

**RANCANG BANGUN ALAT UKUR KONSENTRASI ION Pb(II)
BERBASIS MIKROKONTROLLER ARDUINO UNO R3 DAN
KOMUNIKASI DATA *VISIBLE LIGHT COMMUNICATION* (VLC)**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana
di Jurusan Fisika Pada Fakultas MIPA**

OLEH:

GRAHADI GANANG ADITYA

08021382126097



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2025

MOTTO

Ga usah banyak ngeluh.

Just Do It dan Do The Best.

Jangan katakan tidak bisa kepadaku sebelum kamu mati mencobanya.

(Muhammad Al-Fatih)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, mahasiswa Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya :

Nama : Grahadi Ganang Aditya

NIM : 08021382126097

Judul TA : Rancang Bangun Alat Ukur Konsentrasi Ion Pb(II) Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno R3 dan Komunikasi Data *Visible Light Communication* (VLC)

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun dengan judul tersebut adalah asli atau orisinalitas dan mengikuti penulisan karya ilmiah sampai pada waktu skripsi ini diselesaikan, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika Universitas Sriwijaya.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun. Apabila dikemudian hari terdapat kesalahan atau keterangan yan tidak benar dalam pernyataan ini, maka saya siap bertanggung jawab secara akademik dan bersedia menjalani proses hukum yang ditetapkan.

Indralaya, 24 Februari 2025

Penulis



Grahadi Ganang Aditya

NIM 08021382126097

LEMBAR PENGESAHAN

**RANCANG BANGUN ALAT UKUR KONSENTRASI ION TIMBAL(II)
BERBASIS MIKROKONTROLLER ARDUINO UNO R3 DAN KOMUNIKASI
DATA VISIBLE LIGHT COMMUNICATION (VLC)**

Skripsi

Dibuat sebagai Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Jurusan Fisika Fakultas MIPA

Oleh:

GRAHADI GANANG ADITYA

NIM 08021382126097

Indralaya, 24 Februari 2025

Menyetujui,

Pembimbing I



Dr. Assaidah, S.Si., M.Si.
NIP 198205222006042001

Pembimbing II



Dr. Idha Royani, S.Si., M.Si.
NIP 197105151999032001

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika**



Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T.
NIP 197009101994121001

**RANCANG BANGUN ALAT UKUR KONSENTRASI ION Pb(II) BERBASIS
MIKROKONTROLLER ARDUINO UNO R3 DAN KOMUNIKASI DATA
VISIBLE LIGHT COMMUNICATION (VLC)**

Oleh :
Grahadi Ganang Aditya
08021382126097

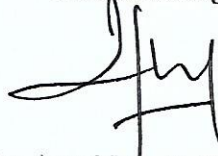
ABSTRAK

Alat ukur konsentrasi ion Pb(II) telah dirancang dengan metode potensiometri menggunakan Arduino UNO R3 dan terintegrasi komunikasi data VLC menggunakan laser merah dan sel surya. Nilai konsentrasi ion Pb(II) diperoleh dari hasil konversi nilai tegangan yang diukur dengan ADS1220. Alat ukur yang dirancang mampu mengukur konsentrasi ion Pb(II) dengan ketelitian 0,1 ppm dengan persentase akurasi 99,03851%; persentase RSD 0,68123%; tingkat *error* 0,96149%; nilai koefisien relasi (r) 0,99018; nilai koefisien determinasi (R^2) 0,98045; dan nilai intersep (a) 0,05603. VLC berhasil dilakukan dua arah menggunakan dua Modem dengan Modem 1 sebagai kontrol untuk Modem 2 mengambil data kemudian menerima kembali data hasil pengukuran konsentrasi ion Pb(II) dari Modem 2. Sel surya sebagai *receiver* memiliki respon frekuensi terhadap laser merah sebagai media pembawa data hingga 20 Hz dengan *data rate* 40 bps menggunakan modulasi 2 PWM 50 ms. Menggunakan VLC pengiriman data hasil pengukuran konsentrasi ion Pb(II) dengan jarak transmisi hingga 100 meter pada komunikasi di medium udara dan 3 meter pada komunikasi di medium air jernih.

Kata Kunci: *Pb(II), Arduino UNO R3, Ion Imprinted Polymers (IIPs), Laser, Sel Surya, VLC*

Indralaya, 24 Februari 2025
Menyetujui,

Pembimbing I



Dr. Assaidah, S.Si., M.Si.
NIP 198205222006042001

Pembimbing II



Dr. Idha Royani, S.Si., M.Si.
NIP 197105151999032001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T.
NIP 197009101994121001

**DEVELOPMENT OF A Pb(II) ION CONCENTRATION MEASUREMENT
DEVICE BASED ON ARDUINO UNO R3 MICROCONTROLLER AND
VISIBLE LIGHT COMMUNICATION (VLC)**

