

**SISTEM INSTRUMENTASI *DATA LOGGER* PARAMETER ELEKTRIK
SEL ELEKTROKIMIA SECARA OTOMATIS BERBASIS
ARDUINO DAN BORLAND DELPHI 7**

(Skripsi)

Oleh

RIMA MEI HANDAYANI



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

ABSTRAK

SISTEM INSTRUMENTASI *DATA LOGGER* PARAMETER ELEKTRIK SEL ELEKTROKIMIA SECARA OTOMATIS BERBASIS ARDUINO DAN BORLAND DELPHI 7

Oleh

RIMA MEI HANDAYANI

Penelitian mengenai sel elektrokimia banyak dikembangkan dalam beberapa tahun terakhir. Namun, dalam proses penelitian sel elektrokimia masih memiliki kendala dalam pengukuran parameter yang dihasilkan. Pada penelitian ini telah direalisasikan sistem instrumentasi *data logger* parameter elektrik sel elektrokimia secara otomatis berbasis Arduino dan Borland Delphi 7. Sistem ini bertujuan untuk mendeteksi parameter sel elektrokimia seperti tegangan, arus dan iluminasi menggunakan sensor INA219 dan BH1750. Mekanisme pengambilan data penelitian ini yaitu sistem diaplikasikan dengan sel elektrokimia air laut menggunakan elektroda Cu(Ag)-Zn. Hasil penelitian menunjukkan sistem dapat mendeteksi parameter, menyimpan data parameter pada kartu memori, menampilkan data parameter pada LCD dan *user interface* Borland Delphi 7 secara *real-time*. Sensor pada sistem ini mampu mendeteksi tegangan, arus dan iluminasi dengan akurasi masing-masing parameter sebesar 99,73%, 95,85% dan 98,31%.

Kata kunci: Arduino, INA219, BH1750, Borland Delphi 7

ABSTRACT

**DATA LOGGING INSTRUMENTATION SYSTEM FOR
ELECTROCHEMICAL CELL PARAMETERS USING
ARDUINO AND BORLAND DELPHI 7**

By

RIMA MEI HANDAYANI

The research about electrochemical cell had been developed. However, there is a problem regarding the output measurement on it. In this paper, we propose data logging instrumentation system for electrochemical cell parameters using Arduino and Borland Delphi 7. It aims to detect electrochemical cell parameters such as voltage, current and illuminance in real-time using INA219 and BH1750 module. The system is applied in the electrochemical cell using Cu(Ag)-Zn as electrode and seawater as electrolyte. The results show that the system can detect parameters, save parameters onto Micro SD Card, display parameters onto LCD (Liquid Crystal Diode) and user interface Borland Delphi 7. It was able to sense voltage, current and illuminance with accuracy 99,73%, 95,85% and 98,31%, respectively.

Keywords: Arduino, INA219, BH1750, Borland Delphi 7

**SISTEM INSTRUMENTASI *DATA LOGGER* PARAMETER ELEKTRIK
SEL ELEKTROKIMIA SECARA OTOMATIS BERBASIS
ARDUINO DAN BORLAND DELPHI 7**

Oleh

RIMA MEI HANDAYANI

Skripsi

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

Pada

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



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

Judul Skripsi : **SISTEM INSTRUMENTASI DATA
LOGGER PARAMETER ELEKTRIK SEL
ELEKTROKIMIA SECARA OTOMATIS
BERBASIS ARDUINO DAN BORLAND
DELPHI 7**

Nama Mahasiswa : *Rima Mei Handayani*

Nomor Pokok Mahasiswa : 1517041125

Jurusan : Fisika

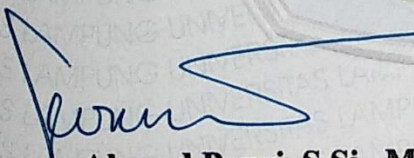
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

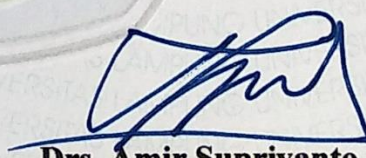
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

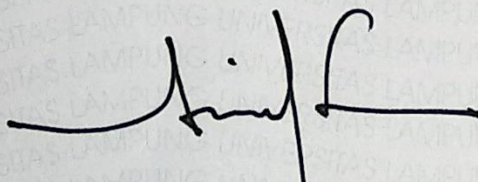
Pembimbing I

Pembimbing II


Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 19801010 200501 1 002


Drs. Amir Supriyanto, M.Si.
NIP. 19650407 199111 1 001

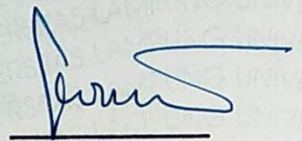
Ketua Jurusan Fisika FMIPA


Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 19710909 200012 1 001

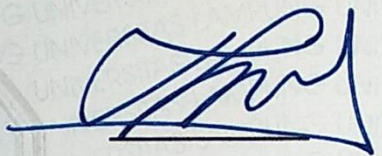
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

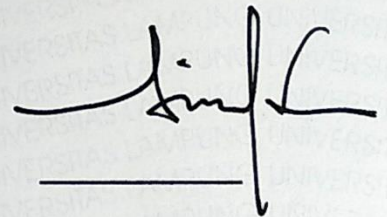
Ketua : **Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**



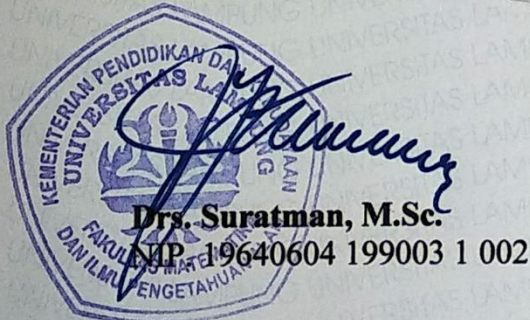
Sekretaris : **Drs. Amir Supriyanto, M.Si.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Drs. Suratman, M.Sc.
NIP. 19640604 199003 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 18 Desember 2019

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.

Bandar Lampung, 20 Desember 2019



Rima Mei Handayani
NPM. 1517041125

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung pada 11 Mei 1998 sebagai anak pertama dari tiga bersaudara pasangan Bapak Syahrul dan Ibu Arsih. Penulis memulai pendidikan di Taman Kanak-Kanak Setia Kawan

Panjang tahun 2003-2004 kemudian melanjutkan pendidikan di SD Negeri 2 Way Lunik tahun 2004-2009. Penulis menempuh pendidikan sekolah menengah di MTs Negeri 1 Bandar Lampung tahun 2009-2012 kemudian melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 6 Bandar Lampung pada tahun 2012-2015. Selama menempuh pendidikan sekolah menengah atas, penulis aktif mengikuti kegiatan PMR (Palang Merah Remaja) dan Pramuka.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) pada tahun 2015. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif sebagai pengurus organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi) bidang kominfo pada tahun 2015 dan 2017 serta bidang kaderisasi pada tahun 2016. Selain itu, penulis aktif dalam berbagai kepanitian kegiatan Himafi dan pernah menjadi asisten praktikum Fisika Dasar, Elektronika Dasar, Fisika Komputasi, Elektronika Digital, Sistem Pengaturan dan Pengolahan Citra. Penulis menempuh kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di

Badan Metereologi Klimatologi dan Geofisika Jakarta pada awal tahun 2018. Dalam bidang kepenulisan ilmiah, penulis memiliki pengalaman menulis laporan PKL dengan judul “Analisis Karakter *Digital Portable Seismograph* TDL-303S”.

MOTTO

"TO REACH YOU"

Time Waits For No One

All tasks are easy if you do it

"Hai orang-orang beriman, bersabarlah kamu dan kuatkanlah kesabaranmu dan tetaplah bersiap siaga (di perbatasan negerimu) dan bertakwalah kepada Allah supaya kamu beruntung" QS. Ali Imran: 200

PERSEMBAHAN



**Dengan Mengharapkan Ridho Allah SWT dan Syafaat Nabi
Muhammad SAW**

Karya ini kupersembahkan kepada Bapak dan Ibu Tercinta
Syahrul & Arsih

atas Do'a yang tidak pernah putus serta segala upaya untuk memberikanku
yang terbaik.

Tak lupa untuk kedua Adikku tersayang
Afifah Aulia Rahma & Asa Fatimah Azzahra

Almamaterku
UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullah Wabarokatuh.

Puji syukur penulis haturkan atas karunia Allah SWT, karena atas berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Sistem Instrumentasi Data Logger Parameter Elektrik Sel Elektrokimia Secara Otomatis Berbasis Arduino Dan Borland Delphi 7**”. Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan kekurangan tersebut. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menjadi literatur serta rujukan bagi penelitian-penelitian berikutnya.

Wassalamualaikum Warahmatullah Wabarokatuh

Bandar Lampung, Desember 2019

Penulis

Rima Mei Handayani

SANWACANA

Puji syukur atas karunia Allah SWT, karena atas berkat karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul **“Sistem Instrumentasi Data Logger Parameter Elektrik Sel Elektrokimia Secara Otomatis Berbasis Arduino Dan Borland Delphi 7”** sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung. Selama menyelesaikan skripsi ini, penulis telah menerima banyak bantuan secara langsung maupun tidak langsung. Dengan segala kerendahan hati, penulis menghaturkan terimakasih kepada:

1. Bapak dan Ibu, atas doa dan usaha yang tidak pernah lelah hingga penulis mampu menyelesaikan pendidikan di Universitas Lampung;
2. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si. M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan sarannya selama proses penelitian dan penulisan skripsi;
3. Bapak Drs. Amir Supriyanto, M.Si. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, bantuan, dan masukannya selama proses penelitian dan penulisan skripsi;
4. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika dan Dosen Pembahas yang telah memberikan saran yang telah diberikan untuk penulisan skripsi ini agar lebih baik lagi;

5. Bapak Prof. Warsito, S.Si., D.E.A, Ph. D. dan Ibu Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan sarannya;
6. Bapak Drs. Suratman, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam;
7. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Fisika atas ilmu yang telah diberikan selama penulis menempuh bangku perkuliahan;
8. Kedua adikku beserta keluarga besarku yang selalu menghibur dan memberi motivasi untukku;
9. Teman-teman Instrumen, Tim air laut, Tomi, Ferli, Badrus, Kak Doni, Kak Fenk Law, Mbak Ketrin, Mbak Latifa dan Yaya, terima kasih karena sudah mau direpotkan oleh penulis.
10. Sahabat-sahabat, Mbak Ay, Dwi, Yuli, Yulinda, Rara dan Ayu yang telah meluangkan banyak waktunya untuk memberi dukungan dan bantuan;
11. Seluruh teman-teman Fisika 2015, terima kasih atas dukungannya sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini.

Serta berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Semoga Allah SWT memberikan imbalan berlipat dan memudahkan langkah semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Bandar Lampung, Desember 2019

Penulis

Rima Mei Handayani

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
HALAMAN PERNYATAAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN.....	x
KATA PENGANTAR.....	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
 I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1	Penelitian Terkait	
2.1.1.	Sistem <i>Data Logger</i> dan <i>Monitoring</i>	5
2.1.2.	Karakteristik Kelistrikan Sel Elektrokimia	7
2.2	Dasar Teori	
2.2.1	Besaran Listrik	8
2.2.2	Cahaya	10
2.2.3	Arduino.....	12
2.2.4	Sensor INA 219	15
2.2.5	Modul RTC (<i>Real Time Clock</i>) DS3231	17
2.2.6	LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>).....	18
2.2.7	Sensor Iluminasi Cahaya BH1750	18
2.2.8	Relay.....	20
2.2.9	Bahasa Pemrograman Borland Delphi 7	21
2.2.10	Sistem Penyimpanan Data	22

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	24
3.2	Alat dan Bahan	
3.2.1	Alat	24
3.2.2	Bahan.....	25
3.3	Prosedur Penelitian	
3.3.1	Perancangan Sistem.....	27
3.3.2	Pengujian Sistem	32
3.3.3	Pengambilan Data.....	34

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Implementasi Perancangan Sistem	
4.1.1	Pengujian LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>).....	39
4.1.2	Pengujian RTC DS3231	40
4.1.3	Pengujian Relay 2 <i>Channel</i>	41
4.1.4	Pengujian Penyimpanan Data	42
4.1.5	Sensor BH1750	43
4.1.6	Sensor INA129.....	47
4.1.7	<i>User Interface</i> (UI).....	56
4.2	Pengambilan Data dan Analisis Sistem Secara Keseluruhan	59

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran	65

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Konfigurasi <i>micro SD card</i>	23
Tabel 3.1 Data pengujian iluminasi cahaya	32
Tabel 3.2 Data pengujian tegangan (V).....	33
Tabel 3.3 Data pengujian arus (<i>I</i>).....	33
Tabel 3.4 Hasil pengukuran tegangan tanpa beban (<i>V_{bl}</i>)	35
Tabel 3.5 Hasil pengukuran tegangan dengan beban (<i>V_b</i>), arus (<i>I</i>) dan iluminasi cahaya	35
Tabel 4.1 Hasil pengujian persamaan linearitas iluminasi pada sensor BH1750	46
Tabel 4.2 Hasil pengujian persamaan linearitas tegangan pada sensor INA219.....	51
Tabel 4.3 Hasil pengujian persamaan linearitas arus pada sensor INA219	54

