkaian yang mengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC). Terdapat beberapa jenis rangkaian penyearah. Masing-masing jenis memberikan hasil yang berbeda-beda terhadap bentuk tegangan DC yang dihasilkan. Perbandingan antara keluaran tegangan DC terhadap tegangan AC yang ikut serta pada hasil output dinamakan faktor *ripple* (riak). Rangkaian penyearah gelombang penuh menggunakan jembatan (*bridge*) dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.



**Gambar 2. 3** Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan jembatan (*bridge*) (Zuhal, 2004)

Bentuk gelombang yang terjadi pada output dapat dilihat pada **Gambar 2.3**. Terbentuknya tegangan dari penyearah gelombang penuh dengan menggunakan rangkaian jembatan dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.



**Gambar 2. 4** Penjelasan rangkaian penyearah gelombang (Zuhal, 2004)

Pada **Gambar 2.4** setengah siklus positif ( $0-T/2$ ) dioda  $D_1$  dan  $D_3$  konduksi on dan menghasilkan gelombang output setengah siklus. Selanjutnya untuk setengah siklus negatif ( $T/2$  dan  $T$ ), maka dioda  $D_2$  dan  $D_4$  konduksi dan menghasilkan gelombang. Gelombang yang terjadi adalah positif, sebab titik A adalah nol, dan titik B adalah positif. Pada penyearah gelombang penuh, faktor *ripple* lebih kecil daripada faktor-faktor pada penyearah setengah gelombang dimana faktor *ripple* untuk penyearah gelombang penuh adalah 48,4% (Zuhal, 2004). Faktor *ripple* menunjukkan efektif tidaknya sebuah filter. Didefinisikan sebagai perbandingan tegangan *ripple* efektif (rms) terhadap tegangan DC ( $V_{DC}$ ). Faktor *ripple* dapat diperkecil dengan menambah nilai kapasitor atau dengan mengubah konfigurasi rangkaian filter. Nilai *ripple factor* (RF) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$RF = \frac{V_{rms}}{V_{DC}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.1)$$

Untuk mencari nilai dari tegangan  $V_{rms}$  dapat menggunakan persamaan berikut ini:

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \dots \dots \dots (2.2)$$

Pada penyearah gelombang penuh diperlukan dua buah dioda. Tegangan output yang dihasilkan adalah gabungan penjumlahan setengah fasa positif sehingga rata-rata tegangan keluaran DC yang mengalir pada resistor beban adalah dua kali lipat dari rangkaian penyearah tunggal. Sehingga diperoleh persamaan tegangan keluaran DC:

$$V_{DC} = \frac{(2 \times V_{max})}{\pi} = 0,637 \times V_{max} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

$V_{rms}$  = Tegangan *ripple* efektif (V);

$V_{DC}$  = Tegangan keluaran DC (V);

$V_m$  = Tegangan maksimum (V).

(Young, 2003)

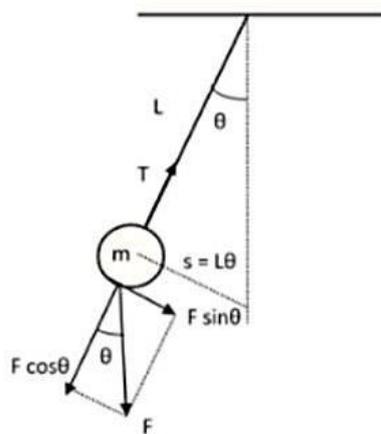
Semakin kecil nilai *ripple factor* (RF) maka akan semakin baik tegangan DC yang dihasilkan. Jika nilai RF terlalu besar, maka tegangan DC yang dihasilkan akan semakin buruk karena memiliki efisiensi yang rendah (Pindra, 2020).

## 2.6 Osilator

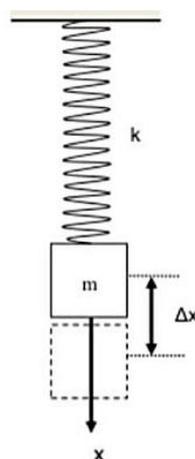
### 2.6.1 Definisi Osilator

Osilasi merupakan gerakan bolak-balik sebuah benda pada lintasan yang sama dan selang waktu tertentu. Contoh dari penerapan konsep osilasi dalam dunia fisika adalah gerak harmonik sederhana menggunakan pegas (Jati, 2010).

Gerak osilasi merupakan gerak periodik suatu benda atau sistem mekanik melalui suatu titik kesetimbangan. Sistem mekanik dapat bergerak secara periodik yang diakibatkan oleh bekerjanya gaya pemulih pada sistem tersebut. Gaya pemulih yang bekerja adalah sebanding terhadap kedudukan relatif massa sistem terhadap titik kesetimbangan dan selalu berarah menuju titik kesetimbangan tersebut. Gerak ini disebut sebagai gerak osilasi harmonis sederhana. Secara umum sistem mekanik dapat digambarkan oleh sistem bandul matematis dan sistem pegas-massa seperti pada gambar berikut ini.



**Gambar 2. 5** Osilasi harmonis sederhana sistem bandul matematis



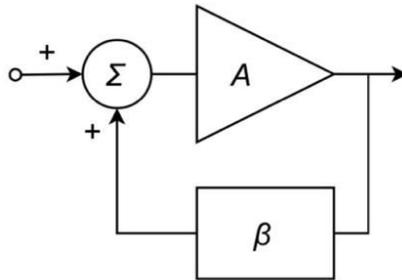
**Gambar 2. 6** Osilasi harmonis sederhana sistem pegas-massa (Priyambodo, 2009)

Osilator merupakan penguat sinyal dengan umpan balik positif dimana rangkaian resonansi sebagai penentu frekuensi osilator. Osilator dapat menghasilkan sinyal output tanpa adanya sebuah sinyal input yang diberikan. Keluaran osilator dapat berupa bentuk sinusoida, persegi, dan segitiga. Osilator berbeda dengan penguat. Penguat memerlukan syarat masukan untuk menghasilkan syarat keluaran, sedangkan osilator tidak ada syarat masukan melainkan hanya syarat keluaran saja (Cahyono, 2017).

Osilator dapat menghasilkan frekuensi yang sangat rendah (sebagian kecil dari siklus per detik) hingga frekuensi yang sangat tinggi (*microwave*,  $> 1$  GHz). Osilator menggunakan Op-Amp umumnya di bawah 1 MHz. Osilator dapat dibagi menjadi dua kategori besar, yaitu frekuensi tetap atau variabel. Untuk osilator tetap akurasi mutlak dan bebas dari penyimpanan merupakan hal yang sangat penting. Untuk osilator variabel, kemudahan penyetelan dan pengulangan merupakan hal yang penting. Osilator variabel juga mungkin tidak dikontrol langsung oleh tangan manusia, melainkan osilator dapat disetel oleh sirkuit lain (Flore, 2021).

Sebuah rangkaian osilator sederhana terdiri dari dua bagian utama, yaitu penguat (*amplifier*) dan umpan balik (*feedback*). Sebagian sinyal keluaran dikirim kembali ke input dan dijumlahkan di luar fase dengan sinyal input. Perbedaan antara kedua sinyal itu yang akan diperkuat. Hasilnya adalah kestabilan pada respon rangkaian karena gain loop terbuka yang besar secara efektif memaksa perbedaan sinyal menjadi sangat kecil. Sesuatu yang sangat berbeda terjadi jika sinyal umpan balik

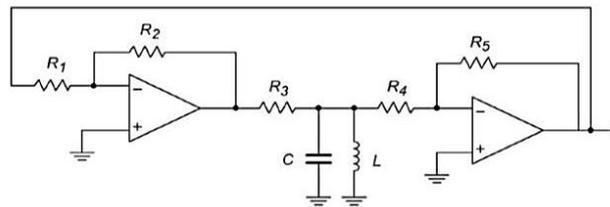
dijumlahkan dalam fase dengan sinyal input, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.7**.



**Gambar 2.7** Umpan balik positif (Flore, 2021)

Osilator menggunakan input dari catu daya (*power supply*) untuk dikonversi menjadi arus bolak-balik (AC). Sinyal DC dari *power supply* yang terlihat lurus, sebenarnya memiliki amplitudo yang sangat amat kecil. Bagian penguat (*amplifier*) pada osilator akan menguatkan sinyal yang berasal dari catu daya sehingga amplitudo dari gelombang tampak lebih jelas (Sitohang, 2018). Sinyal gabungan terlihat seperti sinyal keluaran. Selama gain loop terbuka *amplifier* lebih besar dari faktor umpan balik, sinyal dapat dibuat ulang secara konstan. Ini berarti bahwa sumber sinyal dapat dihapus. Akibatnya, output dari rangkaian digunakan untuk membuat inputnya sendiri. Selama daya dipertahankan ke sirkuit, sinyal keluaran akan terus berlanjut hampir selamanya. Keadaan yang mengabadikan diri disebut osilasi. Osilasi akan berhenti jika produk gain loop terbuka dan faktor umpan balik jatuh di bawah satu atau jika umpan balik tidak dikembalikan dengan sempurna ( $0^\circ$  atau berkelipatan bilangan bulat  $360^\circ$ ). Kombinasi faktor ini disebut kriteria osilasi berkhausen (Flore, 2021).

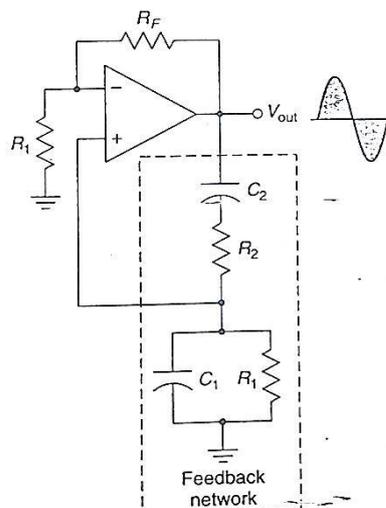
Osilasi dapat dipertahankan dengan gain loop tertutup dari rangkaian osilator harus lebih besar dari 1, dan fase loop harus berkelipatan  $360^\circ$ . Rangkaian osilator dasar ditunjukkan pada **Gambar 2.8**.



**Gambar 2. 8** Rangkaian osilator dasar

Untuk memberikan penguatan pada **Gambar 2.8**, digunakan sepasang penguat pembalik. Karena setiap tahap menghasilkan pergeseran  $180^\circ$ , maka pergeseran untuk pasangan adalah  $360^\circ$ . Rangkaian osilator dasar terdiri dari R3, L, dan C. Karena kombinasi LC menghasilkan puncak impedansi pada frekuensi resonansi, maka kerugian minimum akan terjadi di sana (Flore, 2021).

Osilator dapat dikonstruksi menggunakan rangkaian *Wien-Bridge*. Rangkaian Osilator *Wien-Bridge* ditunjukkan pada **Gambar 2.9**.