By :
Grahadi Ganang Aditya
08021382126097

ABSTRACT

A Pb(II) ion concentration measurement device has been designed using the potentiometric method with an Arduino UNO R3, integrated with data communication via Visible Light Communication (VLC) using a red laser and a solar cell. The Pb(II) ion concentration value is obtained by converting the voltage measurement results from the ADS1220. The developed measurement system is capable of detecting Pb(II) ion concentrations with a precision of 0.1 ppm, an accuracy of 99.03851%; a relative standard deviation (RSD) of 0.68123%; an error rate of 0.96149%; a correlation coefficient (r) of 0.99018; a coefficient of determination (R^2) of 0.98045; and an intercept value (a) of 0.05603. Bidirectional VLC communication was successfully implemented using two modems, where Modem 1 functions as a controller to instruct Modem 2 to collect data and subsequently transmit the Pb(II) ion concentration measurement results back to Modem 1. The solar cell, serving as the receiver, exhibits a frequency response to the red laser as a data carrier up to 20 Hz, achieving a data rate of 40 bps using 2-PWM modulation with a 50 ms pulse width. The VLC system enables data transmission of Pb(II) ion concentration measurements over a distance of up to 100 meters in an air medium and 3 meters in a clear water medium.

Keywords: *Pb(II), Arduino UNO R3, Ion Imprinted Polymers (IIPs), Laser, Solar Cell, VLC*

Indralaya, 24 Februari 2025

Menyetujui,

Pembimbing I



Dr. Assaidah, S.Si., M.Si.
NIP 198205222006042001

Pembimbing II



Dr. Idha Royani, S.Si., M.Si.
NIP 197105151999032001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika



Dr. Fransyah Virgo, S.Si., M.T.
NIP 197009101994121001

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT karena atas berkat Rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “Rancang Bangun Alat Ukur Konsentrasi Ion Pb(II) Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno R3 dan Komunikasi Data *Visible Light Communication* (VLC)”. Penyusunan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi syarat kelulusan dan memperoleh gelar Sarjana Sains di Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Dalam proses penyusunan skripsi dari awal mulai penulisan hingga akhir proses penelitian penulis banyak mendapatkan dukungan dan bantuan berupa doa, bimbingan, kritik, saran, dan materi dari berbagai pihak yang secara khusus penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

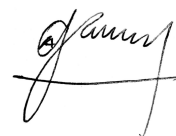
1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat, anugrah, ilmu, kesempatan dan kesehatan dari-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
2. Papa Sholeh Nuryadi, Mama Apriliana, Kakak Nugroho Anis Wijanarko dan Adik Risti Asmi Nurlia yang selalu mendoakan, membantu, memberikan dukungan, dan menjadi motivasi penulis.
3. Bapak Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Dr. Assaidah, S.Si., M.Si. sebagai Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan bantuan, arahan, bimbingan kepada Penulis, dan juga banyak memberi jalan bagi Penulis untuk meningkatkan kapasitas diri Penulis.
5. Ibu Dr. Idha Royani, S.Si., M.Si. sebagai Dosen Pembimbing II yang juga telah banyak memberikan bantuan, arahan, dan bimbingan kepada Penulis.
6. Bapak Drs. Octavianus Cakrya Satya, M.T., Bapak Dr. Supardi, S.Pd., M.Si., dan Ibu Dr. Erry Koriyanti, S.Si., M.T. sebagai Dosen Penguji yang telah banyak memberikan saran dan kritik yang membangun terhadap skripsi Penulis sehingga dapat diselesaikan dengan baik.
7. Bapak Hadi, S.Si., M.T. selaku dosen Pembimbing Akademik Penulis yang telah membimbing dan membantu Penulis selama masa kuliah.

8. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Fisika yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama proses perkuliahan.
9. Staff Jurusan Fisika khususnya Kak David yang telah banyak membantu penulis dalam proses administrasi.
10. Rekan-rekan penelitian dalam “VLC Team” dan “PEJUANG KAPE & TEA” yang telah menjadi rekan diskusi selama proses penelitian.
11. Bang Rendy sebagai “*coach*” dalam masalah mikrokontoler dan *programming* yang banyak membantu Penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
12. Bang Ihsan yang telah membantu dan mengarahkan Penulis selama pengujian di Lab Material.
13. Teman-teman seperjuangan dari Asisten Laboratorium Elektronika, Laboratorium Komputasi, Laboratorium Sains Material, KBI ELINKOMNUK 2021, dan secara umum Pioneer 21, sebuah kebanggaan karena namanya lahir dari pikiran Penulis. *See You On Top!*
14. Semua pihak yang telah membantu penyelesaian tugas akhir yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
15. Terakhir, terima kasih untuk Alvina Rahma Agung, mari terus bertumbuh dan berproses bersama.

Semoga semua pihak yang membantu penulis secara langsung maupun tidak langsung diberikan kemudahan dan kelancaran dalam kehidupannya dan menjadi amal jariah buat kita semua. Apabila saya ada salah kata dan perbuatan saya meminta maaf sebesar-besarnya dan saya ucapkan terima kasih banyak untuk semuanya. Salam Hangat dari Penulis.