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Hubungan iluminasi cahaya, fluks cahaya, luminasi dan iluminasi (Dalton, 2015)	12
Gambar 2.2 Lembar kerja Arduino IDE (Syahwil, 2013).....	13
Gambar 2.3 <i>Board</i> Arduino Nano (The Engineering Projects, 2018)	15
Gambar 2.4 Skematika INA219 (Texas Instruments, 2015).....	16
Gambar 2.5 Sensor INA219 (Texas Instruments, 2015).....	16
Gambar 2.6 <i>Real time clock</i> DS3231 (Pieters, 2015).....	17
Gambar 2.7 LCD dan modul I2C IC PCF8574T (Mantech Electronics, 2017)....	18
Gambar 2.8 Konfigurasi sensor BH1750 (Rohm Semiconductor, 2015)	19
Gambar 2.9 Sensor BH1750 (Rohm Semiconductor, 2015).....	19
Gambar 2.10 Prinsip kerja relay (El, 2018)	20
Gambar 2.11 Relay 2 <i>channel</i>	21
Gambar 2.12 Struktur dasar bahasa pemrograman	21
Gambar 2.13 Modul <i>SD card</i> (Mybotic, 2018).....	22
Gambar 2.14 <i>Micro SD card</i> (Samsung, 2013).....	22
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	26
Gambar 3.2 Diagram blok.....	27
Gambar 3.3 Skematik rangkaian	28
Gambar 3.4 Diagram alir rancangan program pengendali	30

Gambar 3.5	Diagram alir perancangan aplikasi <i>interfacing</i>	31
Gambar 3.6	Ilustrasi proses pengambilan data	35
Gambar 3.7	Grafik tegangan tanpa beban terhadap waktu	36
Gambar 3.8	Grafik iluminasi terhadap waktu	36
Gambar 3.9	Grafik tegangan dengan beban terhadap waktu	37
Gambar 3.10	Grafik arus terhadap waktu	37
Gambar 4.1	Realisasi alat.....	38
Gambar 4.2	<i>Serial input</i> pada <i>serial monitor</i>	39
Gambar 4.3	Tampilan <i>data serial input</i> pada LCD.....	39
Gambar 4.4	Hasil pengujian RTC DS3231.....	40
Gambar 4.5	Hasil pengujian relay 2 <i>channel</i> (a) kondisi relay IN1 <i>high</i> IN2 <i>low</i> (b) kondisi relay IN1 <i>low</i> IN2 <i>high</i> (c) kondisi relay IN1 <i>low</i> IN2 <i>low</i> (d) kondisi relay IN1 <i>high</i> IN2 <i>high</i>	41
Gambar 4.6	Hasil pengujian sistem penyimpanan data	42
Gambar 4.7	Pengujian iluminasi sensor BH1750	44
Gambar 4.8	Grafik pengujian iluminasi sensor BH1750 terhadap <i>digital</i> <i>light meter</i> TASI-8721	45
Gambar 4.9	Grafik pengujian persamaan linearitas iluminasi sensor BH1750 terhadap <i>digital light meter</i> TASI-8721	48
Gambar 4.10	Pengujian tegangan sensor INA219	49
Gambar 4.11	Grafik pengujian tegangan sensor INA129 terhadap <i>digital</i> multimeter Helex UX-866TR	50
Gambar 4.12	Grafik pengujian persamaan linearitas tegangan sensor INA129 terhadap <i>digital</i> multimeter Helex UX-866TR	51
Gambar 4.13	Proses pengujian arus sensor INA219.....	52
Gambar 4.14	Grafik pengujian arus sensor INA129 terhadap <i>digital</i> multimeter Helex UX-866TR	53

Gambar 4.15 Grafik pengujian persamaan linearitas arus sensor INA129 terhadap <i>digital</i> multimeter Helex UX-866TR	55
Gambar 4.16 Tampilan menu <i>Home</i>	56
Gambar 4.17 Tampilan menu <i>Monitoring</i>	57
Gambar 4.18 Tampilan pilih <i>port</i> pada menu <i>Monitoring</i>	58
Gambar 4.19 Pembacaan data sensor pada menu <i>Monitoring</i>	58
Gambar 4.20 Realisasi sistem secara keseluruhan	59
Gambar 4.21 Tampilan parameter sel elektrokimia pada LCD	60
Gambar 4.22 Grafik parameter tanpa beban pada aplikasi <i>interface</i>	61
Gambar 4.23 Grafik parameter dengan beban pada aplikasi <i>interface</i>	61
Gambar 4.24 Hasil pengukuran parameter tanpa beban	62
Gambar 4.25 Hasil pengukuran parameter dengan beban	62
Gambar 4.26 Grafik tegangan tanpa beban terhadap waktu	63
Gambar 4.27 Grafik tegangan dengan beban terhadap waktu	63
Gambar 4.28 Grafik arus terhadap waktu	64
Gambar 4.29 Grafik iluminasi terhadap waktu	64

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik yang meningkat dan terbatasnya bahan bakar fosil mendorong pengembangan sumber energi alternatif terbarukan (Larcher dan Tarascon, 2015). Sumber energi alternatif terbarukan merupakan sumber energi yang diperoleh dari proses alam berkelanjutan (Twidell dan Weir, 2015). Salah satu sumber energi alternatif terbarukan yang memiliki potensi untuk dikembangkan saat ini ialah air laut. Air laut dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik melalui reaksi reduksi-oksidasi (redoks) dalam sel elektrokimia (Kamalia, 2019). Penggunaan air laut dalam sel elektrokimia dinilai memiliki banyak kelebihan. Hal ini dikarenakan jumlah air laut yang tak terbatas, mudah diperoleh, biayanya murah, teknologinya sederhana dan tidak menghasilkan limbah yang membahayakan lingkungan (Mourant, 2016; Park *et al.*, 2016). Namun, penggunaan air laut dalam sel elektrokimia juga masih memiliki kelemahan yakni rendahnya daya keluaran yang dihasilkan (Susanto *et al.*, 2018).

Penelitian sel elektrokimia air laut dalam beberapa tahun terakhir berfokus menemukan metode yang terbaik dalam menghasilkan daya keluaran yang besar. Namun, dalam proses penelitian sel elektrokimia air laut masih memiliki kendala terutama dalam pengukuran parameter yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena pengukuran dilakukan secara terpisah dan belum adanya alat ukur yang terintegrasi

dalam sebuah modul. Pada penelitian Rizki (2019), pengukuran parameter sel elektrokimia dilakukan selama 72 jam dengan selang waktu 1 jam. Parameter sel elektrokimia air laut yang diukur meliputi tegangan saat beban dilepas (V_{bl}), tegangan dengan beban (V_b), arus (I) dan iluminasi cahaya. Pengambilan data dalam penelitian tersebut dilakukan menggunakan multimeter dan lux meter. Hal ini cukup membebani penelitian karena pengukuran tersebut dilakukan secara manual dengan rentang waktu yang lama. Oleh karena itu, untuk mengatasi hal tersebut dibutuhkan suatu alat yang dapat memantau dan merekam parameter sel elektrokimia air laut secara *real-time*.

Penelitian mengenai pemantauan iluminasi cahaya telah dilakukan oleh Pamungkas *et al.* (2017). Pada penelitian tersebut dibangun alat pengukur iluminasi cahaya menggunakan sensor BH1750, LCD sebagai *display* data dan mikrokontroler sebagai pengendali utama. Penelitian serupa juga telah dilakukan oleh Tricahyono dan Kholis (2016) mengenai *monitoring* tegangan, arus, daya dan iluminasi cahaya pada panel surya. Sistem tersebut mengaplikasikan Arduino sebagai pengendali utama dengan *display* data menggunakan IoT (*Internet of Things*). Sementara itu, sensor yang digunakan meliputi sensor BH1750 untuk mengukur iluminasi cahaya yang masuk ke panel surya dan sensor INA219 untuk mengukur tegangan, arus dan daya yang dihasilkan panel surya. Sistem ini mampu bekerja dengan baik tetapi belum bisa menyimpan data parameter *monitoring*.

Berdasarkan pemaparan hasil penelitian tersebut maka pada penelitian ini dibangun suatu sistem instrumentasi *data logger* parameter elektrik sel elektrokimia secara otomatis. Rancangan sistem yang dibangun meliputi pembuatan perangkat lunak

dan perangkat keras. Perangkat lunak sistem instrumentasi *data logger* parameter elektrik sel elektrokimia yang digunakan meliputi Arduino IDE dan Borland Delphi 7. Sementara itu, komponen yang digunakan perangkat keras meliputi Arduino sebagai sistem pengendali, *relay* sebagai pengotomatisasi pengukuran, sensor INA219 sebagai pendeteksi tegangan dan arus, sensor BH1750 sebagai pendeteksi iluminasi cahaya, LCD sebagai penampil data dan *micro SD Card Adapter* sebagai modul penyimpanan data.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang mendasari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana merancang dan membuat suatu sistem instrumentasi *data logger* tegangan saat beban dilepas (V_{bl}), tegangan dengan beban (V_b), arus (I) dan iluminasi cahaya pada sel elektrokimia air laut?
2. Bagaimana membuat aplikasi antarmuka antara sistem instrumentasi *data logger* parameter sel elektrokimia dengan PC menggunakan *software* Borland Delphi 7?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, tujuan yang mendasari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Merancang dan membuat suatu sistem monitoring tegangan saat beban dilepas (V_{bl}), tegangan dengan beban (V_b), arus (I) dan iluminasi cahaya pada sel elektrokimia air laut;

2. Membuat aplikasi antarmuka antara sistem instrumentasi *data logger* parameter sel elektrokimia dengan PC menggunakan *software* Borland Delphi 7.
3. Mengetahui *error* hasil pengukuran dari sistem instrumentasi *data logger* parameter elektrik sel elektrokimia dengan melakukan perbandingan dengan alat yang terkalibrasi;

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memudahkan pengukuran dan perekaman data yang memerlukan waktu pengamatan panjang khususnya pada penelitian sel elektrokimia;
2. Memberikan suatu referensi yang berguna bagi dunia akademis khususnya dalam penelitian sistem instrumentasi *data logger* tegangan, arus dan iluminasi cahaya.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pengambilan data sistem secara keseluruhan dilakukan pada 20 sel elektrokimia air laut Cu(Ag)-Zn;
2. Modul penyimpanan data yang digunakan ialah *Micro SD Card Adapter*;
3. *Software interface* (antarmuka) yang digunakan pada penelitian ialah Borland Delphi 7;
4. Alat ukur terkalibrasi yang digunakan pada kalibrasi sensor dan pengujian sensor ialah multimeter Heles UX-866 dan *digital light meter* TASI-8721.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

2.1.1 Sistem Data Logger dan Monitoring

Penelitian mengenai *monitoring* tegangan dan arus telah dilakukan sebelumnya oleh Fachri *et al.* (2015). Pada penelitian tersebut dibangun suatu sistem *monitoring* tegangan dan arus pada panel surya berbasis Arduino dan PLX-DAQ. Sensor yang digunakan ialah sensor tegangan dan sensor arus ACS712. Mekanisme pengukuran yang dilakukan yakni sensor arus ACS712 dan sensor tegangan yang telah terintegrasi dengan Arduino diletakkan pada *output* panel surya yang juga terhubung dengan beban. Data yang diperoleh Arduino kemudian diolah dan ditampilkan dalam bentuk grafik pada Microsoft excel yang terintegrasi dengan program PLX-DAQ. Hasil penelitian tersebut menunjukkan sensor arus ACS712 dan sensor tegangan memiliki galat sebesar 0,42% dan 2,12%.

Fitriandi *et al.* (2016) merancang alat *monitoring* arus dan tegangan berbasis mikrokontroler dengan SMS *gateway* pada jaringan hibrid pembangkit listrik tenaga mikrohidro dan pembangkit listrik tenaga surya. Sistem ini mengaplikasikan sensor arus ACS712 dan sensor tegangan yang kemudian diintegrasikan ke mikrokontroler (Arduino Uno) agar parameter fisis dapat terbaca secara digital. Selain itu, pada penelitian tersebut dilengkapi *data logger* sebagai media

penyimpanan data, LCD sebagai media penampil data dan Arduino GSM *shield* sebagai media pengiriman data melalui SMS (*Short Message Service*). Sehingga ketika data telah diolah oleh Arduino Uno menjadi digital maka *output* data akan disimpan di *data logger*, ditampilkan pada layar LCD dan dikirimkan pada *user* melalui SMS. Di samping itu, penelitian tentang *monitoring* iluminasi cahaya juga telah dilakukan Maulana *et al.* (2016). Pada penelitian tersebut, iluminasi cahaya suatu ruangan dideteksi menggunakan sensor BH1750 yang telah terintegrasi dengan arduino. Kemudian data yang diperoleh dari sensor diolah dan ditampilkan pada LCD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor BH1750 memiliki *error* pembacaan sebesar 1% jika dibandingkan dengan alat ukur *light meter* Krisbow KW-06-291.