**Gambar 2. 9** Rangkaian osilator *Wien-Bridge* (gelombang sinus)  
(Petruzella, 1996)

Penggunaan Osilator *Wien-Bridge* menggunakan dua jaringan RC yang terhubung bersama untuk menghasilkan osilator sinusoidal. Jaringan RC terdiri dari serangkaian rangkaian RC seri yang terhubung dengan rangkaian RC paralel membentuk *High Pass Filter* terhubung ke *Low Pass Filter*. Pada frekuensi rendah, reaktansi kapasitor seri ( $C_1$ ) sangat tinggi sehingga bekerja sedikit seperti rangkaian terbuka, menghalangi setiap sinyal input di  $V_{in}$  sehingga hampir tidak ada sinyal output ( $V_{out}$ ). Demikian juga pada frekuensi tinggi, reaktansi kapasitor paralel ( $C_2$ ) menjadi sangat rendah, sehingga kapasitor yang terhubung paralel bekerja sedikit maka tidak ada sinyal output. Sehingga perlu adanya titik frekuensi antara  $C_1$  dan  $C_2$ . Maka persamaan frekuensi keluaran adalah

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1C_1R_2C_2}} \dots\dots\dots (2.4)$$

keterangan :

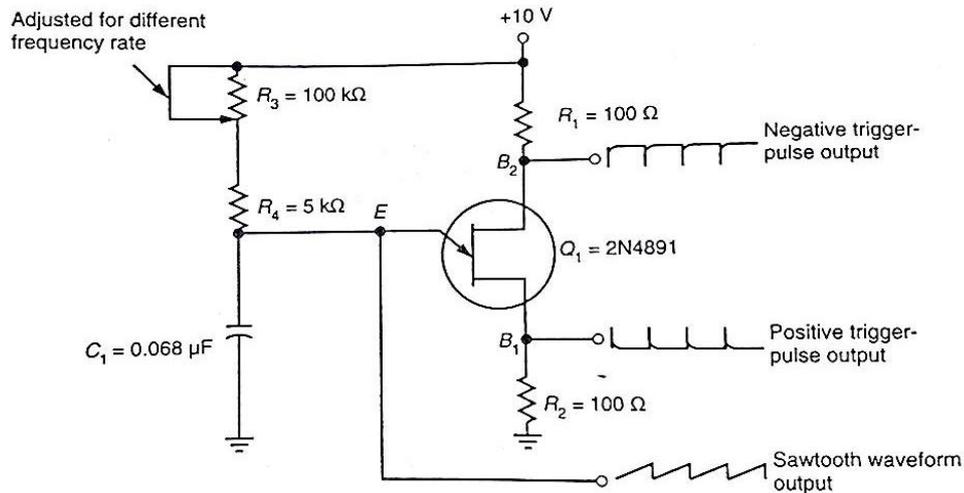
f = Frekuensi (Hz);

R = Resistor (Ohm);

C = Kapasitor (F).

(Petruzella, 1996).

Osilator juga dapat dikonstruksi menggunakan transistor. Osilator transistor adalah transistor khusus rangkaian penguat yang mengubah arus searah menjadi arus bolak-balik tanpa adanya sinyal input eksternal. Transistor yang digunakan pada rangkaian penguat adalah *Uni Junction Transistor* (UJT) atau transistor sambungan tunggal. Rangkaian UJT pada osilator ditunjukkan pada **Gambar 2.10**.

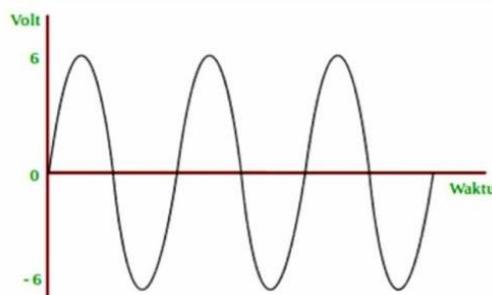


**Gambar 2. 10** Rangkaian UJT pada osilator (Petruzella, 1996)

Saat tegangan diantara emitor dan basis 1 adalah nol, UJT tidak menghantarkan listrik. Semikonduktor batang yang bertipe N akan berfungsi sebagai penghambat karena memiliki resistansi yang tinggi. Namun akan ada sedikit arus bocor yang mengalir karena bias terbalik (*reverse bias*). Ketika tegangan di emitor dan basis 1 dinaikkan secara bertahap, resistansi diantara emitor dan basis 1 akan berkurang dan arus terbalik (*reverse current*) juga akan berkurang. Ketika tegangan emitor dinaikkan hingga level bias maju, arus listrik di emitor akan mengalir. Hal ini dikarenakan *hole* pada semikonduktor yang di doping berat bertipe P mulai memasuki daerah semikonduktor tipe N dan bergabung kembali dengan elektron di batang semikonduktor bertipe N. Dengan demikian UJT mulai menghantarkan arus listrik dari basis 2 ke basis 1.

Terdapat jenis-jenis gelombang sinyal yang dihasilkan oleh osilator, yaitu:

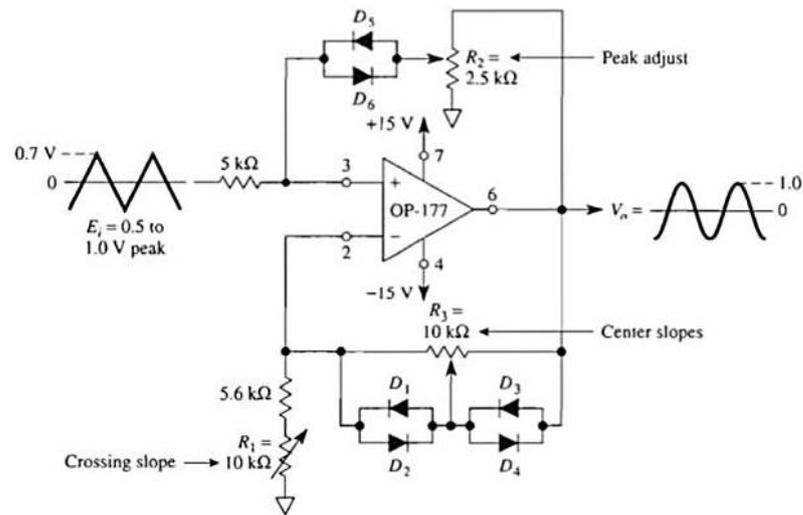
a. *Sinusoidal Wave* (Gelombang Sinus)



**Gambar 2. 11** Gelombang sinus

Gelombang sinus atau sering disebut sebagai sinusoida merupakan salah satu jenis gelombang listrik yang paling sering ditemui di sekitar. Pada umumnya jenis gelombang sinusoida ini dapat ditemui pada penggunaan alat elektronika, terutama sinyal analog seperti sinyal AC, dan sinyal RF.

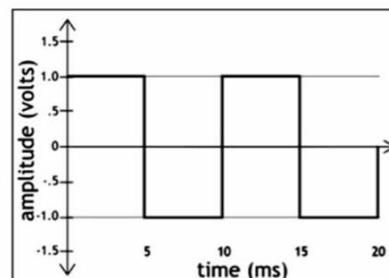
Untuk mendapatkan output gelombang sinus, gelombang segitiga dilewatkan melalui jaringan pembentuk yang terbuat dari resistor dan dioda. Gelombang sinus yang dihasilkan cukup baik, akan tetapi terdapat beberapa distorsi terutama di puncak gelombang sinus. Ketika aplikasi membutuhkan gelombang sinus frekuensi tunggal, osilator konvensional menggunakan teknik pergeseran fasa yang biasanya menggunakan dua jaringan penyetelan RC dan rangkaian pembatas amplitudo kompleks. Untuk meminimalkan distorsi, rangkaian batas harus disesuaikan dengan setiap osilator (Coughlin, 2001). Rangkaian pembentuk gelombang segitiga ke sinus ditunjukkan pada gambar berikut.



**Gambar 2. 12** Rangkaian pembentuk gelombang segitiga ke sinus

$R_1$  dan  $R_3$  mengatur kemiringan  $V_0$  pada amplitudo rendah dekat persimpangan nol. Ketika  $V_0$  meningkat, tegangan melintasi  $R_3$  untuk memulai bias maju  $D_1$  dan  $D_3$  untuk keluaran positif, atau  $D_2$  dan  $D_4$  untuk keluaran negatif. Ketika dioda-dioda bekerja, dioda tersebut menghentikan resistansi umpan balik  $R_3$ , sehingga menurunkan penguatan. Hal ini cenderung membentuk keluaran segitiga di atas sekitar 0,4 V menjadi gelombang sinus. Untuk mendapatkan puncak bulat keluaran gelombang sinus,  $R_2$  dan dioda  $D_5$  dan  $D_6$  disesuaikan untuk membuat penguatan mendekati nol puncak V (Coughlin, 2001).

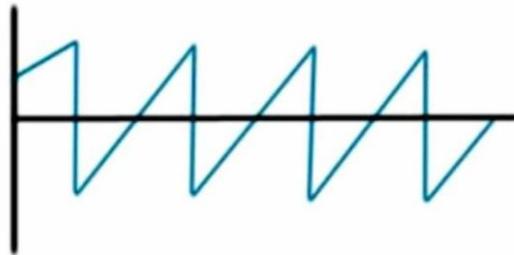
b. *Square Wave* (Gelombang Kotak)



**Gambar 2. 13** Gelombang kotak

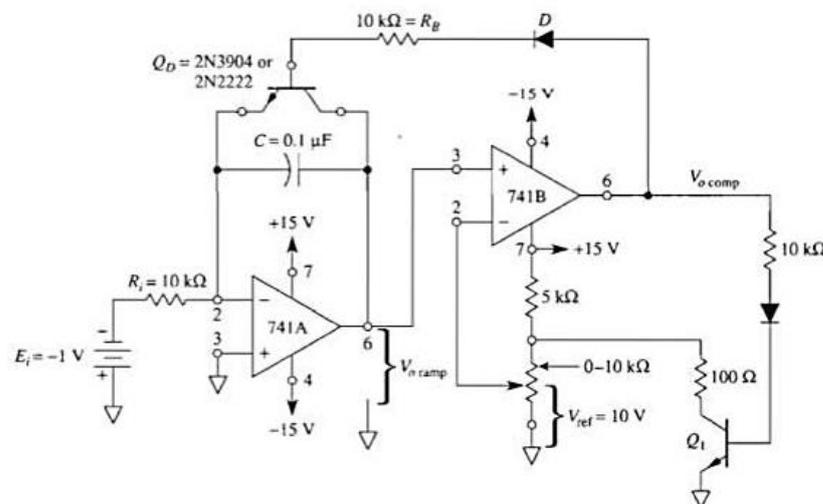
Gelombang kotak digunakan untuk pengendalian waktu (*timing control*). Hal tersebut didasarkan pada bentuk gelombang yang cenderung simetris dengan waktu durasi yang sama.