Indralaya, 24 Februari 2025

Penulis



Grahadi Ganang Aditya
NIM 08021382126097

DAFTAR ISI

MOTTO.....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan.....	3
1.5. Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. <i>Visible Light Communication</i> (VLC).....	5
2.2. Komunikasi Bawah Air	7
2.3. <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM).....	8
2.4. Laser	9
2.5. Sel Surya.....	11
2.6. Mikrokontroller	12
2.7. Sensor	13
2.7.1. Karakteristik Sensor	13
2.8. ADS1220	14
2.9. Pb.....	15
2.10. <i>Ion Imprinted Polymers</i> (IIPs).....	16
2.11. Metode Potensiometri.....	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1. Waktu dan Tempat	19

3.2.	Alat dan Bahan	19
3.3.	Diagram Alir Penelitian.....	20
3.4.	Perancangan Alat	20
3.4.1.	Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	20
3.4.2.	Perancangan Program.....	22
3.5.	Kalibrasi Pengukur Tegangan (ADS1220).....	22
3.6.	Pembuatan Larutan Uji Konsentrasi Pb(II).....	22
3.7.	Pembuatan Larutan Internal IIPs Pb(II)	23
3.8.	Analisis Karakteristik Alat Ukur	23
3.9.	Pengujian Sistem	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		24
4.1.	Hasil Perancangan Alat.....	24
4.1.1.	Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	24
4.1.2.	Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	26
4.1.3.	Sensor Konsentrasi Ion Pb(II).....	29
4.2.	Hasil Pembuatan Bahan.....	31
4.2.1.	Hasil Pembuatan Pembuatan Larutan Internal IIPS Pb(II)	31
4.2.2.	Hasil Pembuatan Larutan Uji Konsentrasi Pb(II)	31
4.3.	Pengujian Alat Ukur	32
4.3.1.	Kalibrasi Pengukur Tegangan (ADS1220).....	32
4.4.	Analisis Karakteristik Alat Ukur	34
4.5.	Hasil Pengujian Sistem <i>Visible Light Communication</i> (VLC)	39
4.5.1.	Respon Frekuensi <i>Receiver</i> Sel Surya terhadap Laser Merah	39
4.5.2.	Pengiriman Data pada Medium Udara.....	41
4.5.3.	Pengiriman Data pada Medium Air.....	44
BAB V PENUTUP.....		47
5.1.	Kesimpulan.....	47
5.2.	Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA		48
LAMPIRAN.....		54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Spektrum Elektromagnetik (Giancoli, 2016).....	5
Gambar 2. 2 Diagram blok sistem umum IM/DD pada VLC (Zafar et al., 2017). 7	
Gambar 2. 3 Bentuk Sinyal 1 PWM dan 2 PWM (Adiono et al., 2018)	9
Gambar 2. 4 Panel Surya Polikristalin 5V/220mA.....	12
Gambar 2. 5 Modul ADS1220 (Instruments, 2016).	15
Gambar 2. 6 Skema Metode Potensiometri (Mahfuzah, 2024).	17
Gambar 2. 7 Representasi skema sel potensiometri yang berisi ISE keadaan padat dan elektroda referensi keadaan padat (Hu et al., 2016).	17
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	20
Gambar 3. 2 Skema cara kerja alat.	21
Gambar 3. 3 Rancangan Modem 1.	21
Gambar 3. 4 Rancangan Modem 2.	21
Gambar 4. 1 Modem 1.....	24
Gambar 4. 2 Modem 2.....	25
Gambar 4. 3 Rancangan sensor konsentrasi ion Pb(II).	30
Gambar 4. 4 Prototipe sensor konsentrasi ion Pb(II).....	30
Gambar 4. 5 Larutan internal IIPs Pb(II).....	31
Gambar 4. 6 (a) Larutan induk Pb(II) 500 ppm; (b) Larutan uji 0,1 – 1,0 ppm. .	31
Gambar 4. 7 Grafik Hasil Kalibrasi Pengukur Tegangan ADS1220.	34
Gambar 4. 8 Grafik Hubungan Konsentrasi Larutan Uji terhadap Tegangan.	38
Gambar 4. 9 Respon Frekuensi Receiver (Sel Surya) terhadap Laser Merah.	40
Gambar 4. 10 Grafik BER Pengiriman Data dari Modem 1 ke Modem 2 pada Medium Udara.	42
Gambar 4. 11 Grafik BER Pengiriman Data dari Modem 2 ke Modem 1 pada Medium Udara.	43
Gambar 4. 12 Grafik BER Pengiriman Data dari Modem 1 ke Modem 2 pada Medium Air.	45
Gambar 4. 13 Grafik BER Pengiriman Data dari Modem 2 ke Modem 1 pada Medium Air.	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penggunaan laser untuk VLC.	10
Tabel 2. 2 Nilai Persen Recovery berdasarkan nilai konsentrasi sampel (Riyanto, 2014).	13
Tabel 2. 3 Hasil Pengukuran Tegangan terhadap Konsentrasi Larutan Uji Pb(II) (Mahfuzah, 2024).....	18
Tabel 3. 1 Alat dan Bahan Penelitian	19
Tabel 4. 1 Konfigurasi Laser Dioda Merah ke Modul IRF520N.....	25
Tabel 4. 2 Konfigurasi Pin Modul IRF520N ke Arduino UNO R3.....	26
Tabel 4. 3 Konfigurasi Sel Surya 5V/220mA ke Arduino UNO R3.....	26
Tabel 4. 4 Konfigurasi Pin Modul microSD ke Arduino UNO R3.....	26
Tabel 4. 5 Konfigurasi Pin ADS1220 ke Arduino UNO R3.....	26
Tabel 4. 6 Fungsi Modulasi	28
Tabel 4. 7 Fungsi Demodulasi	29
Tabel 4. 8 Hasil Kalibrasi Pengukur Tegangan ADS1220.....	33
Tabel 4. 9 Hasil Persentase RSD, Error, dan Akurasi Pengukuran Tegangan Terhadap Catu Daya	34
Tabel 4. 10 Hasil Pengukuran Tegangan terhadap Konsentrasi Larutan Uji Pb(II).	36
Tabel 4. 11 Hasil Persentase RSD, Error, dan Akurasi Pengukuran Tegangan Terhadap Konsentrasi Larutan Uji Pb(II).....	37
Tabel 4. 12 Respon Frekuensi Receiver (Sel Surya) terhadap Laser Merah	40
Tabel 4. 13 Pengiriman Data dari Modem 1 ke Modem 2 pada Medium Udara..	41
Tabel 4. 14 Pengiriman Data dari Modem 2 ke Modem 1 pada Medium Udara..	42
Tabel 4. 15 Pengiriman Data dari Modem 1 ke Modem 2 pada Medium Air.	44
Tabel 4. 16 Pengiriman Data dari Modem 2 ke Modem 1 pada Medium Air.	46