Penelitian mengenai sistem *data logger* telah dilakukan oleh Muhyadi (2018). Pada penelitian tersebut dibangun suatu sistem *data logger resistivity* meter digital berbasis Arduino Mega 2560. *Resistivity* meter merupakan alat yang digunakan untuk mengukur arus listrik melalui *probe* yang ditancapkan di tanah. Pada rancang bangun tersebut, sistem terdiri dari sensor INA219, sensor tegangan dan dilengkapi dengan *micro SD Card Adapter* sebagai modul media penyimpanan data. Hasil penelitian tersebut menunjukkan jika *error* pembacaan arus sensor INA219 sebesar 2,06% dan *error* sensor tegangan sebesar 1,94%. *Data logger* dari rancang bangun sistem *resistivity* tersebut juga mampu merekam data secara terus-menerus selama 11,5 jam dengan selang waktu 3 menit.

2.1.2 Karakteristik Kelistrikan Sel Elektrokimia

Sel elektrokimia merupakan bagian dari ilmu kimia yang mempelajari hubungan antara reaksi kimia dengan arus listrik. Sel elektrokimia terdiri dari tiga komponen yaitu anoda, katoda dan elektrolit. Anoda adalah elektroda tempat berlangsungnya reaksi oksidasi sedangkan elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam dari sebuah sirkuit. Anoda merupakan logam penghantar listrik, pada sel elektrokimia anoda akan terpolarisasi jika arus listrik mengalir ke dalamnya. Sementara itu, katoda merupakan elektroda yang terpolarisasi jika arus listrik mengalir ke luar darinya. Arus listrik yang dihasilkan pada sel elektrokimia ini ialah arus listrik searah (*direct current*) (Riyanto, 2013).

Suciyati *et al.* (2018) telah melakukan penelitian mengenai karakterisasi kelistrikan air payau dan air sungai sebagai bahan elektrolit. Pada penelitian tersebut digunakan konsep elektrokimia sel volta dengan membuat 20 sel elektrokimia yang disusun secara seri. Elektroda yang digunakan pada penelitian tersebut adalah Cu-Zn sedangkan elektrolit yang digunakan adalah air payau dan air sungai. Hasil karakteristik kelistrikan sel elektrokimia pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa nilai tegangan saat beban dilepas (V_{bl}) tertinggi sebesar 12,3 V, nilai tegangan dengan beban (V_b) tertinggi sebesar 7,2 V, arus (I) tertinggi yang terukur sebesar 0,32 mA dan iluminasi cahaya tertinggi yang dipancarkan beban sebesar 121 lux.

Susanto *et al.* (2018) juga telah melakukan penelitian mengenai sel elektrokimia air laut. Elektroda yang digunakan dalam penelitian tersebut ialah Cu-Zn dengan

elektrolit air laut. Hasil karakteristik kelistrikan sel elektrokimia pada penelitian tersebut menunjukkan 1 sel elektrokimia air laut tanpa beban menghasilkan tegangan sebesar 0,88 V dan arus 110 mA. Penelitian serupa juga telah dilakukan oleh Aristian (2016) dengan membuat 40 sel elektrokimia yang dirangkai secara seri. Elektroda yang digunakan dalam penelitian tersebut ialah Cu-Zn dengan elektrolit air laut. Hasil pada penelitian tersebut menunjukkan nilai tegangan saat beban dilepas (V_{bl}) tertinggi sebesar 32,81 V, nilai tegangan dengan beban (V_b) tertinggi sebesar 32,81 V dan iluminasi cahaya tertinggi yang dipancarkan beban sebesar 8,43 lux.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Besaran Listrik

Pada penelitian sel elektrokimia air laut terdapat besaran listrik yang penting untuk diketahui diantaranya adalah arus, tegangan dan daya. Besaran listrik ini memiliki keterkaitan dengan satu dan lainnya. Arus listrik merupakan banyaknya muatan yang mengalir pada sebuah penghantar dalam waktu satu detik yang diukur dalam satuan ampere (Bakshi dan Bakshi, 2009). Arus listrik di dalam suatu penghantar dapat dirumuskan seperti pada **Persamaan 2.1**.

$$I = \frac{Q}{t} \quad (2.1)$$

dengan: I = Kuat arus (A);

Q = Muatan (C);

t = Waktu (s).

Dimana Q merupakan muatan yang melalui suatu penghantar dalam interval waktu t (Serway dan Jewwet, 2001). Di samping itu, tegangan listrik adalah besarnya perbedaan energi potensial antara dua buah titik yang diukur dalam satuan Volt (V). Tegangan dapat juga diartikan sebagai Joule per Coulomb. Persamaan untuk menentukan besarnya tegangan dapat dirumuskan pada **Persamaan 2.2**.

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

dengan: V = Tegangan (V);

W = Energi (J);

Q = Muatan (C).

Daya listrik adalah banyaknya energi listrik yang mengalir setiap detik atau Joule per second yang diukur dalam satuan Watt (W). Daya listrik dirumuskan dengan **Persamaan 2.3**.

$$P = \frac{W}{t} \quad (2.3)$$

dengan: P = Daya (W);

W = Energi (J)

t = Waktu (s)

Energi listrik dapat didefinisikan sebagai laju penggunaan daya listrik dikalikan dengan waktu penggunaan daya listrik. Satuan SI untuk energi listrik ialah Joule (J) meskipun dalam kehidupan sehari-hari lebih dikenal dengan kiloWatt-hour (kWh). Pada sebuah rangkaian listrik, hubungan antara arus dan tegangan dijelaskan dengan hukum Ohm dimana arus berbanding lurus dengan tegangan dan

berbanding terbalik dengan hambatan. Hambatan yang dimaksud adalah hambatan pada rangkaian yang dapat menghambat aliran arus. Hambatan dinotasikan oleh R dan satuan SI untuk hambatan ialah Ohm (Ω). Hubungan antara arus, tegangan, dan hambatan ditunjukkan pada **Persamaan 2.4**.

$$V = IR \quad (2.4)$$

dengan: V = Tegangan (V);

I = Kuat arus (A);

R = Hambatan (Ω).

Selanjutnya hubungan arus, tegangan dan daya dirumuskan dalam **Persamaan 2.5**.

$$P = VI \quad (2.5)$$

dengan: V = Tegangan (V);

I = Kuat arus (A);

P = Daya (W).

(Thompson, 2006).

2.2.2 Cahaya

Cahaya ialah suatu bentuk radiasi energi yang dipancarkan dalam spektrum yang dapat dilihat (*visible spectrum*) dengan panjang gelombang berkisar antara 380–770 nm. Manusia memerlukan cahaya agar dapat melihat dan mengenali objek. Hal ini terjadi karena cahaya yang datang mengenai permukaan suatu benda. Cabang ilmu fisika yang mempelajari konsep ini ialah fotometri. Fotometri merupakan konsep pencahayaan berupa karakteristik energi cahaya dengan konteks respon mata manusia. Terdapat 4 besaran yang berhubungan dengan fotometri yaitu intensitas cahaya dan fluks cahaya, luminasi dan iluminasi.

Fluks cahaya pada fotometri merupakan jumlah cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya. Sementara itu, intensitas cahaya merupakan fluks cahaya pada sudut tertentu. Satuan standar internasional (SI) fluks cahaya adalah lumen (lm) sedangkan intensitas cahaya adalah candela (cd). Hubungan fluks cahaya dan intensitas cahaya dapat didefinisikan dengan persamaan berikut.

$$I = \frac{\phi}{\omega} \quad (2.5)$$

dengan: I = Intensitas cahaya (cd);

Φ = Fluks cahaya (lumen);

ω = Sudut ruang (sr).

Luminasi merupakan banyaknya jumlah cahaya pada permukaan dari sudut tertentu yang dilihat oleh mata manusia. Satuan standar internasional (SI) luminasi ialah cd/m^2 . Luminasi dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$L = \frac{I}{A} \quad (2.6)$$

dengan: I = Intensitas cahaya (cd);

L = Luminasi (cd/m^2);

A = Luas permukaan (m^2).

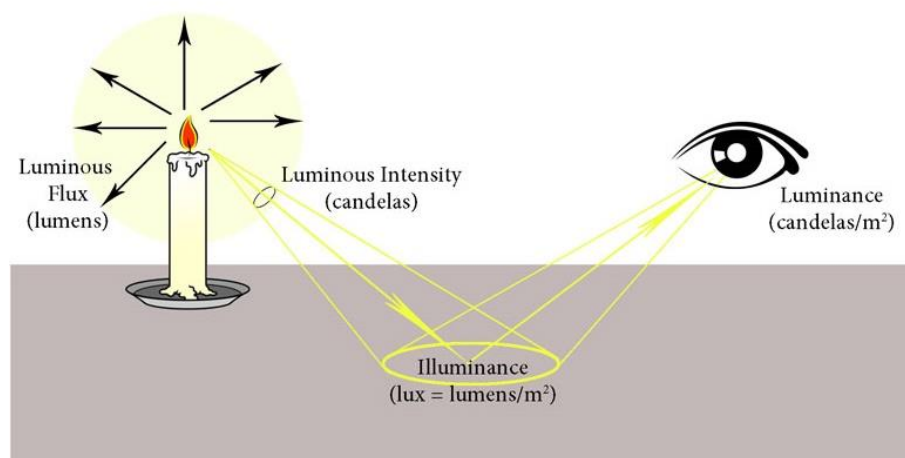
Iluminasi merupakan jumlah fluks cahaya datang yang mengenai objek. Satuan standar internasional (SI) iluminasi ialah lux. Iluminasi dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$E = \frac{\phi}{A} \quad (2.3)$$

dengan: E = Iluminasi (lux);
 Φ = Fluks cahaya (lumen);
 A = Luas permukaan (m^2).

(Peatross dan Michael, 2015).

Hubungan intensitas cahaya, fluks cahaya, luminasi dan iluminasi dapat diilustrasikan pada **Gambar 2.1**.

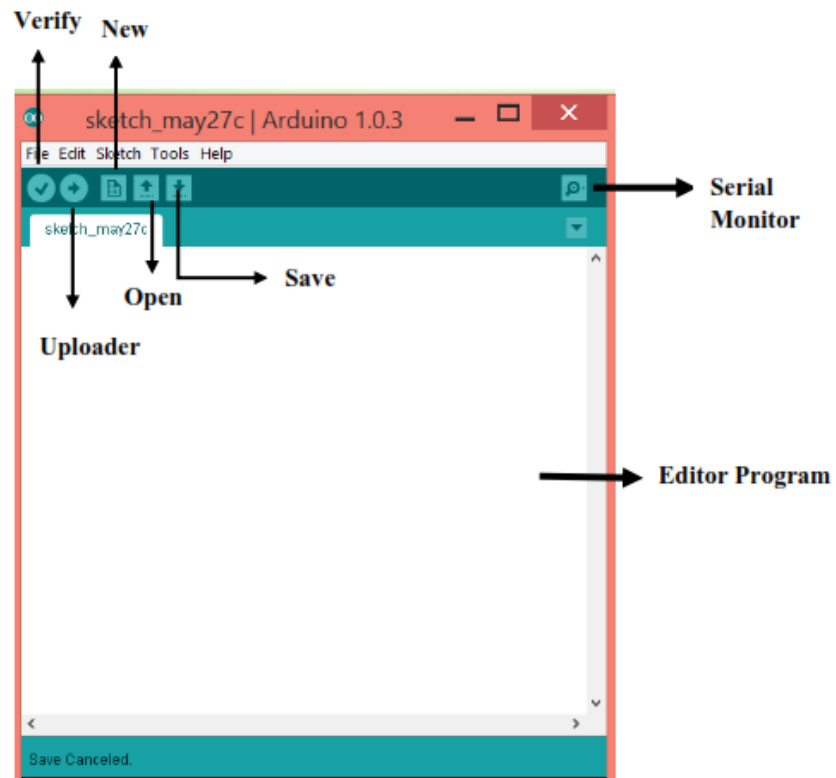


Gambar 2.1 Hubungan intensitas cahaya, fluks cahaya, luminasi dan iluminasi (Dalton, 2015).

2.2.3 Arduino

Arduino merupakan *board* dan *platform* dari komputasi fisik (*physical computing*) yang bersifat *open source*. *Platform* komputasi fisik (*physical computing*) memiliki makna yang berarti sebuah sistem fisik yang interaktif dengan penggunaan *software* IDE (*Integrated Development Environment*) dari *hardware* yang dapat mendeteksi dan merespon situasi dan kondisi yang ada di dunia nyata (Banzi, 2008). IDE (*Integrated Development Environment*) adalah sebuah *software* yang sangat berperan untuk menulis program, *compile* menjadi kode biner dan mengunggah ke dalam memori mikrokontroler. *Software* ini dapat dijalankan pada sistem operasi

Windows, Mac OS X dan Linux dan ditulis menggunakan bahasa pemrograman Java. **Gambar 2.2** merupakan tampilan dari IDE Arduino yang berisi dari berbagai perintah sebagai berikut.