c. *Saw Tooth Wave* (Gelombang Gigi Gergaji)



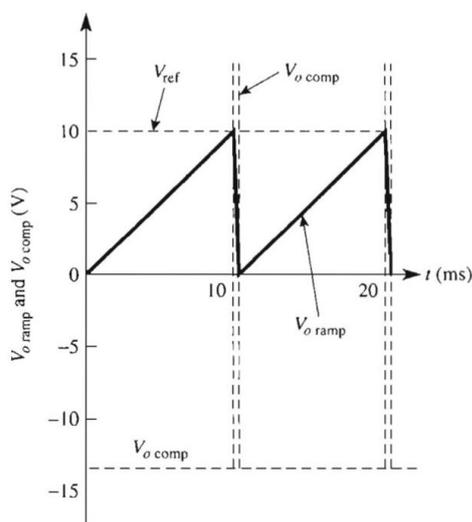
**Gambar 2. 14** Gelombang gigi gergaji

Pada gelombang gigi gergaji, tegangan listrik akan mengalir dan naik mulai dari titik 0 sampai dengan titik (+V), lalu gelombang ini akan otomatis turun ke titik 0 dengan kecepatan tak terhitung. Contoh penggunaan gelombang gigi gergaji dapat dilihat pada penggunaan TV dengan tabung CRT. Fungsi lain dari adanya gelombang ini juga sebagai pemicu pada perangkat televisi (Halliday, 2012). Rangkaian generator gelombang gigi gergaji dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 2. 15** Rangkaian generator gelombang gigi gergaji (Coughlin, 2001)

Ketika  $V_{0\ ramp}$  naik hingga melebihi  $V_{ref}$ , keluaran  $V_{0\ comp}$  menjadi saturasi positif. Transistor jenuh bertindak sebagai penghubung singkat melintasi kapasitor pengintegrasi C. C melepaskan dengan cepat melalui  $Q_D$  menjadi 0V secara langsung. Saat C dilepaskan menuju 0V, ia mendorong  $V_{0\ ramp}$  dengan cepat menuju 0V, sehingga  $V_{0\ ramp}$  turun menjadi  $V_{ref}$  menyebabkan  $V_{0\ comp}$  menjadi negatif. C mulai mengisi daya linier, dan generasi gelombang gergaji baru dimulai. Keluaran gelombang gergaji ditunjukkan pada **Gambar 2.16**.



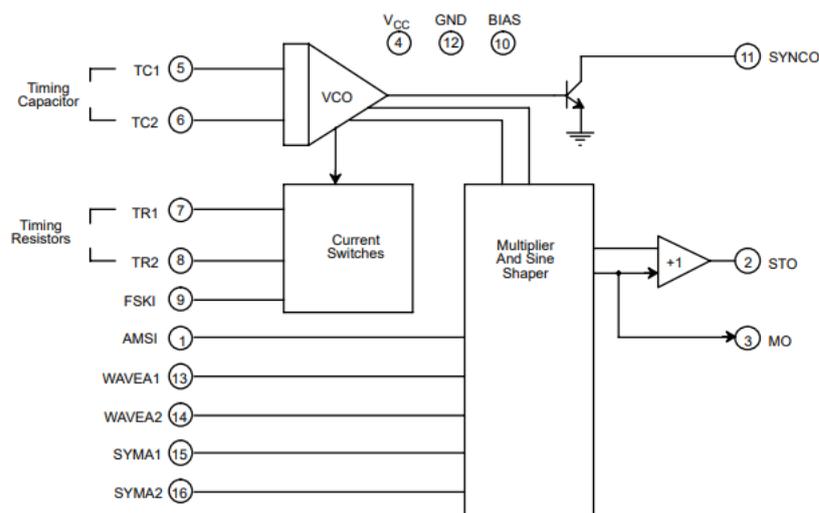
**Gambar 2. 16** Keluaran gelombang gigi gergaji (Coughlin, 2001)

### 2.6.2 IC XR-2206

*Chip* generator fungsi IC XR-2206 digunakan sebagai osilator. Frekuensi osilator bergantung pada nilai *timing resistor* (R) dan *timing capacitor* (C). Ketika nilai R dijaga konstan, sel dielektrik bertindak sebagai kapasitor (C) yang bervariasi sesuai media dielektrik (Anpat, 2015).

*Integrated Circuit* (IC) XR-2206 yaitu suatu rangkaian terpadu generator fungsi *monolithic* yang mampu menghasilkan gelombang sinus, segitiga, dan kotak

dengan kestabilan dan ketepatan yang tinggi. Keluaran dari ketiga gelombang tersebut frekuensi dan amplitudonya dapat diatur dengan memberikan tegangan masukan dari luar (Sunardi, 2006). Blok diagram XR-2206 dapat dilihat pada **Gambar 2.17**.



**Gambar 2. 17** Blok diagram XR-2206 (Budiarmo, 2014)

Frekuensi operasi XR-2206 adalah 0,01 Hz sampai 1 MHz dengan tegangan catu daya adalah 10 volt sampai dengan 26 volt. Fungsi masing-masing pin dari IC XR-2206 dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

**Tabel 2. 2** Keterangan pin XR-2206

Pin	Simbol	Tipe	Keterangan
1	AMS 1	I	<i>Amplitude modulating signal input</i>
2	STO	O	<i>Sine and triangle wave output</i>
3	MO	O	<i>Multiplier output</i>
4	Vcc		<i>Positive power supply</i>
5	TC1	I	<i>Timing capacitor input</i>
6	TC2	I	<i>Timing capacitor input</i>
7	TR1	O	<i>Timing resistor 1 output</i>
8	TR2	O	<i>Timing resistor 2 output</i>

9	FSKI	I	<i>Frequency shift keying input</i>
10	BIAS	O	<i>Internal voltage reference</i>
11	SYNCO	O	<i>Sync output</i>
12	GND		<i>Ground pin</i>
13	WAVE1	I	<i>Wave form adjust input 1</i>
14	WAVE2	I	<i>Wave form adjust input 2</i>
15	SYMA1	I	<i>Wave symmetry adjust 1</i>
16	SYMA2	I	<i>Wave symmetry adjust 1</i>

---

XR-2206 terdiri dari 4 blok rangkaian yaitu *voltage control oscillator (VCO)*, pengali bentuk gelombang sinus, penguat sinyal, dan pengatur arus. VCO menghasilkan sinyal dengan frekuensi yang sebanding dengan arus masukan. VCO diatur oleh tahanan dari terminal pewaktu akan menghasilkan dua buah frekuensi yang diatur oleh pin FSK (Budiarso, 2014).

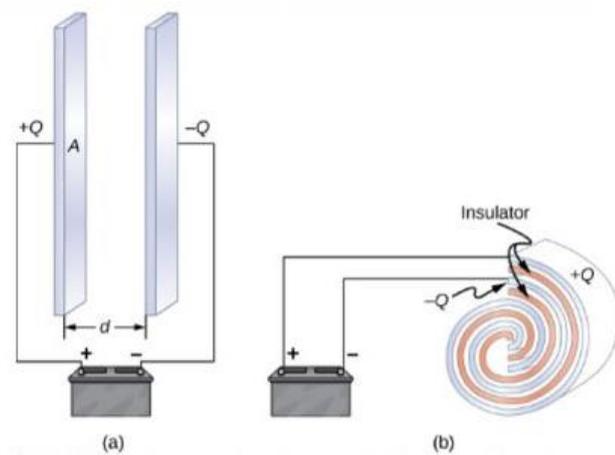
## **2.7 Sensor Kapasitor**

### **2.7.1 Definisi Kapasitor**

Kapasitor adalah alat yang digunakan untuk menyimpan muatan listrik. Muatan adalah partikel penyusun atom kecuali neutron. Muatan listrik yang bergerak disebut arus listrik. Kapasitor terdiri dari setidaknya dua konduktor listrik yang dipisahkan oleh jarak. Ruang antara kapasitor berupa ruang hampa yang dikenal sebagai “kapasitor vakum”. Ruang hampa tersebut biasanya diisi dengan bahan isolasi yang dikenal sebagai bahan dielektrik. Jumlah penyimpanan dalam kapasitor ditentukan oleh sifat yang disebut kapasitansi (Ling, 2016).

Kapasitor memiliki aplikasi mulai dari memfilter statis dari penerimaan radio hingga penyimpanan energi di defibrillator jantung. Kapasitor memiliki dua

bagian konduktor yang berdekatan satu sama lain tetapi tidak bersentuhan, seperti pada **Gambar 2.18** dielektrik digunakan di antara kedua pelat. Ketika terminal baterai dihubungkan ke kapasitor yang awalnya tidak bermuatan, potensial baterai memindahkan sejumlah kecil muatan sebesar  $Q$  dari pelat positif ke pelat negatif. Kapasitor tetap netral secara keseluruhan, tetapi dengan muatan  $+Q$  dan  $-Q$  berada di pelat yang berlawanan seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2. 18** (a) Kapasitor terdiri dari dua pelat bermuatan berlawanan dengan luas  $A$  yang terpisahkan oleh jarak  $d$ , (b) kapasitor gulung memiliki bahan dielektrik di antara dua pelat penghantar (Ling, 2016)

Kapasitor dengan karakteristik fisik yang berbeda (seperti bentuk dan ukuran pelatnya) menyimpan jumlah muatan yang berbeda untuk tegangan  $V$  yang sama pada pelatnya. Kapasitansi  $C$  kapasitor didefinisikan sebagai rasio muatan maksimum  $Q$  yang dapat disimpan dalam kapasitor dengan tegangan  $V$  yang diterapkan pada pelatnya. Dengan kata lain, kapasitansi adalah jumlah muatan per volt terbesar yang dapat disimpan di perangkat. Berikut ini adalah persamaan dari kapasitansi:

$$C = \frac{Q}{V} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

$C$  = Kapasitansi (F);

$Q$  = Muatan pelat (C);

$V$  = Tegangan yang diberikan (V).