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jumlah perangkat seluler di seluruh dunia telah meningkat pesat beberapa tahun terakhir. Penggunaan *smartphone* dan sensor menjadi semakin umum dalam kehidupan sehari-hari. Peningkatan jumlah penggunaan perangkat yang canggih tersebut berbanding lurus dengan meningkatnya kebutuhan pengguna terhadap komunikasi/akses internet (Matheus et al., 2019). Saat ini, industri telekomunikasi bergantung pada gelombang radio dari spektrum elektromagnetik untuk transmisi data. Meskipun begitu, gelombang radio memiliki batasan dalam hal kapasitas, efisiensi, ketersediaan, dan keamanan (I. Siddique et al., 2019). Ketersediaan spektrum gelombang radio yang terbatas dan mahal mendorong pemenuhan kebutuhan transmisi nirkabel lain yang saling melengkapi (Zafar et al., 2017). *Visible Light Communication* (VLC) dapat menjadi solusi dari meningkatnya *traffic* komunikasi melalui gelombang radio yang dalam dua dekade terakhir mengalami peningkatan secara eksponensial. Selain itu, spektrum dari VLC juga luas dengan mencakup ratusan terahertz *bandwidth* bebas lisensi (Pathak et al., 2015). Hal itu berbeda dengan gelombang radio yang spektrumnya dibagi alokasinya untuk penggunaan sipil dan militer serta memiliki lisensi untuk penggunaan frekuensinya (Lian et al., 2019).

Penelitian terkait VLC dimulai pada tahun 1999 dengan menggunakan LED sebagai transmitter yang berhasil melakukan eksperimen pengiriman data audio (Pang et al., 1999). Kemudian pada tahun 2004, penelitian terkait pengaruh *field of view* (FOV) *receiver* terhadap cahaya LED yang mentransmisikan data memberikan hasil bahwa semakin kecil FOV maka *data rate* transmisi semakin bagus. Penelitian tersebut mensimulasikan transmisi data pada jarak 1,65m dengan kecepatan transmisi hingga 200 Mbps dengan sistem yang tidak memiliki *tracking* dan transmisi data hingga 10 Gbps dengan sistem yang memiliki *tracking* (Komine & Nakagawa, 2004). Selain LED, sumber cahaya tampak yang digunakan sebagai media untuk transmisi data VLC adalah cahaya laser yang pertama kali digunakan untuk mentransmisikan data oleh Bell Labs pada tahun 1960an (Goodwin, 1970). Pada tahun 2014, dengan modulasi 16-QAM-OFDM dan metode *multiple-input*

multiple-output (MIMO) transmisi data menggunakan laser dioda mencapai hingga 100 Gbps (Chang et al., 2014). Laser dioda RGBV (*Red, Green, Blue, Violet*) pada jarak transmisi 2 meter dengan polarisasi tunggal berhasil mencapai transmisi data hingga 26,228 Gbps (Chow et al., 2020). VLC menggunakan Laser GaN pada komunikasi dengan medium udara, air, dan serat optik plastik berhasil melakukan transmisi data dengan kecepatan 2,5 Gbps (Najda et al., 2022).