Gambar 2.2 Lembar kerja Arduino IDE (Syahwil, 2013).

Berikut ini merupakan penjelasan bagian-bagian dalam IDE Arduino.

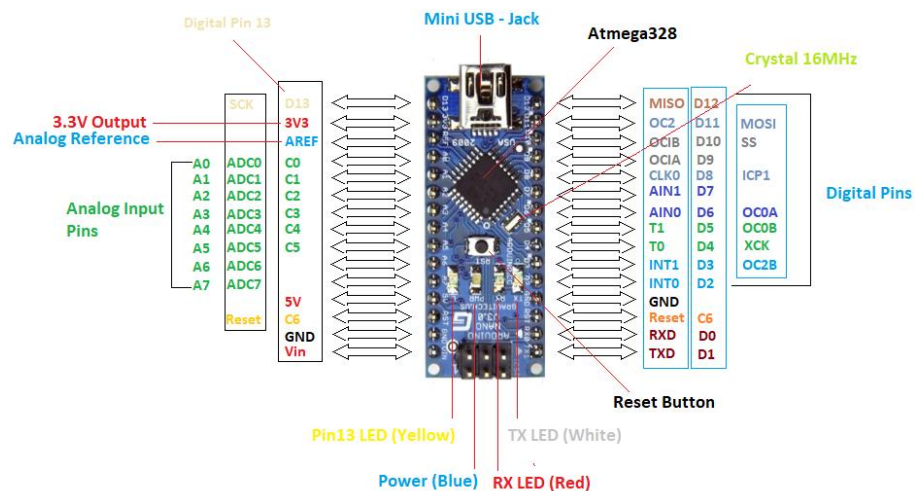
1. *Editor program* : sebuah *window* yang memungkinkan pengguna menulis dan mengedit program.
2. *Compiler* : sebuah modul yang mengubah kode program menjadi kode biner.
3. *Uploader* : sebuah modul yang memuat kode biner dari komputer ke dalam memori di dalam *board* Arduino.

4. *Verify* : berfungsi untuk mengkompilasikan program yang akan diunggah ke *board* Arduino. Hal ini terjadi karena program harus melalui verifikasi terlebih dahulu sebelum diunggah. Jika terdapat kesalahan dalam program maka akan muncul pesan *error*.
5. *Upload* : mengupload *sketch* yang telah ditulis ke *board Arduino*.
6. *New* : untuk membuka tab program baru.
7. *Open* : untuk membuka program yang disimpan.
8. *Save* : untuk menyimpan program.
9. *Serial Monitor* : untuk membuka tab *serial monitor*.
10. *Sketch name* : nama file *sketch* yang sedang aktif.
11. *Code area* : area untuk menulis program.
12. *Message area* : pesan yang menampilkan status *compile* dan *upload*.
13. *Text console* : area ini menampilkan bagian yang terdeteksi kesalahan (Syahwil, 2013).

Selain program pengendali terdapat *board* Arduino memiliki berbagai macam jenis dan tipe. Jenis Arduino yang digunakan dalam penelitian ini ialah Arduino Nano. Arduino Nano merupakan *board* mikrokontroller yang kompatibel berbasis ATmega328p dan ATmega 168. Pada penelitian ini digunakan Arduino Nano V3.x berbasis ATmega 328p yang memiliki prinsip kerja yang sama dengan Arduino Uno tetapi Arduino Nano memiliki ukuran yang lebih kecil. Arduino Nano menggunakan frekuensi 16 MHz osilator kristal, EEPROM sebesar 1 KB dan *flash memory* sebesar 32KB. 2 KB memori dari total *flash memory* digunakan *bootloader*

dan sisanya digunakan untuk menyimpan kode. Tegangan operasi yang digunakan Arduino Nano ialah 5 V tetapi tegangan *input board* ini dapat bervariasi dari 7—12 V.

Arduino memiliki 30 pin secara keseluruhan yang terdiri dari 14 pin digital, 8 pin analog, 2 pin *reset* dan 6 pin *power*. Fungsi utama masing-masing pin digital dan analog ini adalah untuk dikonfigurasi sebagai *input* atau *output*. Berikut ini merupakan *board* Arduino Nano beserta keterangannya yang ditunjukkan dalam **Gambar 2.3**.

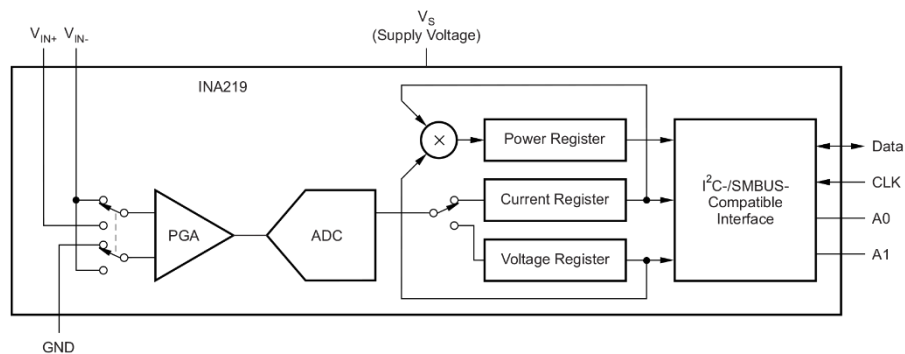


Gambar 2.3 Board Arduino Nano (The Engineering Projects, 2018).

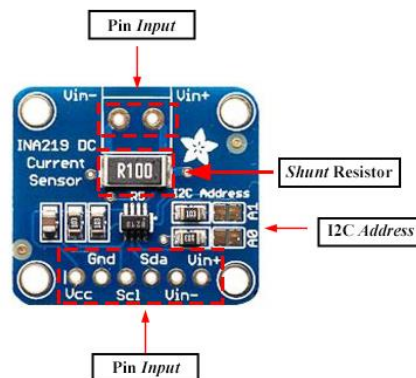
2.2.4 Sensor INA219

Sensor INA219 merupakan modul sensor yang tidak hanya dapat memonitoring tegangan tetapi juga dapat memonitoring arus dan daya pada suatu rangkaian listrik. INA219 didukung dengan *interface* I2C atau SMBUS-COMPATIBLE dimana perangkat ini mampu memonitoring tegangan *shunt* dan tegangan *bus*. Tegangan *shunt* merupakan tegangan pada V_{IN+} dan V_{IN-} sedangkan tegangan *bus* adalah tegangan pada V_{IN-} dan GND. Modul ini dapat mengidentifikasi tegangan *shunt*

dengan variasi sebesar 0—26 V dan bekerja pada suhu -40°C hingga 125°C . Sementara itu, *supply* tegangan dan arus dari sensor ini masing-masing sebesar 3—5,5 Volt dan 1 mA. Bagian-bagian terpenting dari sensor ini meliputi *power gain amplifier* (PGA), *analog to digital converter* (ADC), register arus, register tegangan dan register daya. Prinsip kerja dari sensor ini adalah sensor akan mendeteksi tegangan *bus* dan tegangan *shunt* secara bergantian kemudian akan mengonversinya langsung menjadi digital dengan ADC. ADC akan mengirimkan sinyal digital tersebut ke register arus dan register tegangan sedangkan register daya diperoleh dengan mengalikan tegangan dan arus yang diperoleh dari masing-masing register tersebut. Kemudian data digital tersebut akan dikirimkan melalui komunikasi I2C menuju Arduino (Texas Instruments, 2015).



Gambar 2.4 Skematika INA219 (Texas Instruments, 2015).

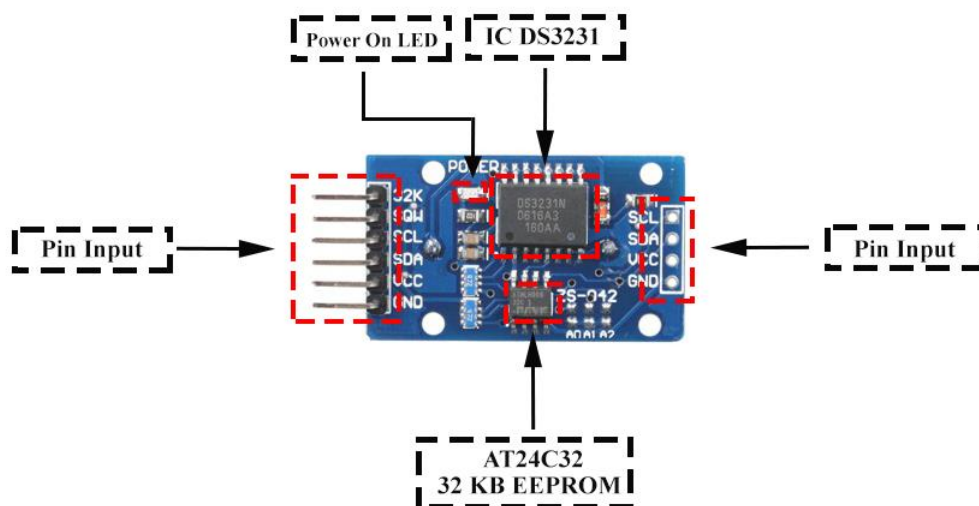


Gambar 2.5 Sensor INA219 (Texas Instruments, 2015).

2.2.5 Modul RTC (*Real Time Clock*) DS3231

RTC (*Real Time Clock*) DS3231 merupakan sebuah modul pembaca waktu sangat akurat meliputi hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit dan detik yang dilengkapi fitur pembaca suhu. Pengaksesan data pada modul ini dilakukan dengan komunikasi I2C sehingga hanya memanfaatkan 2 jalur yakni jalur SDA (*serial data*) dan jalur SCL (*serial clock input*). Jalur SCL berfungsi untuk menyinkronasi pergerakan data pada *serial interface* sedangkan SDA merupakan pin *input/output* untuk 2 jalur *serial interface*.

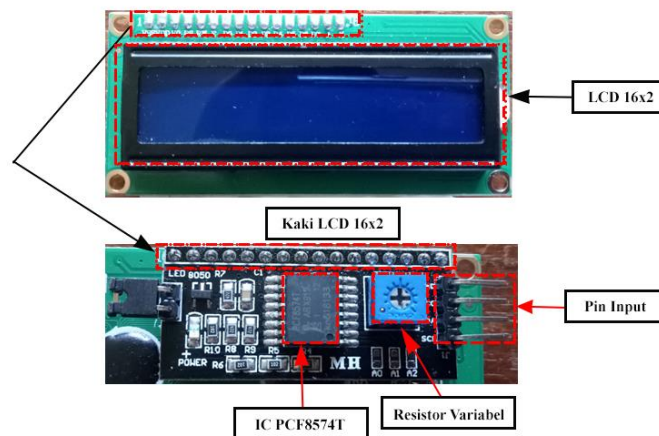
RTC DS3231 membutuhkan suplai tegangan 5V yang berasal dari pin VCC Arduino dan suplai internal berupa baterai 3.3V. Suplai internal ini berfungsi sebagai pendetak (*counting*) agar data waktu tidak berubah saat pin VCC Arduino tidak terhubung (Maxim Integrated, 2015). Berikut ini merupakan modul RTC DS3231 yang ditunjukkan pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Real time clock DS3231 (Pieters, 2015).

2.2.6 LCD (Liquid Crystal Display)

LCD (*Liquid Crystal Display*) digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran parameter sel elektrokimia. Enam belas karakter dan dua baris LCD dilengkapi dengan IC PCF8574T yang berfungsi sebagai modul I2C antarmuka Arduino Nano dan LCD. Penggunaan LCD dan *driver* IC PCF8574T untuk berkomunikasi dengan Arduino Nano membutuhkan 4 pin yakni VCC, GND, SCL, dan SDA (Mantech Electronics, 2017). Tampilan LCD dan modul I2C IC PCF8574T ditunjukkan pada **Gambar 2.7**.

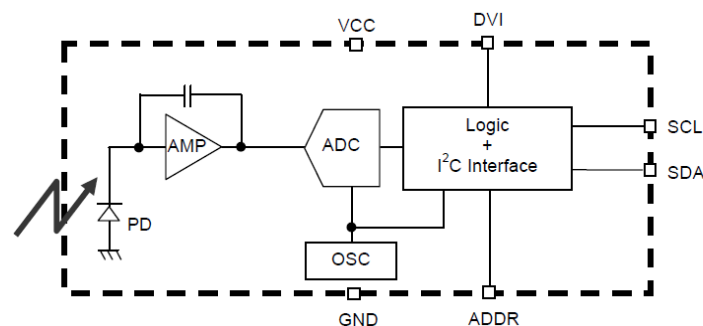


Gambar 2.7 LCD dan modul I2C IC PCF8574T (Mantech Electronics, 2017).