Satuan SI untuk kapasitansi adalah farad (F), dinamai dari Michael Faraday (1791-1867). Karena kapasitansi adalah muatan per satuan tegangan, satu farad adalah satu coulomb per satu volt, atau

$$1\text{F} = \frac{1\text{C}}{1\text{V}} \dots \dots \dots (2.6)$$

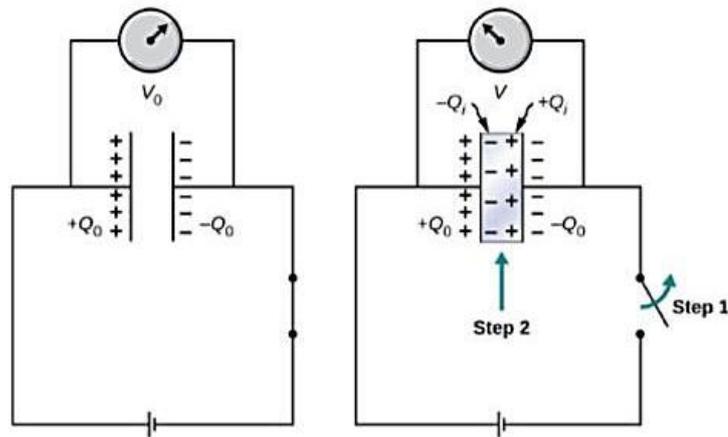
Menurut definisi, 1F mampu menyimpan muatan 1C (jumlah muatan yang sangat besar) ketika beda potensial antara pelatnya hanya 1V. Oleh karena itu, 1F adalah kapasitansi yang sangat besar. Kisaran nilai kapasitansi dari picofarad ( $1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$ ) hingga milifarad ( $1\text{mF} = 10^{-3}\text{F}$ ), yang juga mencakup mikrofarad ( $1\mu\text{F} = 10^{-6}\text{F}$ ) (Ling, 2016). Kapasitor dapat diproduksi dalam berbagai bentuk dan ukuran seperti pada **Gambar 2.19**.



**Gambar 2. 19** Kapasitor berbagai jenis (Ling, 2016)

### 2.7.2 Kapasitor dengan Bahan Dielektrik

Bahan isolasi yang ditempatkan di antara pelat kapasitor disebut dielektrik. Ketika memasukkan dielektrik di antara pelat kapasitor maka akan mempengaruhi kapasitansinya seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ini.



**Gambar 2. 20** (a) Kapasitor saat terisi penuh memiliki  $V_0$  dan  $Q_0$ , (b) Muatan terinduksi sehingga berada pada permukaan bahan dielektrik di antara pelat

**Gambar 2.20** menunjukkan pada mulanya kapasitor dengan kapasitansi  $C_0$ , terdapat udara di antara pelat, diisi oleh baterai tegangan  $V_0$ . Ketika kapasitor terisi penuh, baterai dilepas, muatan  $Q_0$  kemudian berada di pelat dan perbedaan potensial antara pelat diukur menjadi  $V_0$ . Jika dielektrik mengisi penuh celah antara pelat, maka tegangan akan turun ke nilai yang lebih kecil. Apabila tegangan baru sebagai pecahan dari tegangan asli  $V_0$ , dengan angka positif  $k$ ,  $k > 1$  maka

$$V = \frac{1}{k} V_0 \dots \dots \dots (2.7)$$

Konstanta  $k$  dalam persamaan ini disebut konstanta dielektrik bahan. Bahan yang berbeda memiliki konstanta dielektrik yang berbeda. Setelah baterai dilepas, tidak ada jalur untuk muatan mengalir ke baterai dari pelat kapasitor. Oleh karena itu,

penyisipan dielektrik tidak berpengaruh pada muatan pelat, sehingga kapasitansi kapasitor dengan dielektrik adalah

$$C = \frac{Q_0}{V} = \frac{Q_0}{\frac{V_0}{k}} = k \frac{Q_0}{V_0} = kC_0 \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

C = Kapasitansi (F);

$Q_0$  = Besarnya muatan awal (C);

$V_0$  = Tegangan awal yang diberikan (V);

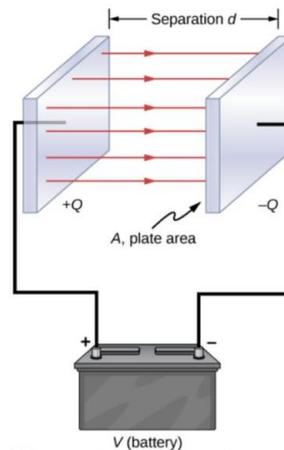
$C_0$  = Kapasitansi awal (F);

k = Konstanta dielektrik

(Ling, 2016).

### 2.7.3 Kapasitor Pelat Sejajar

Salah satu bentuk sederhana dari kapasitor adalah kapasitor pelat sejajar. Sebuah kapasitor pelat sejajar terbuat dari 2 pelat konduktor yang didekatkan sehingga permukaan kedua pelat itu sejajar (Jati, 2010). Kapasitor pelat sejajar yang ditunjukkan pada **Gambar 2.21** memiliki luas permukaan A, dipisahkan oleh jarak d. Ketika tegangan V diterapkan ke kapasitor, kemudian kapasitor menyimpan muatan Q, seperti yang terlihat pada gambar. Kapasitansi bergantung pada A dan d dengan mempertimbangkan gaya Coulomb. Gaya antara muatan bertambah dengan nilai muatan dan berkurang dengan jarak antara keduanya. Semakin dekat jarak antara kedua pelat maka semakin besar daya tarik muatan berlawanan.



**Gambar 2. 21** Kapasitor pelat sejajar

Besarnya medan listrik di antara pelat sejajar adalah  $E = \sigma/\epsilon_0$ , dimana  $\sigma$  menunjukkan kerapatan muatan permukaan pada satu pelat.  $\sigma$  adalah muatan  $Q$  per luas permukaan  $A$ . Jadi besarnya medan berbanding lurus dengan  $Q$ . Maka kerapatan muatan permukaan  $\sigma$  pada pelat adalah

$$\sigma = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (2.9)$$

Ketika jarak  $d$  antar pelat kecil, medan listrik antar pelat cukup seragam, maka persamaan medan listrik pelat sejajar adalah

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \dots\dots\dots (2.10)$$

Sehingga beda potensial antara pelat adalah

$$V = Ed = \frac{\sigma d}{\epsilon_0} = \frac{Qd}{\epsilon_0 A} \dots\dots\dots (2.11)$$

Substitusikan **Persamaan 2.11** ke **Persamaan 2.5** sehingga diperoleh kapasitansi kapasitor pelat sejajar adalah

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{\frac{Qd}{\epsilon_0 A}} = \epsilon_0 \frac{A}{d} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

$E$  = Medan listik (V/m);

$\sigma$  = Kerapatan muatan ( $C/m^2$ );

$C$  = Kapasitansi (F);

$Q$  = Muatan pelat (C);

$V$  = Tegangan yang diberikan (V);

$\epsilon_0$  = Permittivitas ruang hampa ( $8,854 \times 10^{-12} F/m$ )

$d$  = Jarak antara kedua pelat (m);

$A$  = Luas pelat ( $m^2$ )

(Ling, 2016).

#### 2.7.4 Impedansi Kapasitor

Pada rangkaian arus searah, perbandingan antara tegangan dan arus sama dengan hambatan (resistansi), seperti yang diberikan oleh Hukum Ohm. Pada rangkaian AC, perbandingan antara tegangan dan arus disebut impedansi atau hambatan total rangkaian. Secara sistematis, impedansi pada kapasitor dituliskan

$$Z_c = \frac{V_c}{I_c} = X_c \dots\dots\dots (2.13)$$

Pada kapasitor, impedansinya sama dengan reaktansi kapasitif ( $X_c$ ). Hubungan arus-tegangan dalam domain frekuensi adalah

$$\frac{V}{I} = \frac{1}{j\omega C} \dots\dots\dots (2.14)$$

Substitusikan **Persamaan 2.14** ke **Persamaan 2.13** sehingga diperoleh impedansi kapasitor adalah

$$X_c = \frac{1}{j\omega C} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 2\pi f_0 \dots\dots\dots(2.16)$$

Sehingga impedansi kapasitor dapat dituliskan juga sebagai berikut

$$X_c = \frac{1}{j2\pi fC} \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan:

$X_c$  = Reaktansi kapasitif (Ohm);

V = Tegangan (V);

I = Arus listrik (A);

j = Komponen imajiner ( $\sqrt{-1}$ )

$\omega$  = Frekuensi sudut (rad/s)

C = Kapasitor (F);

f = Frekuensi (Hz)

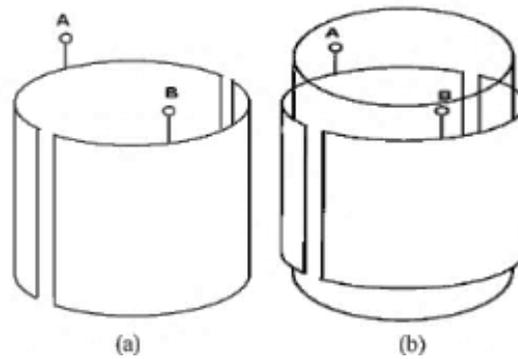
(Hayt, 2005).

### 2.7.5 Sensor Kapasitor Semi Silinder

Sensor kapasitor adalah sensor yang terdiri dari dua pelat yang dipisahkan oleh jarak di antara dua pelat. Ada beberapa jenis geometri pelat sensor kapasitor yang dapat digunakan, yaitu pelat sejajar, silinder, dan semi silinder (Baxter, 2011).

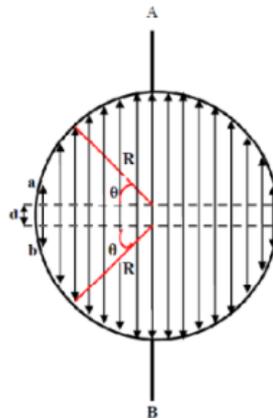
Dalam penelitian ini menggunakan sensor kapasitor semi silinder seperti pada

**Gambar 2.22.**



**Gambar 2. 22** Sensor kapasitor semi silinder (a) tanpa dielektrik (b) dengan bahan dielektrik (Das, 2014)

Sensor kapasitor semi silinder umumnya dibangun menggunakan bahan alumunium atau tembaga. Tampak atas sensor kapasitor dapat dilihat pada **Gambar 2.23**.