VLC dengan *transmitter* laser dioda telah berhasil mentransmisikan data dari PC ke PC dengan kecepatan 2 Mbps menggunakan Modem mikrokontroler dan *receiver* LDR (Rahouma et al., 2021). Penelitian lain juga telah berhasil melakukan komunikasi dengan panel surya film tipis a-Si sebagai *receiver* dan laser putih sebagai *transmitter* yang memberikan kecepatan transmisi data 1,2 Mbps di udara bebas pada jarak 15 meter; 908,2 kbps di kolam renang luar ruangan pada jarak 2,4 meter (Kong et al., 2019). Pengiriman data audio dari sensor suara *microphone* juga telah berhasil dilakukan dengan *transmitter* laser dioda dan *receiver* sel fotovoltaik (Firmansyah et al., 2023).

Integrasi VLC dan sensor telah diteliti untuk komunikasi antar kendaraan menggunakan *MEMS control sensor* atau fotodiode dengan aplikasi penggunaan di luar ruangan (A. Siddique et al., 2021). Sensor gambar dan sensor akselerasi juga telah digunakan untuk penggunaan di dalam ruangan pada sistem penentuan posisi berbasis VLC (Huynh & Yoo, 2016). Namun, hingga saat ini belum ada penelitian terkait penggunaan VLC dan sensor untuk memonitoring konsentrasi ion Pb(II) di lingkungan perairan. Penelitian tersebut penting untuk dilakukan karena ketersediaan air bersih khususnya di Indonesia mengalami penurunan dari tahun ke tahun. Biasanya air yang sudah tercemar oleh limbah memiliki kandungan logam berat. Dari sudut pandang toksikologi, logam berat Zn, Cu, Fe, Co, Mn, dan Ni masih diperlukan oleh makhluk hidup dalam skala yang kecil dan tidak berlebihan. Sedangkan logam berat Hg, Cd, Pb, dan Cr termasuk logam berat yang beracun dan tidak dibutuhkan oleh tubuh (Yudo, 2018).

Penelitian terkait pengukuran konsentrasi Pb telah dilakukan oleh (Mahfuzah, 2024) yang merancang bangun alat ukur konsentrasi ion Pb(II) berbasis mikrokontroler NodeMCU ESP32 menggunakan metode potensiometri. Alat tersebut berhasil mengukur konsentrasi ion Pb(II) dengan pengukuran konsentrasi

0,1 ppm hingga 1 ppm. Pada penelitian lain terkait VLC, telah dilakukan penelitian yang menggunakan cahaya tampak laser merah untuk mengirimkan data secara dua arah dalam medium udara dan air (Karenina, 2024). Oleh karena itu, untuk melakukan pengembangan terhadap dua penelitian tersebut penulis akan mengimplementasikan VLC untuk komunikasi dua arah di lingkungan perairan menggunakan laser merah yang akan diintegrasikan dengan sensor pengukuran konsentrasi ion Pb(II).

1.2. Perumusan Masalah

1. Bagaimana cara mendesain Modem VLC berbasis mikrokontroller Arduino UNO R3 untuk komunikasi data sensor konsentrasi ion logam Pb(II)?
2. Bagaimana laser dioda dapat digunakan sebagai *transmitter* dan sel surya sebagai *receiver* pada VLC untuk komunikasi data sensor konsentrasi ion logam Pb(II)?
3. Bagaimana perbandingan kinerja VLC dalam medium udara dan bawah air (*underwater*) pada pengiriman data hasil pengukuran konsentrasi ion logam Pb(II)?

1.3. Batasan Masalah

1. Menggunakan Arduino UNO R3 sebagai mikrokontroller pada Modem VLC dan pengukuran konsentrasi ion logam Pb(II).
2. Menggunakan laser merah sebagai transmitter dan sel surya sebagai receiver pada VLC.

1.4. Tujuan

1. Mendesain Modem VLC berbasis mikrokontroller Arduino UNO R3 untuk komunikasi data sensor konsentrasi ion logam Pb(II).
2. Mengimplementasikan laser dioda sebagai *transmitter* dan sel surya sebagai *receiver* pada VLC untuk komunikasi data sensor konsentrasi ion logam Pb(II).
3. Menyelidiki kinerja VLC dalam medium udara dan bawah air pada pengiriman data hasil pengukuran konsentrasi ion logam Pb(II) pada pengiriman data hasil pengukuran konsentrasi ion logam Pb(II).