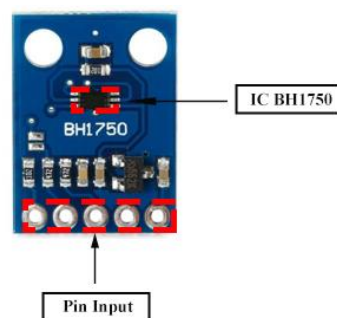
2.2.7 Sensor Iluminasi Cahaya BH1750

Besaran fisis yang diukur pada penelitian ini tidak hanya tegangan dan arus tetapi juga iluminasi cahaya beban. Sensor iluminasi cahaya yang digunakan ialah BH1750. BH1750 merupakan modul sensor yang dapat mendeteksi iluminasi cahaya dalam satuan lux sehingga tidak perlu melakukan perhitungan untuk mengkonversinya.

Modul BH1750 menggunakan komunikasi I2C dengan kemampuan jangkauan dan resolusi mendeteksi cahaya 1—65535 lux. Jika dibandingkan dengan sensor lain seperti fotodioda dan LDR (*Light Dependent Resistor*), penggunaan sensor BH1750 lebih akurat dan lebih mudah digunakan untuk mendapatkan data iluminasi cahaya. Bagian-bagian terpenting dari sensor ini meliputi fotodioda, *amplifier*, *analog to digital converter* (ADC), *internal oscillator*, *logic*, dan *I2C interface*. Prinsip kerja sensor ini ialah ketika cahaya datang fotodioda akan mendeteksi cahaya tersebut dimana pada fotodioda modul ini memiliki respon seperti mata manusia. Kemudian besaran fisis (cahaya yang datang) akan diubah menjadi besaran elektrik yang berupa listrik lalu dikuatkan menggunakan *amplifier*. Setelah dikuatkan, sinyal analog tersebut dikonversi menjadi sinyal digital dengan ADC dan data akan dikirimkan melalui I2C sesuai dengan perintah program yang ada pada Arduino (Rohm Semiconductor, 2011).



Gambar 2.8 Konfigurasi sensor BH1750 (Rohm Semiconductor, 2015).

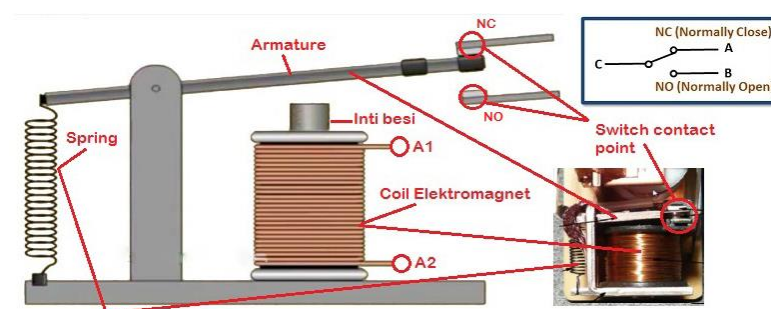


Gambar 2.9 Sensor BH1750 (Rawashdeh, 2013).

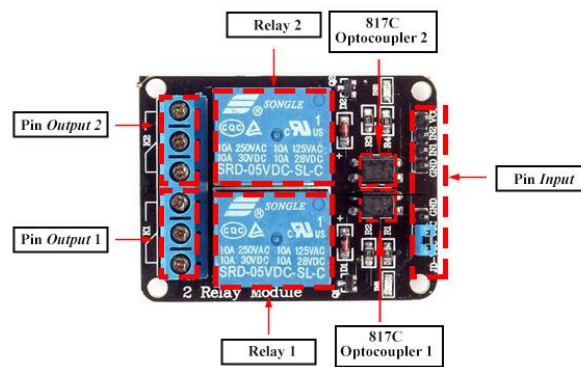
2.2.8 Relay

Relay merupakan *switch* (saklar) yang dijalankan dengan memanfaatkan arus listrik. Pada penelitian ini relay dimanfaatkan sebagai saklar yang secara otomatis menghidupkan dan mematikan beban lampu yang terhubung dengan sel elektrokimia sehingga memudahkan pengukuran tegangan dengan beban dan tanpa beban. Relay menggunakan konsep elektromekanikal yang terdiri dari 2 komponen penting yakni saklar atau *switch* (mekanikal) dan koil (elektromagnet). Prinsip kerja relay yaitu jika koil dialiri oleh arus listrik maka akan timbul gaya elektromagnet yang akan menarik *armature* yang berpegas (Putra *et al.*, 2019). Relay terdiri dari dua jenis kontak poin, yaitu:

- Kontak poin NC (*Normally Closed*), yakni saat kontaktor dalam kondisi tertutup (ON) setelah pengaktifan akan berada pada posisi terbuka (OFF).
- Kontak poin NO (*Normally Open*), yakni setelah kontaktor dalam kondisi terbuka (OFF) setelah pengaktifan akan berada pada posisi terbuka (ON) (Wahyono, 2018).



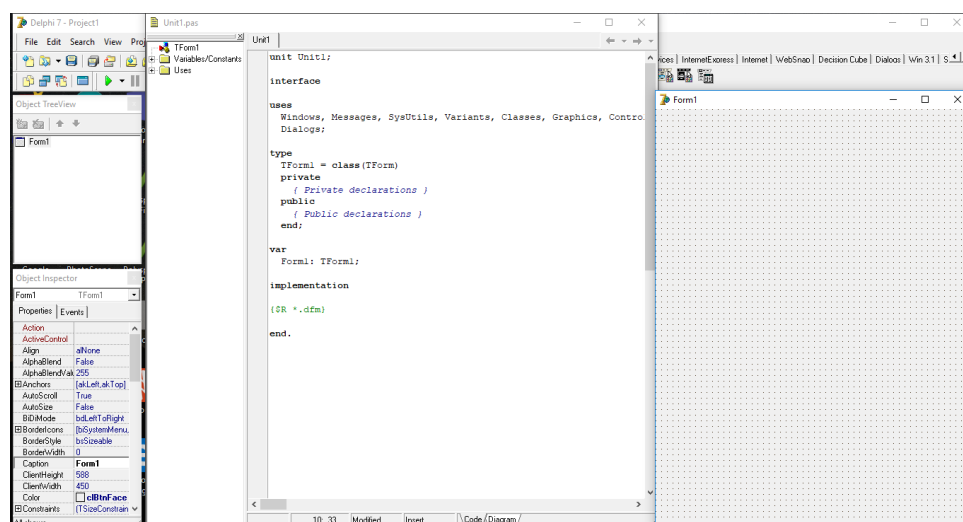
Gambar 2.10 Prinsip kerja relay (El, 2018).



Gambar 2.11 Relay 2 channel.

2.2.9 Bahasa Pemrograman Borland Delphi 7

Delphi merupakan suatu perangkat lunak dan bahasa pemrograman yang dapat membuat aplikasi. Delphi digunakan untuk membangun aplikasi windows, aplikasi grafis, aplikasi visual bahkan aplikasi jaringan (*client/server*) dan berbasis internet (Husni, 2004). Pada penelitian ini bahasa pemrograman Delphi 7 digunakan untuk membuat aplikasi mengolah data menjadi grafik dan *interface* antara Arduino dan PC. Bagian-bagian utama bahasa pemrograman Delphi diantaranya ialah *main window*, *component pallete*, *form*, *code window*, dan *object inspector*. *Main window* terdiri dari elemen *title bar*, *menu bar* dan *speed bar* (Morris, 2017). Gambar 2.12 menunjukkan bagian-bagian utama bahasa pemrograman Delphi.



Gambar 2.12 Struktur dasar bahasa pemrograman.

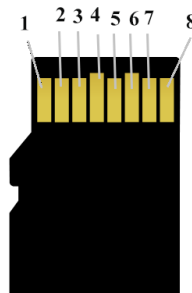
2.2.10 Sistem Penyimpanan Data

Sistem penyimpanan data yang digunakan merupakan *micro SD card* dan modul *micro SD Card Adapter*. Modul *micro SD card adapter* adalah modul yang digunakan untuk membaca dan menulis kartu *micro SD* dengan Arduino. Penggunaan modul *Micro SD Card Adapter* untuk berkomunikasi dengan Arduino menggunakan 6 pin diantaranya MOSI, MISO, SCK, CS dan sisanya ialah pin *power* yakni VCC dan GND. Berikut ini merupakan *Micro SD Card Adapter* yang ditunjukkan seperti pada **Gambar 2.13**.



Gambar 2.13 Modul *SD card* (Mybotic, 2018).

Micro SD card merupakan media penyimpanan data parameter sel elektrokimia beserta waktu pencuplikan. *Micro SD card* memiliki 8 *pin out* yang berfungsi sebagai suplai, pendetak dan pengirim data. Konfigurasi *Pin out micro SD card* ditunjukkan pada **Gambar 2.14**.



Gambar 2.14 *Micro SD card* (Samsung, 2013).

Berdasarkan *datasheet* Samsung (2013), konfigurasi *pin out micro SD card* Samsung memiliki 2 mode diantaranya *mode SD* dan *mode SPI*. Berikut ini merupakan konfigurasi *micro SD card* yang ditunjukkan pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Konfigurasi *micro SD card*

Pin	Nama Pin	Mode SD	Mode SPI
1	DAT2	<i>Data line 2</i>	<i>No use</i>
2	CD/DAT3	<i>Data line 3</i>	<i>Chip select</i>
3	CMD	<i>Command/ response line</i>	<i>Data input (MOSI)</i>
4	V _{DD} /	<i>Power supply (+3.3V)</i>	<i>Power supply (+3.3V)</i>
5	CLK	<i>Clock</i>	<i>Serial clock (SCLK)</i>
6	V _{SS}	<i>Ground</i>	<i>Ground</i>
7	DAT0	<i>Data line 0</i>	<i>Data out (MISO)</i>
8	DAT1	<i>Data line 1</i>	<i>No use</i>

Mode SD card yang digunakan pada penelitian ini ialah *mode SPI*. *Mode SPI* digunakan sebagai komunikasi serial data antara *SD card* dengan mikrokontroler. Komunikasi serial data pada *SPI* diatur melalui 4 buah pin yang terdiri dari *SCK*, *MOSI*, *MISO*, dan *CS*. Berikut penjelasan mengenai pin *SPI*, yakni:

- a. *Serial clock (SCK)* merupakan data biner yang keluar dari *master* ke *slave* yang berfungsi sebagai *clock* dengan frekuensi tertentu;
- b. *Master out slave in (MOSI)* merupakan pin yang berfungsi sebagai jalur data keluar dari *master* dan masuk ke dalam *slave*;
- c. *Master in slave out (MISO)* merupakan pin yang berfungsi sebagai jalur data yang keluar dari *slave* dan masuk ke dalam *master*;
- d. *Chip Select (CS)* merupakan pin yang berfungsi untuk mengaktifkan *slave* sehingga pengiriman data dapat dilakukan jika *slave* dalam keadaan aktif (Mutohar, 2008).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Eksperimen Fisika, Gedung Fisika Lantai 3 dan Laboratorium Elektronika Dasar dan Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bulan April 2019 sampai dengan Desember 2019.

3.2 Alat dan Bahan

Pada pembuatan sistem instrumentasi *data logger* parameter sel elektrokimia digunakan alat dan bahan untuk mendukung berjalannya perancangan sistem yakni sebagai berikut.

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi perangkat lunak dan perangkat keras.

3.2.1.1 Perangkat Lunak.

Perangkat lunak yang digunakan pada sistem *data logger* parameter elektrik sel elektrokimia ini ialah:

1. Borland Delphi 7, digunakan sebagai *display* hasil pengolahan dari parameter fisis;

2. Eagle, digunakan sebagai program dalam desain rangkaian PCB;
3. IDE Arduino, digunakan sebagai program pengendali Arduino.

3.2.1.2 Perangkat keras.

Perangkat keras yang digunakan dalam pembuatan sistem instrumentasi *data logger* parameter elektrik sel elektrokimia ini ialah:

1. Multimeter Helex UX-866TR, digunakan sebagai perangkat untuk mengukur besaran elektrik;
2. *Digital light meter* TASI-8721, digunakan sebagai perangkat untuk mendeteksi iluminasi cahaya;
3. PC (*Personal Computer*), digunakan untuk mengolah pemrograman dan pembuatan laporan penelitian;
4. Perlengkapan untuk membuat rangkaian sistem instrumentasi *data logger* parameter sel elektrokimia (gunting, solder, bor listrik dan sebagainya).