**Gambar 2. 23** Distribusi medan listrik bagian dalam sensor kapasitor semi silinder tanpa bahan dielektrik dan perwakilan simbol untuk analisis metode numerik (Das, 2014)

Untuk mengetahui nilai kapasitor semi silinder digunakan analisis numerik. Pada **Gambar 2.23** memperlihatkan distribusi medan listrik bagian dalam sensor kapasitor semi silinder untuk analisis numerik. Perbedaan mendasar antara kapasitor pelat sejajar dan semi silinder kapasitor adalah perbedaan jarak pada setiap titik dua pelat beragam sepanjang permukaan melengkung. Perbedaan

potensial antara dua pelat adalah  $V$ . Untuk memperkirakan kapasitansi sensor dapat diasumsikan bahwa pelat A bermuatan  $+Q$  dan pelat B bermuatan  $-Q$  dan medan listrik antara pelat sejajar adalah  $E = Q / A\epsilon_0$ . Karena struktur pelat semi silinder, maka luasnya adalah  $\pi RH$  oleh karena itu rumus medan listrik menjadi:

$$E = \frac{Q}{A\epsilon_0} = \frac{Q}{\pi RH\epsilon_0} \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan :

$E$  = Medan listrik (V/m);

$Q$  = Muatan listrik (C);

$A$  = Luasan penampang keping ( $m^2$ );

$\epsilon_0$  = Permittivitas ruang hampa ( $8,854 \times 10^{-12} F/m$ );

$R$  = Jari-jari;

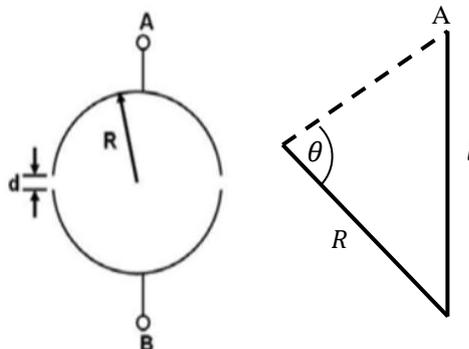
$H$  = Tinggi pelat (m).

Persamaan beda potensial ( $V$ ) yang timbul antara dua pelat dapat dinyatakan sebagai:

$$V = \int_{titik\ awal}^{titik\ akhir} E \cdot dl \dots\dots\dots(2.19)$$

Karena arah medan listrik berasal dari plat A ke plat B, maka titik awal adalah a dan titik akhir adalah b, sehingga persamaannya menjadi:

$$V = \int_a^b E \cdot dl \dots\dots\dots(2.20)$$



**Gambar 2. 24** Tampak atas sensor kapasitor tanpa bahan dielektrik (Das, 2014)

Jarak dari titik A ke tengah kapasitor adalah

$$l_a = R \sin \theta \dots\dots\dots(2.21)$$

Jarak dari titik B ke tengah kapasitor adalah

$$l_b = R \sin \theta \dots\dots\dots(2.22)$$

Maka jarak dari titik a ke titik b:

$$l = 2R \sin \theta \dots\dots\dots(2.23)$$

Dengan menganggap jari-jari R adalah konstan, maka differensial dari

**Persamaan 2.23** adalah

$$dl = 2R \cos \theta d\theta \dots\dots\dots(2.24)$$

Pada **Gambar 2.20** terdapat celah kecil diantara kedua plat, maka **Persamaan**

**2.24** berubah menjadi

$$dl = 2R \cos \theta d\theta + d \dots\dots\dots(2.25)$$

Substitusikan **Persamaan 2.18** dan **Persamaan 2.25** ke **Persamaan 2.20**

diperoleh:

$$V = \int_a^b E \cdot dl$$

$$V = \int_0^\pi E \cdot dl$$

$$V = \int_0^\pi \frac{Q}{\pi R H \epsilon_0} (2R \cos \theta d\theta + d)$$

$$V = \frac{Qd}{\pi R H \epsilon_0} + 2QR \int_0^\pi \frac{\cos \theta}{\pi R H \epsilon_0} d\theta$$

$$V = \frac{Qd}{\pi R H \epsilon_0} + \frac{2QR \sin \theta}{\pi R H \epsilon_0}$$

$$V = \frac{Q}{\pi R H \epsilon_0} [2R \sin \theta + d] \text{ dimana, } 0 \leq \theta \leq \pi \dots\dots\dots(2.26)$$

Keterangan :

Q = Muatan listrik (C);

R = Jari-jari (m);

$H$  = Tinggi pelat (m);

$\epsilon_0$  = Permittivitas ruang hampa ( $8,854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ );

$d$  = Jarak (m).

$V$  = Beda Potensial pada kapasitor (V)

Sehingga nilai kapasitansi menjadi

$$C = Q/V$$

$$C = \frac{Q}{\frac{Q}{\pi R H \epsilon_0} [2R \sin \theta + d]}$$

$$C = \frac{\pi R H \epsilon_0}{2R \sin \theta + d} \quad \text{dimana } 0 \leq \theta \leq \pi \dots\dots\dots (2.27)$$

Jika media dielektrik antara pelat adalah udara dan sampel, maka nilai kapasitansi semi silinder adalah

$$C = \frac{\pi R H \epsilon_0 \epsilon_1 \epsilon_2}{2R \sin \theta + d} \quad \text{dimana } 0 \leq \theta \leq \pi \dots\dots\dots (2.28)$$

Keterangan:

$\epsilon_0$  = Permittivitas ruang hampa ( $8,854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ );

$\epsilon_1$  = Konstanta dielektrik udara;

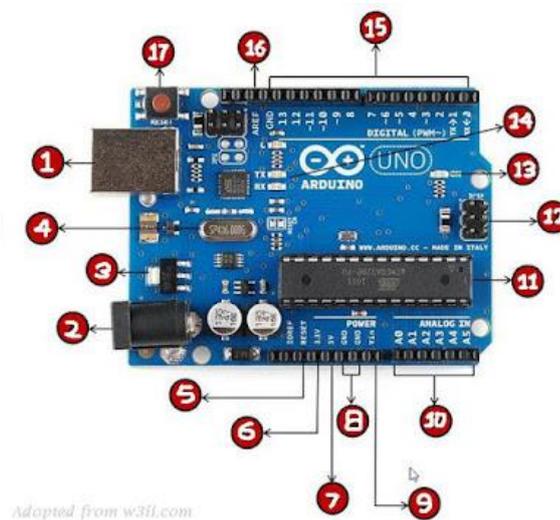
$\epsilon_2$  = Konstanta dielektrik sampel

(Das, 2014).

## 2.8 Arduino

Arduino adalah perangkat elektronik yang berfungsi seperti mikrokontroler dan bersifat *open source*. *Board* arduino mempunyai kemampuan untuk membaca masukan data digital dan data analog. Arduino dikembangkan oleh beberapa ahli di berbagai belahan dunia seperti Massimo Banzi (Milano, Italia), David Cuartielles (Malmoe, Swedia), Tom Igoe (New York, USA), Gianluca Martino

(Torino, Italia), dan david A. Mellis (Boston, USA) (Setiawardhana, 2019). Bagian-bagian arduino dapat dilihat pada **Gambar 2.25**, dan penjelasannya dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.



**Gambar 2. 25** Bagian-bagian pada arduino

**Tabel 2. 3** Penjelasan bagian-bagian pada arduino

No	Penjelasan
1	<i>Power USB</i> Digunakan untuk menghubungkan papan arduino dengan komputer lewat koneksi USB, serta sebagai <i>supply</i> listrik ke papan atau untuk pemrograman mikroelektronika.
2	<i>Power Jack</i> <i>Supply</i> atau sumber listrik untuk arduino dengan tipe <i>Jack</i> . Input DC 5-12V.
3	<i>Voltage Regulator</i> IC ini digunakan untuk menstabilkan tegangan eksternal dari <i>Jack</i> No. 2 menuju 5 V.
4	<i>Crystal Oscillator</i> Kristal ini digunakan sebagai detak jantung pada arduino. Jumlah cetak menunjukkan 16000 atau 16000 kHz, atau 16 MHz.
5 dan 17	Reset Digunakan untuk mengulang program Arduino dari awal atau Reset.
6, 7, 8,	Pin ( 3.3, 5, GND, Vin )

dan 9

- 3.3V ( 6 ) - Sumber tegangan output 3.3 Volt.
- 5V ( 7 ) - Sumber tegangan output 5 Volt.
- GND ( 8 ) - *Ground* atau pin negatif dalam sirkuit elektronik, akhir dari setiap jalur arus listrik.
- Vin ( 9 ) - Pin untuk memasok listrik dari luar ke papan arduino, sekitar 5 V.

#### 10 *Analog Pins*

Papan Arduino UNO memiliki enam pin analog A0 sampai A5. Digunakan untuk membaca sinyal atau sensor analog seperti sensor jarak, suhu dsb, dan mengubahnya menjadi nilai digital.

#### 11 IC Mikrokontroler

IC atau Integrated Circuit, alias otak dari Papan Arduino. IC ini yang diprogram oleh papan arduino untuk mengatur pin digital ( 15 ) dan pin analog ( 10 ).

#### 12 ICSP pin

Sebagian besar ICSP ( 12 ) adalah untuk AVR. Dalam Arduino terdapat enam pin, MOSI, MISO, SCK, RESET, VCC, dan GND. bisa digunakan dengan *Bootloader*.

#### 13 *LED Power Indicator*

Lampu ini akan menyala dan menandakan Papan Arduino mendapatkan supply listrik dengan baik.

#### 14 LED TX dan RX

TX ( Transmit ) dan RX ( Receive ), dua LED tersebut akan berkedip saat pemrograman IC atau Papan Arduino berlangsung.

#### 15 *Digital Pins I / O*

Papan Arduino UNO memiliki 14 Digital Pin. Berfungsi untuk memberikan nilai logika ( 0 atau 1 ). Digital Pin I / O dapat digunakan seperti saklar.

#### 16 AREF

AREF singkatan Analog Reference. Dapat digunakan untuk mendapatkan sumber tegangan yang dapat diatur lewat IC. Tegangannya antara 0 sampai 5 Volt.

Arduino pada dasarnya adalah *chip* komputer, berisi prosesor sebagai *Central Processing Unit*, memori, kristal pembangkit waktu (*clock*), dan periferal dalam satu paket (Halimah, 2021). Arduino memiliki keunggulan dibandingkan dengan sistem mikrokontroler lainnya, berikut ini:

- a. Banyak *library* yang sudah tersedia sehingga pemograman dengan level awalpun dapat menggunakan dengan mudah.
- b. Harganya sangat murah. Karena pengawatan arduino berlisensi *free* maka banyak perusahaan yang mencontoh pengawatannya dan memproduksinya sehingga dipasaran harganya bersaing.
- c. Mudah digunakan, serta disertai dengan program IDE arduino yang dapat diunduh di internet dengan gratis.

Meskipun begitu banyak keunggulan arduino, namun terdapat beberapa kekurangan, yaitu:

- a. Program yang dihasilkan lebih lambat dan lebih besar.
- b. Tidak mengetahui lebih dalam mengenai arsitektur mikrokontroler AVR (Ahyadi, 2018).