1.5. Manfaat

1. Menghasilkan alat yang digunakan untuk mengukur konsentrasi ion Pb(II) di lingkungan perairan dan terintegrasi VLC.
2. Menjadi inovasi dalam pembuatan alat ukur konsentrasi ion logam Pb(II) yang terintegrasi dengan VLC.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiono, T., Pradana, A., & Fuada, S. (2018). Rancang Bangun Sistem Komunikasi Cahaya Tampak dengan Modulasi 2-PWM berbasis Mikrokontroller. *JURNAL SISFO Inspirasi Profesional Sistem Informasi*, 8(2), 1–18.
- Al-Zhrani, S., Bedaiwi, N. M., El-Ramli, I. F., Barasheed, A. Z., Abduldaiem, A., Al-Hadeethi, Y., & Umar, A. (2021). Underwater Optical Communications: A Brief Overview and Recent Developments. *Engineered Science*, 16, 146–186. <https://doi.org/10.30919/es8d574>
- Ananda, P. F. (2024). Pengembangan Prototipe Transceiver Visible Light Communication Dalam Medium Udara dan Air Menggunakan Cahaya Led Putih. In *Universitas Sriwijaya*. Universitas Sriwijaya.
- Awaluddin, Wahab, A. W., & Maming. (2014). Desain Elektroda Selektif Ion untuk Logam Timbal (II) (ESI-Pb (II)) Menggunakan Ionofor. *Jurnal Kimia*, 10(Ii), 24–33.
- Baykal, Y., Ata, Y., & Gökçe, M. C. (2022). Underwater turbulence, its effects on optical wireless communication and imaging: A review. *Optics and Laser Technology*, 156(September). <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2022.108624>
- Bolanakis, Di. E. (2019). A Survey of Research in Microcontroller Education. *Revista Iberoamericana de Tecnologias Del Aprendizaje*, 14(2), 50–57. <https://doi.org/10.1109/RITA.2019.2922856>
- Carver, C. J., Tian, Z., Zhang, H., Odame, K. M., Li, A. Q., & Zhou, X. (2020). AmphiLight: Direct air-water communication with laser light. *Proceedings of the 17th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation, NSDI 2020*, 24(3), 373–388.
- Chang, C. H., Li, C. Y., Lu, H. H., Lin, C. Y., Chen, J. H., Wan, Z. W., & Cheng, C. J. (2014). A 100-Gb/s multiple-input multiple-output visible laser light communication system. *Journal of Lightwave Technology*, 32(24), 4723–4729. <https://doi.org/10.1109/JLT.2014.2365451>
- Chow, C. W., Chang, Y. H., Wei, L. Y., Yeh, C. H., & Liu, Y. (2020). 26.228-Gbit/s RGBV Visible Light Communication (VLC) with 2-m Free Space Transmission. *25th Opto-Electronics and Communications Conference*,

- OECC 2020, Vlc*, 20–22. <https://doi.org/10.1109/OECC48412.2020.9273596>
- Chun, H., Gomez, A., Quintana, C., Zhang, W., Faulkner, G., & O'Brien, D. (2019). A Wide-Area Coverage 35 Gb/s Visible Light Communications Link for Indoor Wireless Applications. *Scientific Reports*, 9(1), 4–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41397-6>
- Du, M., Xu, Z., Xue, Y., Li, F., Bi, J., Liu, J., Wang, S., Guo, X., Zhang, P., & Yuan, J. (2024). Application Prospect of Ion-Imprinted Polymers in Harmless Treatment of Heavy Metal Wastewater. In *Molecules* (Vol. 29, Issue 13). <https://doi.org/10.3390/molecules29133160>
- Firmansyah, M. A., Adnan, Y., & Saleh, K. (2023). Application of photovoltaic cells as a visible light communication (VLC)-based voice receiver using laser diodes as light sources. *AIP Conference Proceedings*, 2913(1), 30008. <https://doi.org/10.1063/5.0175865>
- Giancoli, D. C. (2016). *Physics Principles With Applications* (Seventh Ed). Pearson Education, Inc.
- Goodwin, F. E. (1970). A Review of Operational Laser Communication Systems. *Proceedings of the IEEE*, 58(10), 1746–1752. <https://doi.org/10.1109/PROC.1970.7998>
- Hu, J., Stein, A., & Bühlmann, P. (2016). Rational design of all-solid-state ion-selective electrodes and reference electrodes. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 76, 102–114. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.11.004>
- Husnah, H. (2018). Aplikasi Membran Keramik Buatan Dengan Pretreatment Pada Penjernihan Air Sungai Musi. *Jurnal Redoks*, 3(1), 1. <https://doi.org/10.31851/redoks.v3i1.2784>
- Huynh, P., & Yoo, M. (2016). VLC-based positioning system for an indoor environment using an image sensor and an accelerometer sensor. *Sensors (Switzerland)*, 16(6). <https://doi.org/10.3390/s16060783>
- Instruments, T. (2016). *ADS1220 4-Channel, 2-kSPS, Low-Power, 24-Bit ADC with Integrated PGA and Reference*. 1.
- Jalil, R., Sabbar, A., Fakhrudeen, H. F., & Jabbar, F. I. (2022). Design and implementation of PC to PC data transmission using wireless visible light communication system. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and*