3.2.2 Bahan

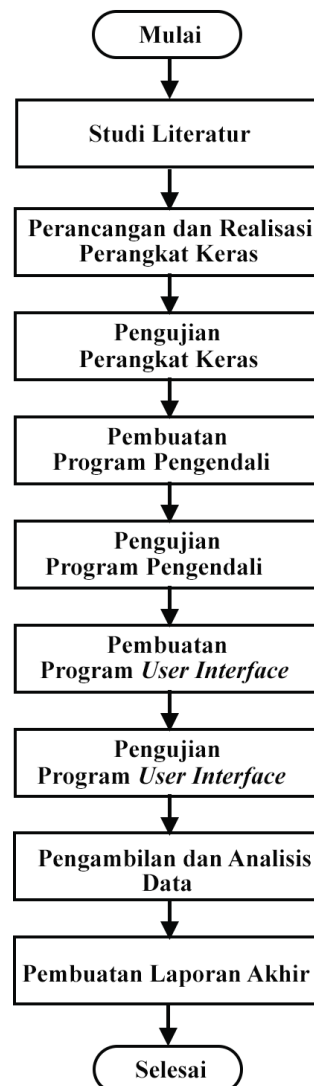
Bahan-bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Arduino Nano, digunakan sebagai pengendali sistem *monitoring* energi listrik;
2. Sensor INA219, digunakan sebagai pendeteksi tegangan dan arus;
3. Sensor BH1750, digunakan sebagai pendeteksi iluminasi cahaya;
4. *Micro SD Card*, digunakan sebagai media penyimpanan data parameter elektrik dan iluminasi cahaya;
5. *Micro SD Card Adapter*, digunakan sebagai modul media penyimpanan data *monitoring* energi listrik dan iluminasi cahaya;
6. LCD, digunakan sebagai penampil data parameter sel elektrokimia;

7. *Relay 2 channel*, digunakan sebagai saklar lampu otomatis;
8. *RTC (Real Time Clock) DS3231*, digunakan sebagai penghitung waktu;
9. *Electronic box project*, digunakan sebagai tempat alat sistem instrumentasi *data logger* parameter elektrik sel elektrokimia.

3.3 Prosedur Penelitian

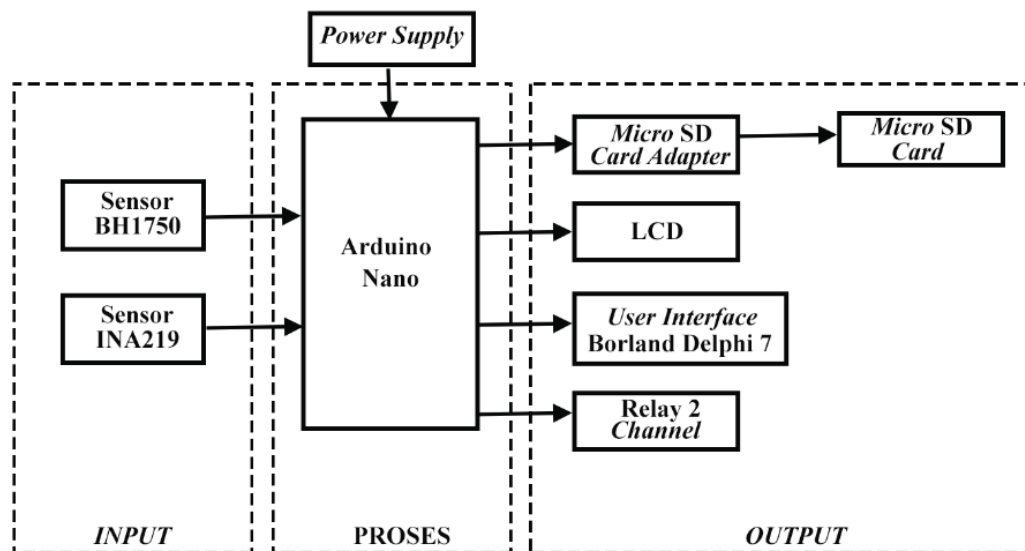
Secara garis besar, penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahapan yaitu perancangan sistem instrumentasi, pengujian, dan pengambilan data. Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan dalam diagram alir penelitian pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.3.1 Perancangan Sistem

Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem instrumentasi *data logger* parameter elektrik sel elektrokimia yang dilengkapi dengan program pengendali Arduino dan perangkat lunak *user interface* Borland Delphi 7. Secara umum, rancangan sistem yang akan dibuat ditunjukkan dalam diagram blok pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Diagram blok

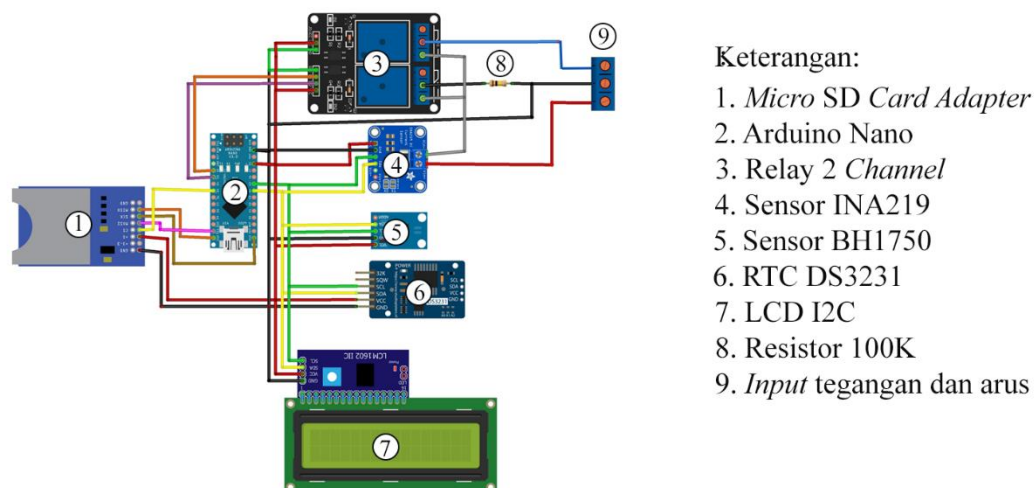
Pada penelitian ini dibangun suatu sistem instrumentasi *data logger* parameter elektrik sel elektrokimia secara *real time* dengan mekanisme akuisisi data. Parameter pengukuran yang dilakukan pada sel elektrokimia air laut meliputi tegangan saat beban dilepas (V_{bl}), tegangan dengan beban (V_b), arus (I) dan iluminasi cahaya. Secara umum, rancangan sistem yang dibangun meliputi otomatisasi, pendeteksian parameter, pemrosesan, penyimpanan data dan *display* data pada Borland Delphi 7. Pada tahap otomatisasi, *output* sel elektrokimia yang terhubung dengan beban terintegrasi *relay*. *Relay* berfungsi sebagai saklar pada beban agar sistem dapat mengukur tegangan tanpa beban (V_{bl}) dan tegangan dengan beban (V_b) secara otomatis. Sementara pada tahap pendeteksian parameter,

sensor-sensor mendeteksi parameter fisis dan mengubahnya menjadi besaran listrik (sinyal analog). Sinyal analog dikonversi menjadi sinyal digital dengan menggunakan pemroses Arduino Nano kemudian RTC (*real time clock*) sebagai sumber waktu memberikan keterangan yang meliputi waktu saat pengukuran berlangsung dengan nilai digital yang diperoleh sensor. Nilai digital dan keterangan waktu pengukuran tersebut disimpan pada kartu memori melalui modul *micro SD card adapter* dan ditampilkan pada *user interface* Borland Delphi 7.

Tahap perancangan sistem instrumentasi *data logger* parameter elektrik sel elektrokimia ini terbagi menjadi beberapa bagian diantaranya ialah:

3.3.1.1 Skematik Rangkaian

Skematik rangkaian sistem instrumentasi *data logger* parameter elektrik sel elektrokimia ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.



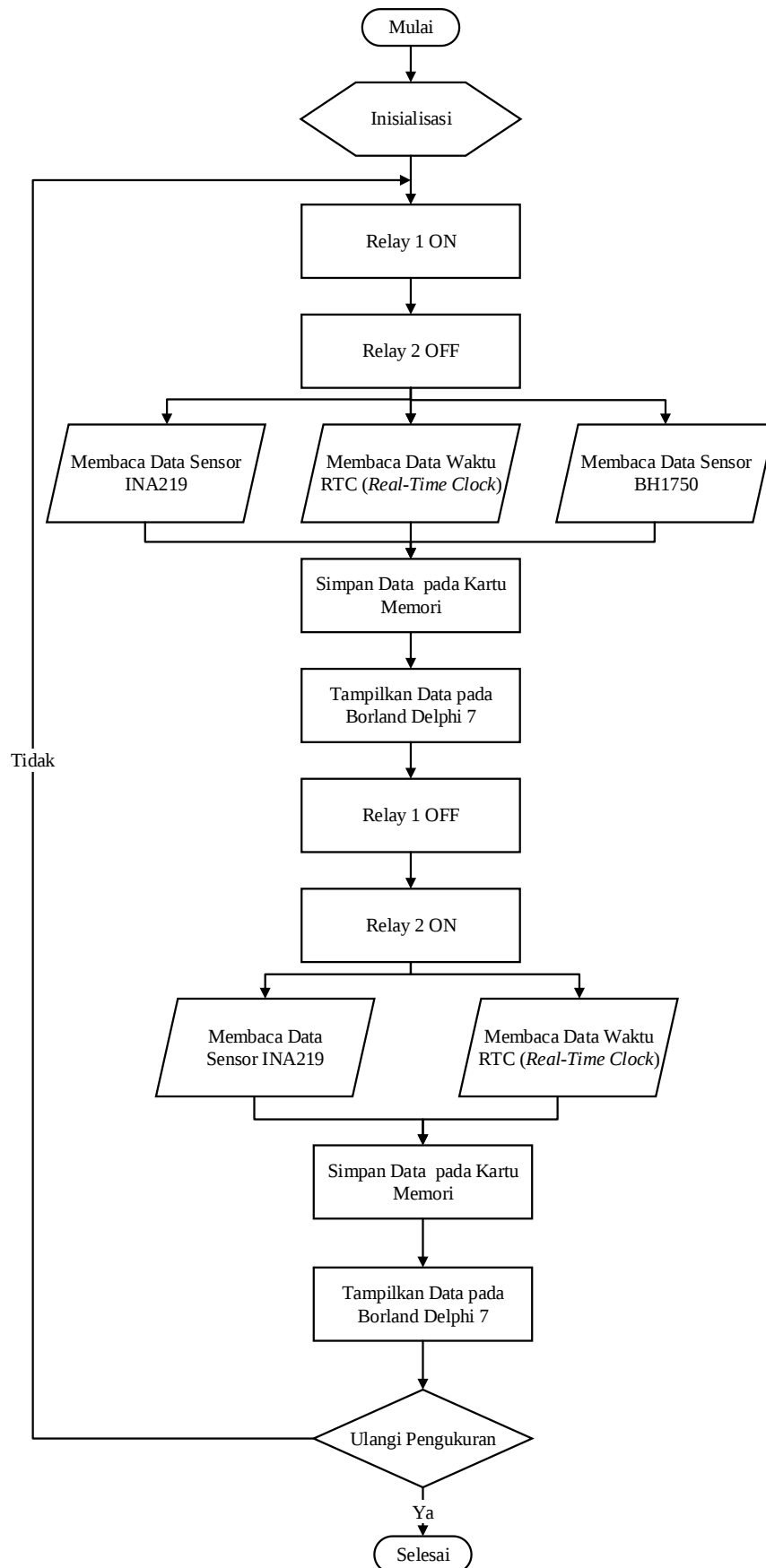
Gambar 3.3 Skematik rangkaian

Gambar 3.3 merupakan skematik rangkaian sistem instrumentasi *data logger* parameter elektrik sel elektrokimia. Pada sistem ini terdapat 8 pin Arduino yang digunakan beserta 2 pin *power* yakni VCC dan GND. 8 pin Arduino yang digunakan

diantaranya pin D2, D3, D5, D11, D12, D13, A4 dan A5. Pin D2 dan D3 berfungsi sebagai pin *input* 1 dan *input* 2 relay 2 *channel*. Pin D10, D11, D12 dan D13 merupakan pin yang digunakan untuk berkomunikasi SPI antara Arduino dan *micro SD card adapter*. Sementara itu, pin A4 dan A5 merupakan pin yang digunakan untuk komunikasi antara Arduino dengan modul I2C. Modul komunikasi I2C yang digunakan dalam sistem ini ialah sensor INA129, sensor BH1750, LCD dan RTC DS3231.