### **III. METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Elektronika Dasar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penelitian dilaksanakan pada bulan April 2022 - Juni 2022.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

Alat yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

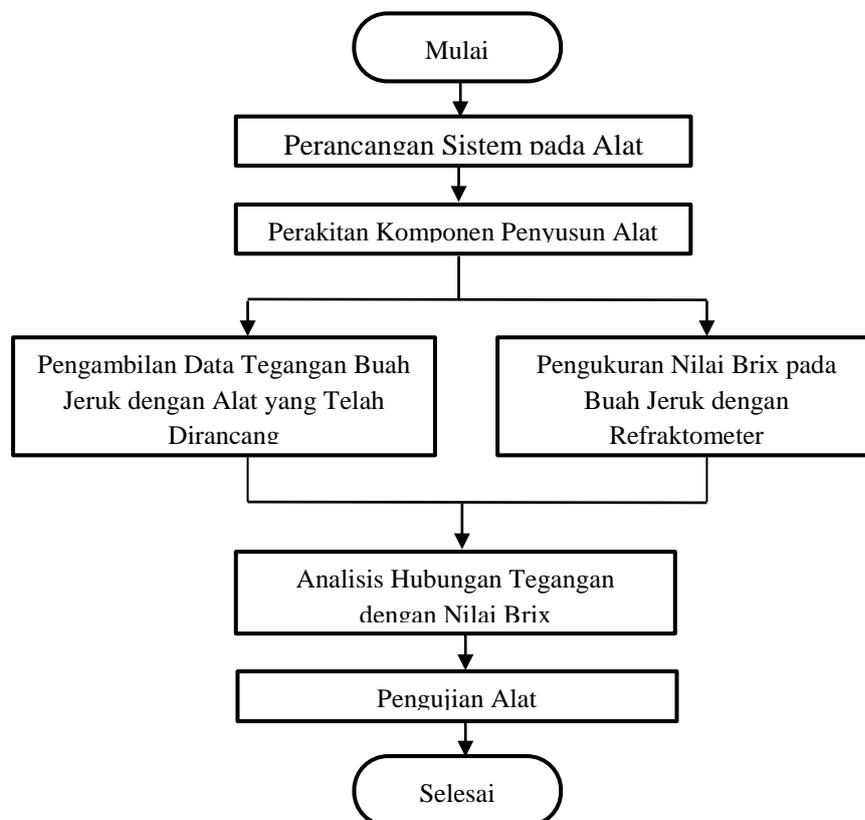
1. Osilator menggunakan IC XR2206 sebagai masukan dengan gelombang penuh dan variasi bentuk gelombang dan frekuensi.
2. Baterai berfungsi sebagai sumber tegangan masukan pada rangkaian.
3. Multimeter berfungsi untuk mengukur tegangan AC dan DC, serta mengecek komponen elektronika.
4. Arduino Uno berfungsi sebagai kendali dalam sistem kontrol alat ini.
5. Osiloskop untuk membaca sinyal tegangan input dan output.
6. *Pocket Refractometer* Otago PAL- $\alpha$  sebagai kalibrator dari alat yang akan dibuat.

Sedangkan bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Buah jeruk sebagai bahan uji eksperimen.
2. Pelat tembaga sebagai elektroda kapasitor semi silinder.
3. PCB untuk menghubungkan komponen-komponen pada rangkaian.
4. Kawat timah untuk menempelkan komponen pada PCB.
5. Aquades untuk bahan uji kalibrasi refraktometer.

### 3.3 Perancangan Prosedur Penelitian

Perancangan kapasitor semi silinder sebagai sensor kapasitas untuk mengukur tingkat manis buah jeruk dilakukan dalam beberapa tahapan. Diagram alir tahapan penelitian ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.

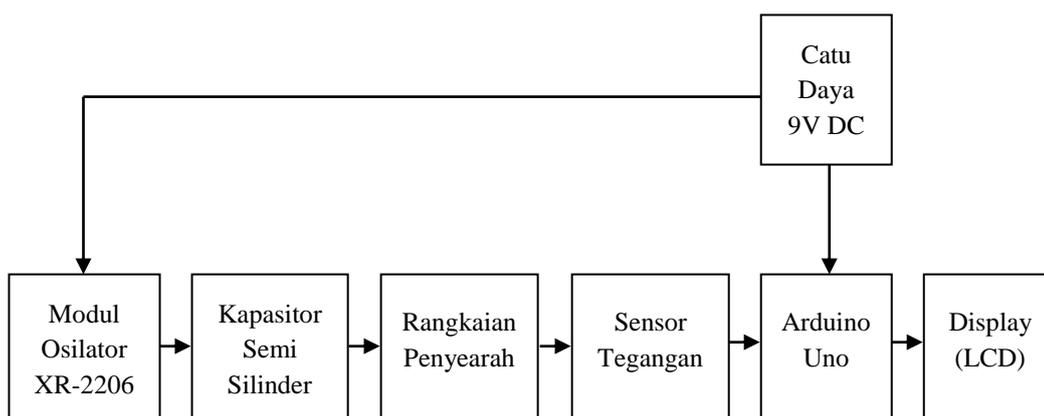


**Gambar 3. 1** Diagram alir penelitian

### 3.3.1 Perancangan Sistem pada Alat

Perancangan pada alat merupakan proses perencanaan desain yang dilakukan agar tujuan dari penelitian dapat terpenuhi. Perancangan sistem pada penelitian ini berisi tentang rencana pembuatan dan pemodelan dari alat sensor kapasitor semi silinder berbasis arduino secara detail mulai dari perancangan mekanik hingga perancangan sistem kontrol.

Penggambaran awal dari cara kerja seluruh sistem dapat digambarkan dalam diagram blok. Diagram blok perancangan alat pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.

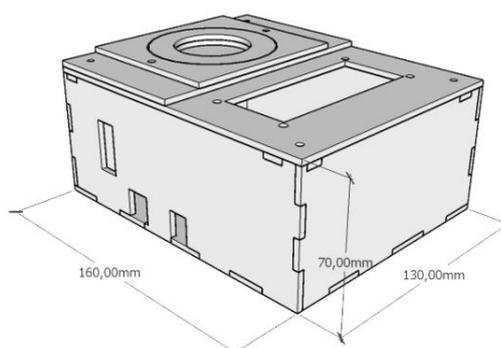


**Gambar 3. 2** Diagram blok perancangan alat

Dalam **Gambar 3.2** dijelaskan kerja sistem dimulai dari osilator yang berfungsi mengubah arus listrik DC dari catu daya menjadi AC. Kapasitor semi silinder sebagai sensor tingkat manis buah jeruk. Keluaran pada sensor kapasitor berbentuk sinyal AC. Penyearah gelombang mengubah sinyal AC menjadi sinyal DC. Sensor tegangan berfungsi untuk membaca nilai tegangan pada rangkaian. Arduino bertujuan sebagai pengendali sistem pada alat yang akan dibuat.

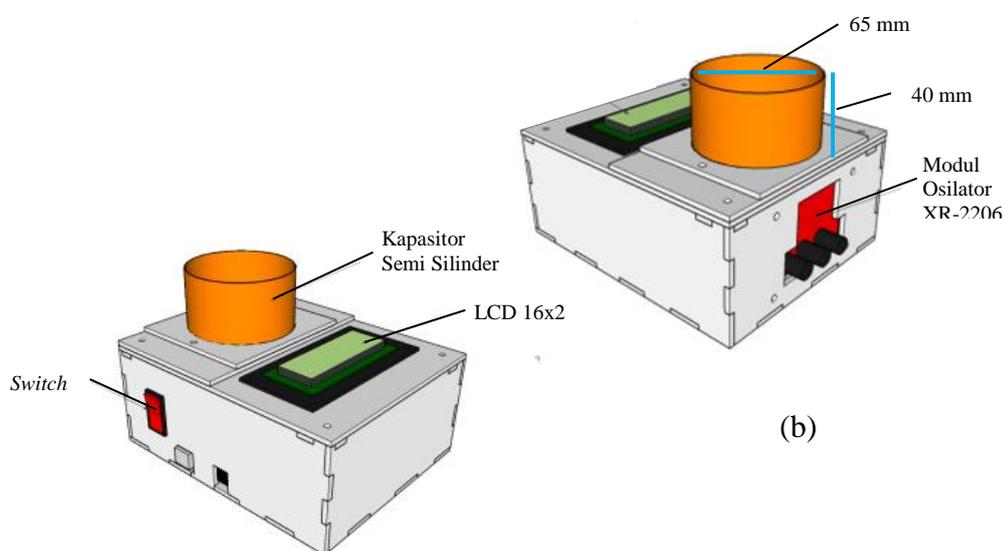
### 3.3.2 Perancangan Mekanik

Desain box mekanik pada penelitian ini menggunakan bahan akrilik berwarna putih dengan panjang 160mm, lebar 130mm, dan tinggi 70mm. Perancangan box mekanik dapat dilihat pada **Gambar 3.3**.



**Gambar 3.3** Perancangan box mekanik

Wujud hasil alat yang telah selesai dapat dilihat pada **Gambar 3.4**.



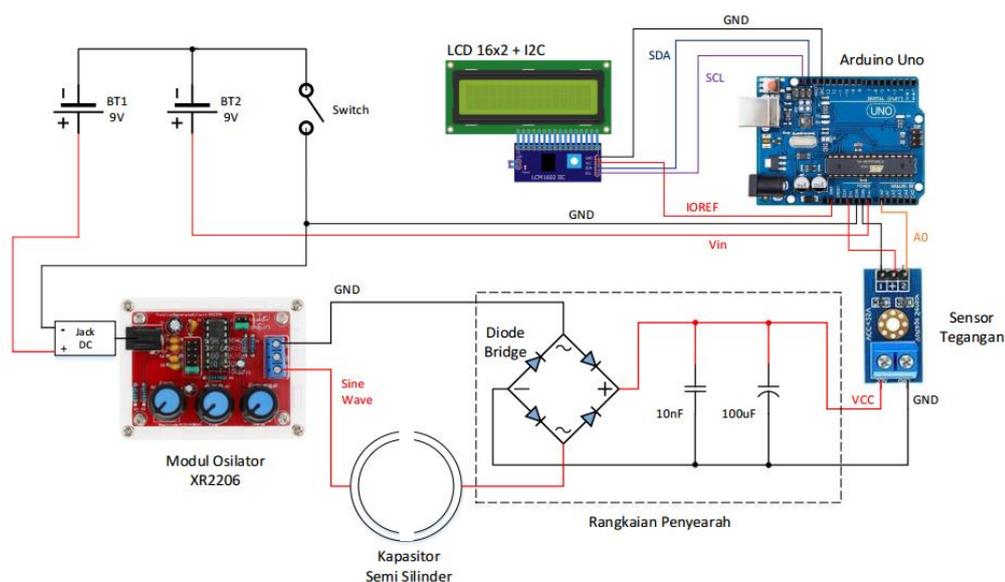
**Gambar 3.4** Perancangan alat (a) tampak depan (b) tampak belakang

Pada **Gambar 3.4** terdapat kapasitor semi silinder, LCD 16x2, tombol switch, dan modul osilator XR-2206. Kapasitor semi silinder terbuat dari pelat tembaga

(ketebalan 0,1 mm) dengan ukuran panjang 130 mm, tinggi 40 mm, dan diameter 65 mm.