Computer Science, 26(3), 1423–1428.
<https://doi.org/10.11591/ijeecs.v26.i3.pp1423-1428>

- Jamil, N. A. A., Jumaat, S. A., Salimin, S., Abdullah, M. N., & Nor, A. F. M. (2020). Performance enhancement of solar powered floating photovoltaic system using arduino approach. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 11(2), 651–657. <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v11.i2.pp651-657>
- Komine, T., & Nakagawa, M. (2004). Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 50(1), 100–107. <https://doi.org/10.1109/TCE.2004.1277847>
- Kong, M., Lin, J., Kang, C. H., Shen, C., Guo, Y., Sun, X., Sait, M., Weng, Y., Zhang, H., Ng, T. K., & Ooi, B. S. (2019). Toward self-powered and reliable visible light communication using amorphous silicon thin-film solar cells. *Optics Express*, 27(24), 34542. <https://doi.org/10.1364/oe.27.034542>
- Kurniawan, E., Pangaudi, D. S., & Widjatmoko, E. N. (2022). Perancangan Sistem Monitoring Konsumsi Daya Listrik Berbasis Android. *Cyclotron*, 5(1), 63–68. <https://doi.org/10.30651/cl.v5i1.8772>
- Lian, J., Vatansever, Z., Noshad, M., & Brandt-Pearce, M. (2019). Indoor visible light communications, networking, and applications. *JPhys Photonics*, 1(1). <https://doi.org/10.1088/2515-7647/aaf74a>
- Mahfuzah, D. M. (2024). Rancang Bangun Alat Ukur Konsentrasi Ion Timbal(II) Berbasis Mikrokontroler NodeMCU ESP32 Menggunakan Metode Potensiometri. In *Universitas Sriwijaya*. Universitas Sriwijaya.
- Maslukah, L. (2007). Konsentrasi Logam Berat (Pb, Cd, Cu, Zn) Terlarut, Dalam Seston, dan Dalam Sedimen Di Estuari Banjir Kanal Barat, Semarang. *Akuatik*, 2(1), 1–4.
- Matheus, L. E. M., Vieira, A. B., Vieira, L. F. M., Vieira, M. A. M., & Gnawali, O. (2019). Visible Light Communication: Concepts, Applications and Challenges. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 21(4), 3204–3237. <https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2913348>
- Mica, N. A., Bian, R., Manousiadis, P., Jagadamma, L. K., Tavakkolnia, I., Haas, H., Turnbull, G. A., & Samuel, I. D. W. (2020). Triple-cation perovskite solar cells for visible light communications. *Photonics Research*, 8(8), A16.

<https://doi.org/10.1364/prj.393647>

- Najda, S. P., Perlin, P., Suski, T., Marona, L., Leszczyński, M., Wisniewski, P., Stanczyk, S., Schiavon, D., Slight, T., Watson, M. A., Gwyn, S., Kelly, A. E., & Watson, S. (2022). GaN Laser Diode Technology for Visible-Light Communications. *Electronics (Switzerland)*, *11*(9). <https://doi.org/10.3390/electronics11091430>
- Novitasari, E., Anggraeni, A. R., Muhiroh, -, Dahlan, M. W., & Mulyasuryani, A. (2017). Sensor Timbal Berbasis Potensiometri Untuk Mendeteksi Kadar Timbal Dalam Darah. *Jurnal Penelitian Saintek*, *21*(1), 47. <https://doi.org/10.21831/jps.v21i1.10828>
- Oladimeji, I., Adediji, Y. B., Akintola, J. B., Afolayan, M. A., Ogunbiyi, O., Ibrahim, S. M., & Olayinka, S. Z. (2020). Design and Construction of an Arduino - Based Solar Power Parameter-Measuring System With Data Logger. *Arid Zone Journal of Engineering, Technology & Environment Azojete*, *16*(2), 255–268.
- Pang, G., Kwan, T., & Chan, C. H. (1999). LED traffic light as a communications device. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, 788–793. <https://doi.org/10.1109/itsc.1999.821161>
- Pathak, P. H., Feng, X., Hu, P., & Mohapatra, P. (2015). Visible Light Communication, Networking, and Sensing: A Survey, Potential and Challenges. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, *17*(4), 2047–2077. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2476474>
- Polapa, F. S., Annisa, R. N., Annisa, R. N., Yanuarita, D., Yanuarita, D., Ali, S. M., & Ali, S. M. (2022). Quality Indeks dan Konsentrasi Logam Berat dalam Perairan dan Sedimen di Perairan Kota Makassar. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *20*(2), 271–278. <https://doi.org/10.14710/jil.20.2.271-278>
- Rahouma, K. H., Darwish, R. H., & Saddik, F. (2021). Text Data Transmission from PC to PC via Laser-based Visible Light Communication. *Egyptian Computer Science Journal*, *45*(3), 58–68.
- Riyanto. (2014). *Validasi & Verifikasi Metode Uji*. deepublish.
- Royani, I., Assaidah, Widayani, Abdullah, M., & Khairurrijal. (2019). The effect of atrazine concentration on galvanic cell potential based on molecularly