3.3.1.2 Program Pengendali Arduino

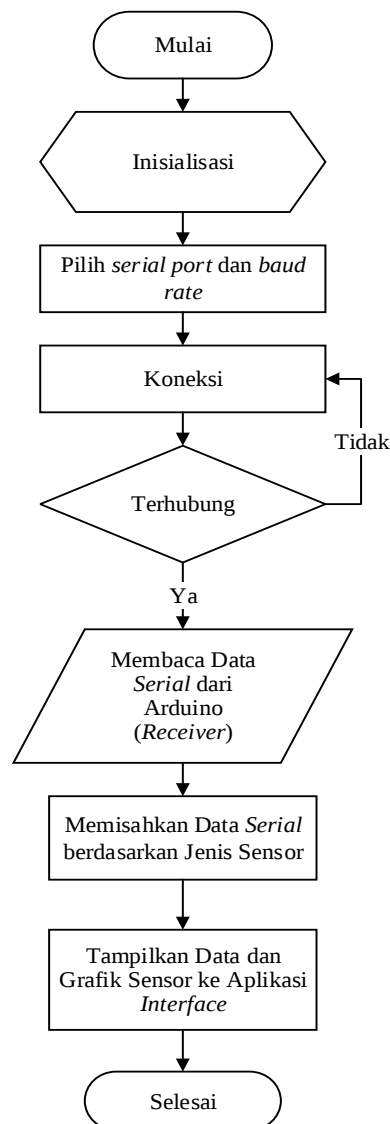
Program pengendali Mikrokontroler Arduino Uno dibuat menggunakan perangkat lunak Arduino IDE. Program tersebut berisikan perintah untuk menjalankan fungsi dari rangkaian pengendali. Secara umum, rancangan program pengendali tersebut diperlihatkan dalam diagram alir pada **Gambar 3.4**. Pada diagram alir tersebut dapat dilihat bahwa program pengendali dibuat untuk menjalankan tiga tugas utama. Tugas pertama adalah melakukan perintah otomatisasi menggunakan *relay* untuk menghidupkan atau mematikan beban yang terhubung dengan sel elektrokimia air laut. Lalu, tugas kedua adalah membaca data waktu pengukuran dari RTC (*Real Time Clock*) sekaligus mendeteksi parameter fisis dan mengubahnya menjadi nilai digital. Tugas ketiga adalah menyimpan hasil pengolahan pada kartu memori dan menampilkannya pada LCD dan PC menggunakan *software* antarmuka Borland Delphi 7.



Gambar 3.4 Diagram alir rancangan program pengendali

3.3.1.3 *Software User Interface Borland Delphi 7*

Borland delphi 7 merupakan perangkat lunak akuisisi data yang digunakan dalam pembuatan aplikasi tampilan parameter sel elektrokimia. Aplikasi tersebut dirancang untuk menampilkan data dalam bentuk grafik. Secara garis besar, aplikasi menerima data parameter yang telah diolah Arduino melalui komunikasi *serial*. Lalu, aplikasi *interface* memisahkan data sensor dengan kode perintah yang dimasukkan pada Arduino. Berikut ini merupakan diagram alir perancangan aplikasi *user interface*.



Gambar 3.5 Diagram alir perancangan aplikasi *interfacing*

3.3.2 Pengujian Sistem

Pengujian pada sistem instrumentasi *data logger* parameter elektrik sel elektrokimia meliputi:

3.3.2.1 Pengujian Sensor INA219 dan Sensor BH1750

Sistem instrumentasi *data logger* parameter elektrik sel elektrokimia yang telah dirancang kemudian diuji agar hasil pengukuran sensor sesuai dengan instrumen terkalibrasi. Terdapat 3 parameter yang diuji yakni tegangan, arus dan iluminasi cahaya. Pengujian sensor dilakukan dengan membandingkan *output* dari instrumen yang dirancang dan instrumen terkalibrasi. Mekanisme pengukuran pada iluminasi, arus dan tegangan dilakukan sebanyak 6 kali pengulangan seperti pada kalibrasi.

Tabel 3.1—3.3 menunjukkan data yang dicuplik untuk mendapatkan nilai akurasi dan presisi dari masing-masing sensor pada sistem instrumentasi *data logger* parameter elektrik sel elektrokimia.

Tabel 3.1 Data pengujian iluminasi cahaya pada sensor BH1750

No	Iluminasi Referensi (lux)	Iluminasi pada Sensor BH1750 (lux)					
		1	2	3	4	5	6

Tabel 3.2 Data pengujian tegangan (V) pada sensor INA219

No	Tegangan Referensi (V)	Tegangan pada Sensor INA219 (V)					
		1	2	3	4	5	6

Tabel 3.3 Data pengujian arus (*I*) pada Sensor INA219

No	Arus Referensi (mA)	Arus pada Sensor INA219 (mA)					
		1	2	3	4	5	6

Data hasil pengukuran tersebut digunakan untuk menghitung persentase kesalahan (*error*), akurasi dan presisi sumber tegangan tinggi menggunakan **Persamaan 3.1—3.3**.

$$\%Error = \left| \frac{Y - X_n}{Y} \right| \times 100\% \quad (3.1)$$

$$\%Akurasi = \left(1 - \left| \frac{Y - X_n}{Y} \right| \right) \times 100\% \quad (3.2)$$

$$\%Presisi = \left(1 - \left| \frac{X_n - \bar{X}_n}{\bar{X}_n} \right| \right) \times 100\% \quad (3.3)$$

dengan:

Y = Nilai parameter referensi;

X_n = Nilai parameter terukur ke- n ;

$\bar{X}_n$ = Rata-rata nilai parameter n terukur (Jones dan Chin, 1991).

3.3.2.2 Pengujian RTC (*Real-Time Clock*) DS3231

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui RTC dapat bekerja dengan baik sebagai sumber data waktu pencuplikan. Pada pengujian ini dilakukan menggunakan program *testing write* Arduino IDE.

3.3.2.3 Pengujian Sistem Penyimpanan Data

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sistem penyimpanan data dapat bekerja dengan baik sebagai media penyimpanan data. Pada pengujian ini dilakukan menggunakan program *testing write* Arduino IDE.

3.3.2.4 Pengujian LCD dan Modul I2C IC PCF8574T

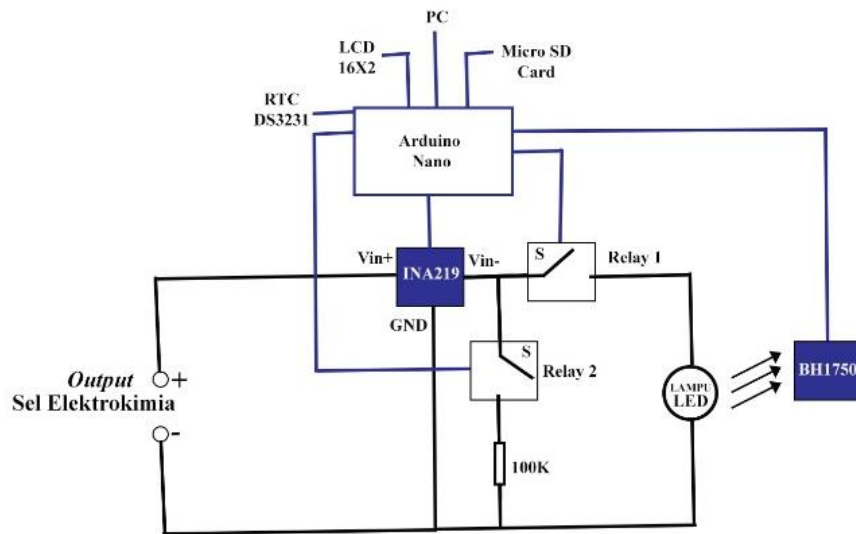
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui LCD dan Modul I2C IC PCF8574T dapat bekerja dengan baik sebagai media tampilan data. Pada pengujian ini dilakukan menggunakan program *serial display* LCD I2C Arduino IDE.

3.3.2.5 Pengujian *Software User Interface* Borland Delphi 7

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui program *interface* Borland Delphi 7 dapat bekerja dengan baik dan dapat diintegrasikan dengan Arduino.

3.3.3 Pengambilan Data

Pada penelitian ini, setelah dilakukan pengujian maka sistem secara keseluruhan diimplementasikan pada sel elektrokimia untuk mengetahui bahwa sistem berjalan dengan baik. Pengambilan data yang dilakukan dengan mengukur tegangan saat beban dilepas (V_{bl}), tegangan dengan beban (V_b), arus (I) dan iluminasi cahaya. Berikut ini merupakan ilustrasi proses pengambilan data pada sel elektrokimia.



Gambar 3.6 Ilustrasi proses pengambilan data

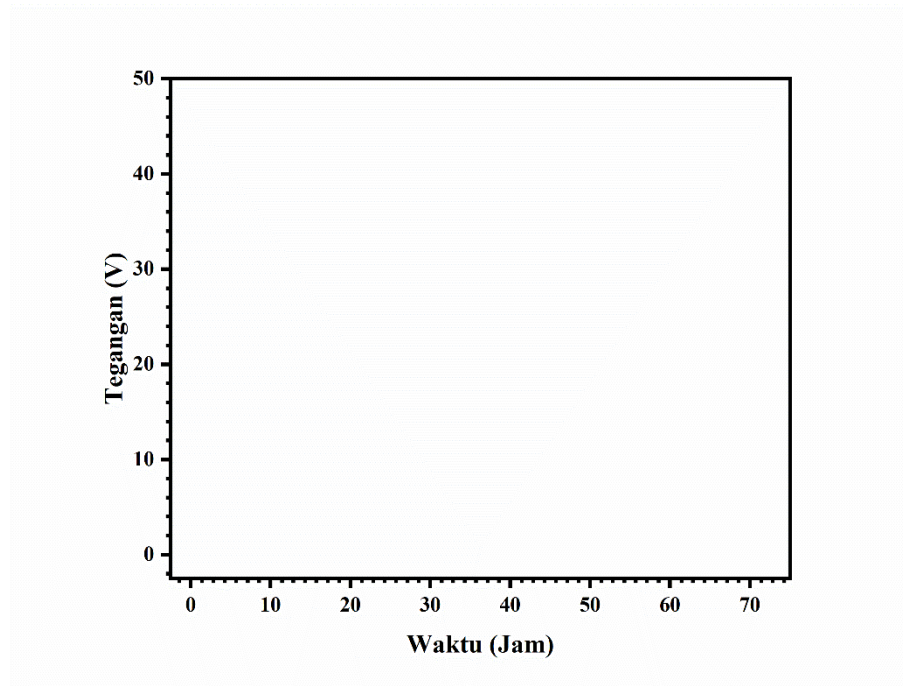
Pengukuran tegangan, arus dan iluminasi cahaya ini dilakukan secara *real-time* selama 3 hari. Untuk memudahkan analisis data maka dibuatlah tabel dan grafik hubungan antara tegangan tanpa beban, tegangan dengan beban, arus dan iluminasi cahaya terhadap waktu sebagai berikut.

Tabel 3.4 Hasil pengukuran tegangan tanpa beban (V_{bl})

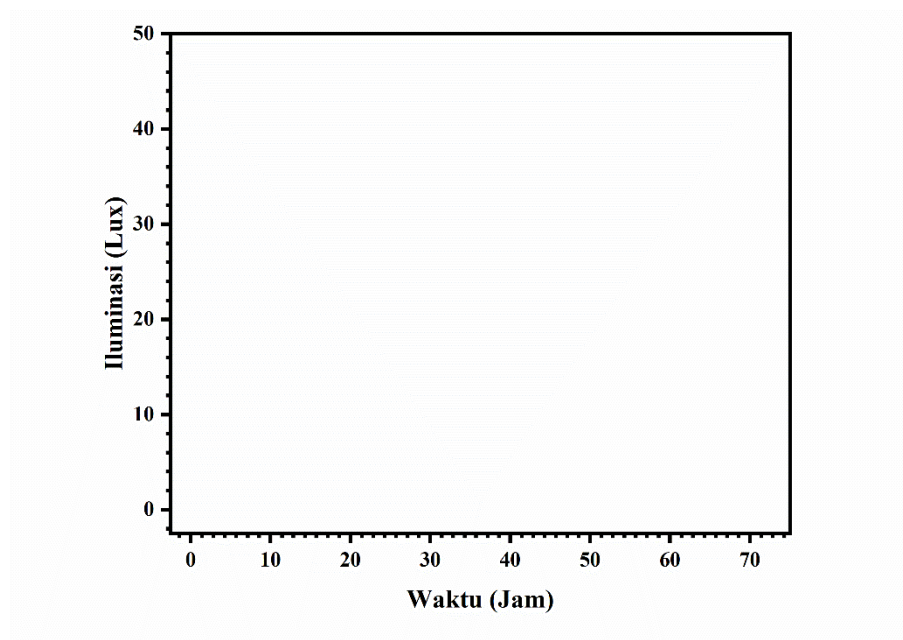
No	Hari	Tanggal	Waktu	V_{bl} (V)
1				
2				
3				

Tabel 3.5 Hasil pengukuran tegangan dengan beban (V_b), arus (I) dan iluminasi cahaya