### 3.3.3 Perakitan Komponen Penyusun Alat

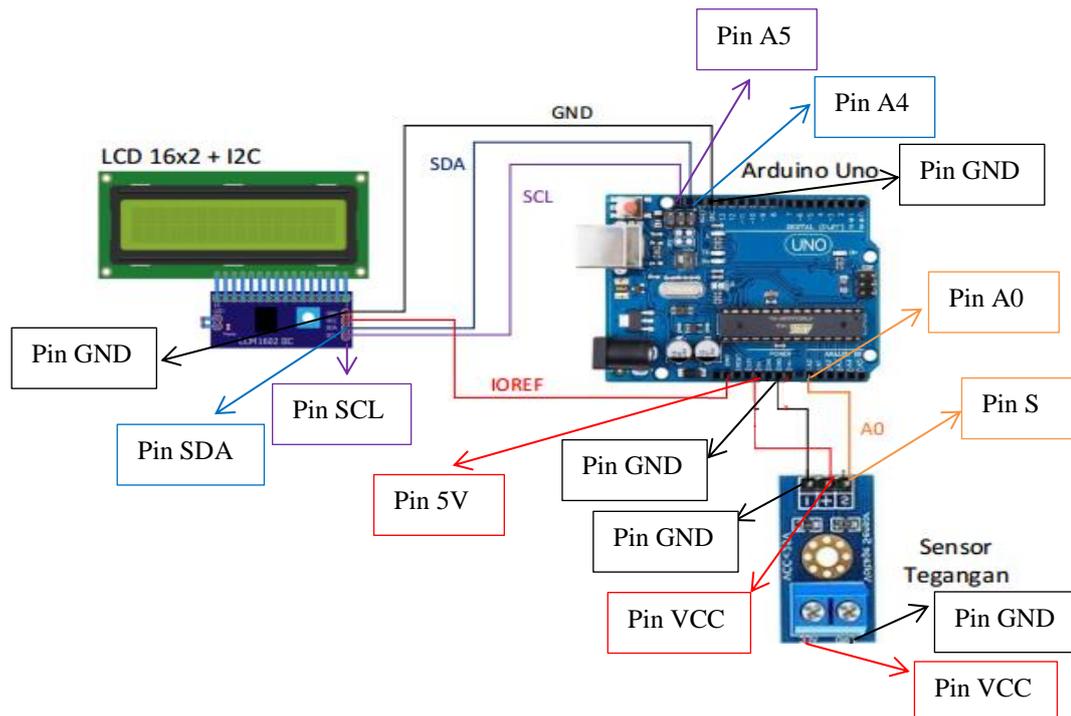
Perakitan adalah suatu proses penyusunan dan penyatuan beberapa bagian komponen menjadi suatu alat atau mesin yang mempunyai fungsi tertentu. Pada penelitian ini, perakitan alat meliputi penyusunan osilator XR-2206, catu daya, kapasitor semi silinder, rangkaian penyearah, sensor tegangan, Arduino uno sebagai mikrokontroler, dan LCD sehingga menghasilkan alat untuk mengukur tingkat manis buah jeruk. Rangkaian lengkap alat ukur tingkat manis buah jeruk seperti pada **Gambar 3.5**.



**Gambar 3. 5** Rangkaian penyusun alat

Tombol *switch* dihubungkan pada osilator XR-2206 (sinyal tegangan masih berupa DC), kemudian pin GND pada osilator dihubungkan dengan rangkaian penyearah, dan pin VCC osilator dihubungkan dengan kapasitor semi silinder (sinyal tegangan sudah berupa AC). Lalu kapasitor semi silinder dihubungkan juga dengan rangkaian penyearah. Rangkaian penyearah berfungsi untuk

mengkonversi sinyal tegangan AC yang berasal dari kapasitor semi silinder menjadi tegangan DC. Kemudian rangkaian penyearah dihubungkan dengan pin VCC dan pin GND pada sensor tegangan. Selanjutnya penjelasan rangkaian pengukur tegangan yaitu dari sensor tegangan hingga LCD akan dijelaskan pada **Gambar 3.6**.



**Gambar 3. 6** Rangkaian pengukur tegangan

Pin 5V (Arduino) dihubungkan pada pin VCC (sensor tegangan). Pin GND (Arduino) dihubungkan pada pin GND (sensor tegangan). Pin A0 (Arduino) dihubungkan pada pin S (sensor tegangan). Pin GND (Arduino) dihubungkan pada pin GND (LCD). Pin 5V (Arduino) dihubungkan pada pin VCC (LCD). Pin A4 (Arduino) dihubungkan pada pin SDA (LCD). Pin A5 (Arduino) dihubungkan pada pin SCL (LCD). Hasil nilai tegangan dan kategori tingkat manis buah jeruk akan terlihat pada LCD.

### 3.3.4 Pengambilan Data Tegangan Buah Jeruk

Setelah alat diuji dan dapat bekerja dengan baik, maka selanjutnya dilakukan pengambilan data. Data yang diambil berupa tegangan keluaran ( $V_0$ ) menggunakan osiloskop dengan 3 frekuensi, yaitu 10 kHz, 100 kHz, dan 1 MHz.

### 3.3.5 Pengukuran Nilai Brix pada Buah Jeruk dengan Refraktometer

Pengukuran menggunakan refraktometer dilakukan sebagai acuan atau pembandingan untuk alat yang telah dibuat. Diharapkan hasil pengukuran pada alat memiliki nilai keakuratan sebanding dengan refraktometer.

### 3.3.6 Analisis Hubungan Tegangan dengan Nilai Brix

Data diolah untuk menganalisis hubungan antara tegangan dengan nilai brix yang diperoleh menggunakan analisis regresi linier. Analisis ini berguna untuk mencari tahu hubungan antara variabel terikat atau ( $y$ ) dengan satu atau lebih variabel bebas ( $x$ ). Variabel terikat ( $y$ ) adalah tegangan, dan variabel bebas ( $x$ ) adalah nilai brix pada buah jeruk. Berikut ini adalah rumus regresi linier.

$$y = a + bx \dots\dots\dots(3.1)$$

Dari persamaan (3.1) maka diperoleh rumus:

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \dots\dots\dots(3.3)$$

Dengan:

$a$  = Konstanta (titik potong  $y$ )

$b$  = Gradien persamaan linear dari variabel  $x$

$y$  = Variabel tegangan

$x$  = Variabel nilai brix

$\bar{y}$  = Variabel tegangan rata-rata

$\bar{x}$  = Variabel nilai brix rata-rata

data hasil penelitian yang diperoleh akan dihitung nilai koefisien relatif menggunakan **Persamaan 3.4**.

$$R^2 = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

$$R = \sqrt{R^2} \quad \text{dimana } -1 < R < 1 \dots\dots\dots(3.4)$$

Dengan:

- $R = 0$  : tidak ada korelasi
- $|R| < 0,5$  : korelasi lemah
- $0,5 < |R| < 0,75$  : korelasi sedang
- $0,75 < |R| < 0,9$  : korelasi kuat
- $0,9 < |R| < 1$  : korelasi sangat kuat
- $|R| = 1$  : berkorelasi

### 3.3.7 Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui apakah alat yang telah terealisasi bekerja dengan baik dan akurat. Proses pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali menggunakan variasi tingkat manis jeruk yang berbeda-beda. Masing-masing jeruk diuji menggunakan alat yang telah terealisasi dan refraktometer. Data yang akan diukur pada pengujian alat adalah nilai brix pada buah jeruk. Data hasil penelitian yang diperoleh akan dihitung nilai *error* dan akurasi menggunakan **Persamaan 3.5** dan **Persamaan 3.6**.

$$error = \left| \frac{Y - X_n}{Y} \right| \times 100\% \dots\dots\dots(3.5)$$

$$\text{Akurasi} = \left[ 1 - \left| \frac{Y - X_n}{Y} \right| \right] \times 100\% \dots\dots\dots (3.6)$$

Dengan:

Y = Nilai parameter referensi;

X<sub>n</sub> = Nilai parameter terukur ke-n.

### 3.4 Rancangan Data Hasil Pengukuran

Pengujian awal yang dilakukan adalah mengukur tingkat kemanisan buah jeruk dengan menggunakan kapasitor semi silinder. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat manis buah jeruk berdasarkan perubahan nilai dielektrik.

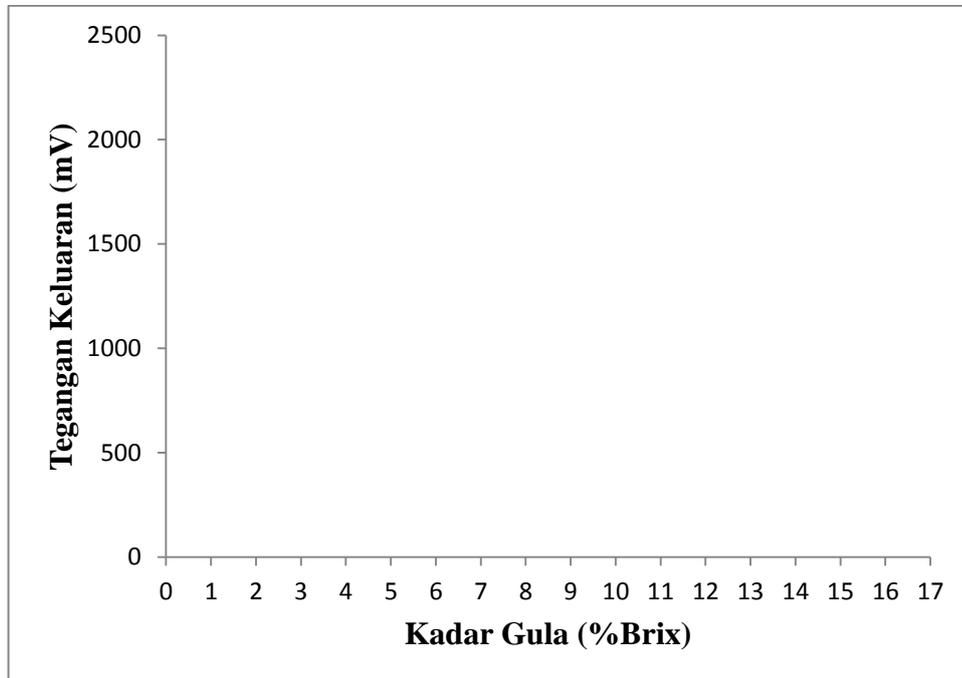
**Tabel 3.1** berikut adalah tabel pengujian tingkat manis buah jeruk menggunakan kapasitor semi silinder.

**Tabel 3. 1** Rancangan data pengukuran kapasitor semi silinder

Buah ke-	Kadar Gula (%Brix)	Tingkat Manis	Tegangan Keluaran		
			10 kHz	100 kHz	1 MHz
0					
1					
2					
3					
4					
...					