- imprinted polymers (MIPS) and aluminium as contact electrode. *Journal of Physics: Conference Series*, 1282(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1282/1/012029>
- Salsabila, A. S., & Basyaiban, M. K. (2022). Pencemaran Sungai Musi dan Upaya Penanganannya di Sumatera Selatan Tahun 2007-2021. *Environmental Pollution Journal*, 2(3), 459–473. <https://doi.org/10.58954/epj.v3i3.89>
- Saputra, R. H., & Sahara, A. (2020). Design and Build a Data Collection System for a Solar Power Plant Based on Wireless Fidelity. *Jurnal Teknovasi*, 7(02), 50–58. <https://doi.org/10.55445/jt.v7i02.15>
- Sarwar, R., Sun, B., Kong, M., Ali, T., Yu, C., Cong, B., & Xu, J. (2017). Visible light communication using a solar-panel receiver. *ICO CN 2017 - 16th International Conference on Optical Communications and Networks, 2017-Janua*, 1–3. <https://doi.org/10.1109/ICO CN.2017.8121577>
- Shamim, M. H. M., Shemis, M. A., Shen, C., Oubei, H. M., Alkhazragi, O., Ng, T. K., Ooi, B. S., & Khan, M. Z. M. (2019). Analysis of optical injection on red and blue laser diodes for high bit-rate visible light communication. *Optics Communications*, 449(February), 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2019.05.034>
- Shlomi Arnon. (2015). *Visible Light Communication* (First Edit). Cambridge University Press.
- Siddique, A., Delwar, T. S., & Ryu, J. Y. (2021). A novel optimized V-VLC receiver sensor design using μ GA in automotive applications. *Sensors*, 21(23). <https://doi.org/10.3390/s21237861>
- Siddique, I., Awan, M. Z., Khan, M. Y., & Mazhar, A. (2019). Li-Fi the Next Generation of Wireless Communication through Visible Light Communication (VLC) Technology. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, January, 30–37. <https://doi.org/10.32628/cseit1838108>
- Suastuti, D. A., Irdhawati, & Agatha, N. S. (2021). Kandungan Total Logam Pb Dalam Air dan Sedimen Serta Bioavailabilitasnya di Pantai Kedonganan Bali. *Jurnal Cakra Kimia*, 9(2), 91–99.
- Suheryanto, S., Fanani, Z., & Meilina, L. (2020). Validasi Metode Potensiometri

- untuk Penentuan Logam Timbal (Pb) pada Sampel Lindi. *Pertemuan Dan Presentasi Ilmiah Standardisasi*, 2019, 229–234. <https://doi.org/10.31153/ppis.2019.25>
- Trisnaini, I., Kumala Sari, T. N., & Utama, F. (2018). Identifikasi Habitat Fisik Sungai dan Keberagaman Biotilik Sebagai Indikator Pencemaran Air Sungai Musi Kota Palembang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 17(1), 1. <https://doi.org/10.14710/jkli.17.1.1-8>
- Tsai, C. T., Cheng, C. H., Kuo, H. C., & Lin, G. R. (2019). Toward high-speed visible laser lighting based optical wireless communications. *Progress in Quantum Electronics*, 67(1), 100225. <https://doi.org/10.1016/j.pquantelec.2019.100225>
- Tsaqifurrosyid, A., Rosmiati, M., & Rizal, M. F. (2020). Image transmission using visible light communication in data communication. *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 18(4), 1771–1776. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.V18I4.14892>
- Wang, W. C., Wang, H. Y., & Lin, G. R. (2018). Ultrahigh-speed violet laser diode based free-space optical communication beyond 25 Gbit/s. *Scientific Reports*, 8(1), 4–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31431-4>
- Yang, J., Liu, Z., Xue, B., Liao, Z., Feng, L., Zhang, N., Wang, J., & Li, J. (2018). Highly Uniform White Light-Based Visible Light Communication Using Red, Green, and Blue Laser Diodes. *IEEE Photonics Journal*, 10(2). <https://doi.org/10.1109/JPHOT.2018.2802933>
- Yudo, S. (2018). Kondisi Pencemaran Logam Berat Di Perairan Sungai Dki Jakarta. *Jurnal Air Indonesia*, 2(1), 1–15. <https://doi.org/10.29122/jai.v2i1.2275>
- Yusro, M., & Diamah, A. (2019). *Sensor & Transduser (Teori dan Aplikasi)*.
- Zafar, F., Bakaul, M., & Parthiban, R. (2017). Laser-Diode-Based Visible Light Communication: Toward Gigabit Class Communication. *IEEE Communications Magazine*, 55(2), 144–151. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1500672CM>
- Zaiton, A. M., Muhammad, H. R., & Jasman, F. (2020). Solar panel receiver characterisation for indoor visible light communication system. *Journal of Physics: Conference Series*, 1502(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1502/1/012016>