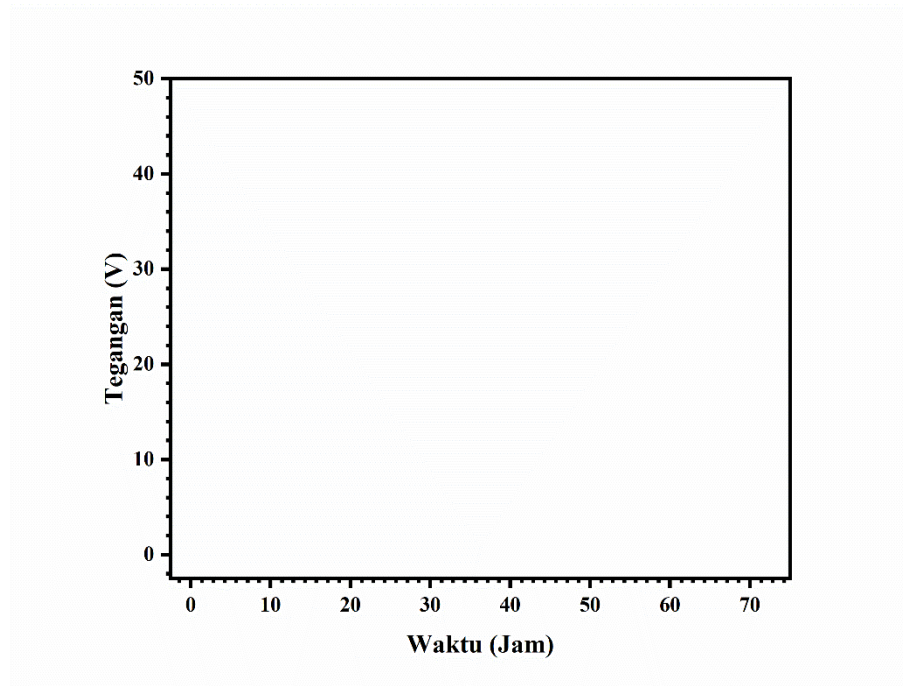
No	Hari	Tanggal	Waktu	V_b (V)	I (A)	Iluminasi Cahaya (lux)
1						
2						
3						



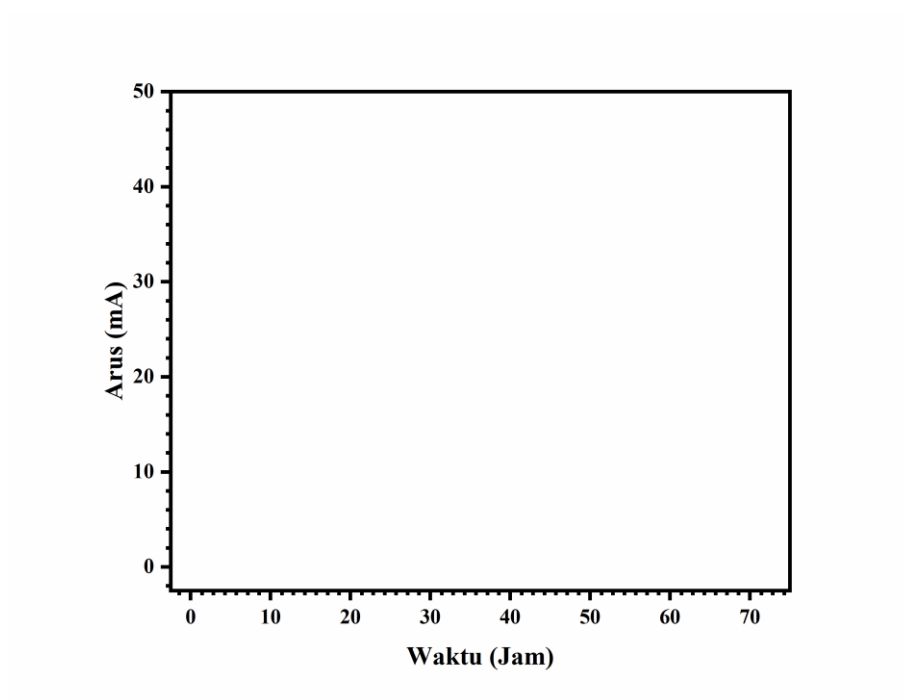
Gambar 3.7 Grafik tegangan tanpa beban terhadap waktu



Gambar 3.8 Grafik iluminasi terhadap waktu



Gambar 3.9 Grafik tegangan dengan beban terhadap waktu



Gambar 3.10 Grafik arus terhadap waktu

V. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Sistem instrumentasi *data logger* parameter sel elektrokimia secara otomatis berbasis Arduino dan Borland Delphi 7 telah direalisasikan dan dapat bekerja dengan baik.
2. Sensor INA219 dan sensor BH1750 memiliki linearitas, akurasi dan presisi yang baik sesuai dengan alat standar yang terkalibrasi.
3. Modul *micro sd card adapter* dapat menyimpan data keluaran sensor pada kartu memori selama 3 hari dalam *interval* 1 jam dengan *format* (.txt).

4.2 Saran

Saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya yaitu sistem *interfacing* dapat dikembangkan dengan android atau *website* sehingga hasil data pengukuran dapat diakses pada perangkat *mobile*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aristian, J. 2016. Desain dan Aplikasi Sistem Elektrik Berbasis Elektrolit Air Laut Sebagai Sumber Energi Alternatif Berkelanjutan (Sustainable Energy). *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Bakshi, Uday A. dan Varsha U. Bakshi. 2009. *Basic Electrical Engineering*. Pune: Technical Publication Pune.
- Banzi, Massimo. 2008. *Getting Started with Arduino*. Sebastopol: Dale Daugherty.
- Brock, F. V. dan Scott J. Richardson. 2001. *Meteorological Measurement System*. New York: Oxford University Press US.
- Dallas Semiconductor. 2015. *Datasheet DS 1307 64 X 8 Serial Real-Time Clock*. Maxim Integrated.
- Dalton, Adrian. 2015. *Measurements of Lights*. Tersedia di <http://rsagencies.co.za/lumens-for-the-laymen/>. Diakses pada 20 Oktober 2019 Pukul 05.40 WIB.
- Effendi, Khoirul. 2019. Rancang Bangun Sistem Catu Daya dengan Metode Switching Mode Power Supply (SMPS) Berbasis Arduino untuk Aplikasi Elektropsinner. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- El, Suhinar. 2018. *Cara Kerja Relay, Komponen dan Fungsinya*. Tersedia di <https://www.listrik-praktis.com/2018/05/cara-kerja-relay-komponen-dan-fungsinya.html>. Diakses pada 19 Januari 2019 Pukul 21.55 WIB.
- Fachri, M. R., Ira D. Sara dan Yuwaldi Away. 2015. Pemantauan Parameter Panel Surya Berbasis Arduino secara Real Time. *Jurnal Rekayasa Elektrika*. Vol. 11. No. 4. Hal. 123–128.
- Fitriandi, A., Endah Komalasari dan Herri Gusmedi. 2016. Rancang Bangun Alat Monitoring Arus dan Tegangan Berbasis Mikrokontroler dengan SMS Gateway. *Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro*. Vol. 10. No. 2. Hal. 87–98.

- Halim, F.R., Suwandi dan Suhendi, A. 2016. Rancang Bangun Syringe Pump Menggunakan Motor Stepper Berbasis Arduino. *e-Proceeding of Engineering*. Vol. 3. No. 2. Hal. 2078-2085.
- Husni. 2004. *Pemrograman Database dengan Delphi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Jones, Larry D. dan A. Foster Chin. 1991. *Electronics Instruments and Measurements*. Upper Saddle River: Prentice-Hall.
- Kamalia, L. 2019. Analisis Laju Korosi Bahan Cu-Zn dengan Metode Sacrificial Anode pada Sistem Energi Listrik Alternatif Berbasis Air Laut. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Larcher, D. dan J. M. Tarascon. 2015. Towards Greener And More Sustainable Batteries For Electrical Energy Storage. *Nature Chemistry*. Vol. 7. No. 1. Hal. 19–29.
- Mantech Electronics. 2017. *Datasheet LCD I2C*. Johannesburg: Mantech Electronics (Pty) Ltd.
- Maulana, N., Oki D. Nurhayati dan Eko D. Widiyanto. 2016. Perancangan Sistem Sensor Pemonitor Lingkungan Berbasis Jaringan Sensor Nirkabel. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Komputer*. Vol. 4. No. 2. Hal. 353–360.
- Maxim Integrated. 2015. *Extremely Accurate I2C Integrated TC/TCXO/Crystal DS3231*. Bellandur: Maxim Integrated Inc.
- Morris, S. 2017. *Delphi Made Simple*. New York: Routledge.
- Mourant, A. 2016. Next Generation Batteries Will Power Up The Energy Storage Industry. *Renewable Energy Focus*. Vol. 17. No. 1. Hal. 41–43.
- Muhayadi, S. 2018. Rancang Bangun Sistem Data Logger Resistivity Meter Digital Berbasis Arduino Mega 2560. *Thesis*. Universitas Mataram. Mataram.
- Mutohar, Amin. 2008. *Komunikasi Data SPI Pada Mikrokontroler MCS51*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Mybotic. 2018. *Micro SD Card Tutorial*. Tersedia di <https://www.instructables.com/id/Micro-SD-Card-Tutorial/>. Diakses pada 27 Februari 2019 Pukul 22.09 WIB.
- Pamungkas, M., Hafiddudin dan Y. S. Rohmah. 2017. Perancangan dan Realisasi Alat Pengukur Intensitas Cahaya. *Jurnal Elkomika*, Vol. 3. No. 2. 120–132.
- Park, S., Baskhar Senthilkumar, Kyoungcho Kim, Soo M. Hwang dan Youngsik Kim. 2016. Saltwater as The Energy Source for Low-Cost, Safe Rechargeable Batteries. *Journal of Materials Chemistry A*. Vol. 4. No. 19. 7207–7213.

- Pauzi, G. A., K. C. Riski, S. W. Suciwati, Junaidi, A. Surtono, A. Supriyanto dan Warsito. (2019). Improvement of Electrical Characteristics of Electrochemical Cells made from Sea Water Using Electroplating Method of Cu(Ag)-Zn Electrode as Renewable Energy Source Improvement of Electrical Characteristics of Electrochemical Cells made from Sea Water. *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1338. No. 1.
- Peatross, Justin dan Ware Michael. 2015. *Physics of Light and Optics*. Provo: Universitas Brigham Young.
- Pieters, A. 2015. *DS3231-Precision Real Time Clock*. Tersedia di <https://www.studiopieters.nl/ds3231-precision-real-time-clock/>. Diakses pada 27 Februari 2019 Pukul 23.34 WIB.
- Putra, I. B. E., M. Jasa Afroni dan Oktriza Melfazen. 2019. Perencanaan Penyiraman Otomatis Bertenaga Surya Berbasis Arduino Uno Untuk Tanaman Bibit Jenitri. *Science Electro*. Vol. 9. No. 1. Hal. 1–5.
- Rawashdeh, M. 2013. *BH1750 Digital Light Meter*. Tersedia di <http://www.instructables.com/id/BH1750-Digital-Light-Sensor/>. Diakses pada 12 Januari 2019 Pukul 19.00 WIB.
- Riyanto. 2013. *Elektrokimia dan Aplikasinya*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Rizki, K. C. (2019). Analisis Pengaruh Elektroplating Perak (Ag) pada Tembaga (Cu) Terhadap Karakteristik Elektrik Air Laut Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Rohm Semiconductor. 2011. *Datasheet BH1750*. Rohm Semiconductor.
- Samsung. 2013. *Samsung SD & MicroSD Card Product Family*. Tersedia di <http://www.farnell.com/datasheets/1836582.pdf>. Diakses pada 27 Februari 2019 Pukul 21.30 WIB.
- Serway, Raymond A. dan John W. Jewwet. 2004. *Physics for Scientist and Engineers*. California: Thomson Brooks/Cole.
- Suciwati, S. W., Warsito, Amir S., Aris S., Giri A. M., Gurum A. P. 2018. Karakterisasi Kelistrikan Air Payau Dan Air Sungai Sebagai Bahan Elektrolit. *Spektra: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*. Vol. 3 No. 1. Hal. 47–56.
- Susanto, A., Mulyono S. Baskoro, Sugeng H. Wisudo, M. Riyanto dan Fis Purwangka. 2018. Ujicoba DC converter dengan Baterai Air Laut Cu-Zn sebagai Sumber Energi Lampu untuk Perikanan Bagan Tancap. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*. Vol. 8. No. 1. Hal. 10–18.
- Syahwil, M. 2013. *Panduan Mudah Simulasi dan Praktek Mikrokontroller Arduino*. Yogyakarta: Andi.

- Texas Instruments. 2015. *Zero-Drift, Bi-Directional Current Power Monitor with I2C Interface Datasheet (Rev. G)*. Texas: Texas Instruments Inc.
- The Engineering Projects. 2018. *Introduction to Arduino Nano*. Tersedia di <https://www.theengineeringprojects.com/2018/06/introduction-to-arduino-nano.html>. Diakses pada 26 Januari 2019 Pukul 09.30 WIB.
- Thompson, L. M. 2006. *Basic Electricity And Electronics For Control Fundamentals And Application*. Ann Arbor: Instrument Society of America.
- Tricahyono, R. W., & Kholis, N. 2016. Sistem Monitoring Intensitas Cahaya Dan Daya Pada Dual Axis Solar Tracking System Berbasis IoT. *Jurnal Mahasiswa Unesa*.
- Twidell, J. dan Ton W. 2015. *Renewable Energy Resources*. Abingdon: Routledge.
- Wahyono, A. H. 2018. Aplikasi Monitoring dan Management Kontrol Pemakaian Daya Listrik Rumah Susun Sederhana Berbasis Android. *Skripsi*. Universitas Muhammadiyah Malang. Malang.