Pengujian selanjutnya adalah melakukan pengujian tingkat manis buah jeruk menggunakan *pocket refractometer Otago PAL-α*.. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat manis buah yang *real*. Data hasil pengukuran tersebut ditampilkan juga pada **Tabel 3.1**. Kemudian data hasil pengukuran baik yang diperoleh dari kapasitor semi silinder maupun pengukuran menggunakan refraktometer dimasukkan ke dalam sebuah grafik sehingga nantinya dapat diketahui hubungan antara tegangan keluaran terhadap kadar gula yang

terkandung di dalam jeruk. Grafik tersebut ditunjukkan oleh **Gambar 3.7** berikut ini.



**Gambar 3. 7** Grafik hubungan tegangan terhadap kadar gula pada buah jeruk

**Gambar 3.7** ditunjukkan untuk mengetahui apakah kapasitor semi silinder dapat mengukur tingkat manis buah jeruk dengan baik atau tidak. Selain itu, **Gambar 3.7** juga digunakan untuk menunjukkan frekuensi terbaik yang dapat digunakan untuk melakukan pengukuran buah jeruk secara optimal.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran tegangan keluaran yang diperoleh dari kapasitor semi silinder dengan buah jeruk sebagai bahan dielektrik dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Sensor tingkat manis buah jeruk dapat dibuat menggunakan kapasitor semi silinder.
2. Hubungan antara tingkat manis buah jeruk BW dan tegangan keluaran rangkaian pengkondisi sinyal kapasitor semi silinder adalah linear. Hubungan tersebut memenuhi persamaan  $y = -625,26x + 10558$  dan koefisien korelasi sebesar 0,9679%.
3. Alat ukur tingkat manis buah jeruk tanpa merusak buah dapat dibuat menggunakan sensor kapasitor semi silinder berbasis Arduino. Pada pengujian alat diperoleh nilai *error* rata-rata sebesar 0,004% dan nilai akurasi alat sebesar 99,6%.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Dalam perancangan kapasitor sebagai sensor, disarankan untuk memperhatikan ukuran diameter pada kapasitor semi silinder agar pengukuran lebih optimal.
2. Disarankan membuat sensor kapasitor semi silinder yang bersifat fleksibel agar diameter sensor dapat disesuaikan dengan diameter jeruk yang beragam.
3. Disarankan untuk melakukan penelitian mengukur tingkat manis buah jeruk dengan metode *four point prob* agar pengukuran tidak terhambat oleh diameter jeruk.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahyadi. (2018). *Belajar Antarmuka Arduino Secara Cepat*. Banjarmasin: Poliban Press.
- Andaru. (2022). *Refraktometer-Pengertian, Fungsi dan Cara Menggunakan*. <https://andarupm.co.id/refraktometer-lab/>. Diakses pada tanggal 10 Maret 2022, pukul 10.00 WIB.
- Anpat, S. M., Khirade, P. W., Sayyed, S. B. (2015). Design Development of a Dielectric Spectroscopy Sensor For Liquids Using Microcontroller Based System. *Bionano Frontier*, 8, 361-364.
- Ardianto, D, A., Sunardi., Utomo, L. (2020). Pengembangan Alat Uji Kematangan Jeruk Pamelos Dengan Metode Impedansi. *EPIC (Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control)*, 3, 18-27.
- Bahrin. (2017). Sistem Kontrol Penerangan Menggunakan Arduino Uno pada Universitas Ichsan Gorontalo. *Jurnal Ilmiah*, 9, 282-289.
- Balittanah. (2022). *Manis Asamnya BW Lampung Tak Luput Andilnya Jeranti*. <https://balittanah.litbang.pertanian.go.id/ind/index.php/berita/1526-manis-asamnya-bw-lampung-tak-luput-andilnya-jeranti.html>. Diakses pada tanggal 20 Maret 2022, pukul 23.50 WIB.
- Baxter, L., K. (2011). *Capacitive Sensors Design an Aplication*. New York: IEEE Press.
- Budiarso, Z., Hadikurniawati, W., Prihandono, W. (2014). Rekayasa Sistem Kendali Generator Sinyal XR-2206 Berbasis Arduino Uno R3. *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK*, 9, 101-111.

- Cahyono, S., A. (2017). Model Osilator Wien dengan Pembatas Amplitudo Menggunakan Lampu Tungsten. *Jurnal Ilmiah Matematika*, 3, 100-110.
- Coughlin. (2001). *Operational Amplifiers dan Linear Integrated Circuits*. New Jersey: Dave Garza.
- Das, S., Sarkar, T., S and Chakraborty, B. (2014). A Semi-Cylindrical Capacitive Sensor Used For Soil Moisture Measurement, World Academy of Science, Engineering and Technology. *International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic, and Communication Engineering*, 8, 160-165.
- Dewi, K, N, K., Utama, I, M, S. (2020). Pengaruh Pembrian Uap Etanol Terhadap Mutu dan Masa Simpan Buah Jeruk Siam (*Citrus nobilis* Lour var. *Microcarpa*). *Jurnal BETA*, 8, 10-17.
- Dyah. (2007). *Bercocok Tanam Jeruk*. Jakarta: Azka Press.
- Flore. (2021). *Operational Amplifiers & Linear Integratd Circuit: Theory and Application*. Utica: Mohawk Valley Community College.
- Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (2012). *Dasar-Dasar Fisika Versi Diperluas*. Tangerang: Binarupa Aksara.
- Hardani. (2022). *Buku Ajar Farmasi Fisika*. Yogyakarta: Samudra Biru.
- Hayt, W, H., Kemmerly, J, E., Durbin, S, M. (2005). *Rangkaian Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- Hidayat, T., Ivanti, L., Mikasari, V. (2018). Pengaruh Konsentrasi Edible Coating Sarang Lebah Terhadap Susut Bobot, Tekstur, dan TPT Jeruk RGL Selama Penyimpanan. *Jurnal Agritepa*, 5, 1-18.
- Huang, J. (2020). Research on a Sweetness Measuring Instrument. *Earth and Environment Science*, 10, 1-6.
- Itakura, K., Saiton, Y., Suzuki, T., Kondo, N., Hosoi, F. (2019). Estimation of Citrus Maturity with Fluorescence Spectroscopy Using Deep Learning. *Horticulture*, 12, 92-99.

- Jati, B, M, E., Priyambodo, T, K. (2010). *Fisika Dasar*. Yogyakarta: ANDI.
- Kader, A. (2006). *Jeruk*. <http://postharvest.ucdavis.edu.sht ml>. Diakses pada tanggal 20 Januari 2022, pukul 10 WIB.
- Kurniawan, E. (2015). Perancangan Sistem Sorting Buah Jeruk Manis Berbasis Perbedaan Warna Kulit Buah. *Jurnal Teknik Industri HEURISTIC*, 12, 92-99.
- Ling, S, J., Sanny, J., Moebs, W. (2016). *University Physics Volume 2*. Texas: Openstax.
- Misto, A., Mulyono, T., A. (2016). Sistem Pengukuran Kadar Gula dalam Cairan menggunakan Sensor Fotodiode Terkomputerisasi. *Jurnal Ilmu Dasar*, 17, 13-18.
- Naisa, A, P. (2019). Karakterisasi Kapasitor Semi Silinder Sebagai Sensor Tingkat Kemanisan Buah Jeruk. *Skripsi*. Lampung: Universitas Lampung.
- Novestiana, T, R., Hidayanto, E. (2015). Penentuan Indeks Bias dari Konsentrasi Sukrosa (CH<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>) Pada Sari Buah Menggunakan Portable Brix Meter. *Youngst Physical Journal*, 4, 173-180.
- Paloboran, M. (2022). *Konsep Dasar Ilmu Listrik dan Aplikasinya*. Surabaya: Scopindo Media Pustaka.
- Petruzella. (1996). *Industrial Electronics*. Singapore: McGraw-Hill.
- Pindra, W., Suryadi, D., Hiendro, A. (2020). Analisis DC Line Filter pada Catu Daya. *Jurnal Prodi Teknik Elektro*, 1, 1-7.
- Priyambodo, T, K., Jati, B, M, E. (2009). *Fisika Dasar*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Redzwan, S., Perez, M, D., Velandar, J., Augustine, R. (2018). Study of Maturity Fruit Assessment using Permittivity and Microwave Reflectivity Measurements for Quality Classification. *Solid State Electronic*, 1, 1-3.
- Ruslan, R., Ehsani, R., Lee, W, S. (2012). Quantification Of Total Soluble Solids And Titratable acidity For Quality Classification. *Applied Engineering in Agriculture*, 28, 735-743.

- Setiawan, H., Soediby, D, W., Purbasari, D. (2019). Kajian Sifat Fisik Dan Kimia Jeruk Siam (*Citrus nobilis* var. *microcarpa*) Semboro Berdasarkan Umur Simpan Menggunakan Pengolahan Citra Digital. *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, 23, 68-74.
- Setiawardhana. (2019). *Belajar Cepat Arduino*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Siagian, W. (2020). Analisi Prinsip Kerja Proses Charge Dan Discharge Pada Capacitor Dengan Rangkaian RC. *Jurnal Ilmu Simantek*, 4, 44-53.
- Simbolon. (2010). Pengaruh Konsentrasi Emulsi Lilin dan Lama Penyimpanan Terhadap Mutu Buah Jeruk Manis (*Citrus Sinensis*, Linn). *Skripsi*. Sumatera Utara: Universitas Sumatera Utara.
- Sitohang, E, P., Mamahit, D, J., Tulung, N, S. (2018). Rancang Bangun catu Daya DC Menggunakan Mikrokontroler ATmega 8535. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 7, 135-142.
- Suhandy, D. (2010). Penentuan Kandungan Padatan Terlarut Buah Jeruk BW Secara Tidak Merusak Menggunakan Near Infrared Spectroscopy. *AGRITECH*, 4, 32-37.
- Sunardi, J. (2006). Rancang Bangun Generator Fungsi Berbasis XR-2206. *Jurnal Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir*, 1, 265-274.
- USA, A. (1969). *Brix Readings, and What They Tell Us*. [http://www.ag-usa.net/brix\\_test\\_meaning.htm](http://www.ag-usa.net/brix_test_meaning.htm). Diakses pada tanggal 25 Mei 2022, pukul 08.59 WIB.
- Warasi, Y., M. (2022). *Apa Itu Brix Dalam Analisa Derajat Gula*. <https://cairofood.id/apa-itu-brix-analisa-derajat-gula/?amp>. Diakses pada tanggal 25 Mei 2022, pukul 08.24 WIB.
- Young, H, D., Freedman, R, A. (2003). *Fisika Universitas*. Jakarta: Erlangga.
- Zuhal, P. (2004). *Prinsip dasar Elektronika*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.