

Skripsi Fisika

**KARAKTERISASI SENSOR BERBASIS SERAT
OPTIK PLASTIK UNTUK MENDETEKSI KADAR
ASAM URAT**

AMALIA WIDYANIS

H211 16 009



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

**KARAKTERISASI SENSOR BERBASIS SERAT OPTIK
PLASTIK UNTUK MENDETEKSI KADAR ASAM URAT**

SKRIPSI

***Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
Pada Program Studi Fisika Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin***

**AMALIA WIDYANIS
H211 16 009**

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2021

LEMBAR PENGESAHAN

**KARAKTERISASI SENSOR BERBASIS SERAT OPTIK PLASTIK
UNTUK MENDETEKSI KADAR ASAM URAT**

Disusun dan diajukan oleh

AMALIA WIDYANIS

H211 16 009

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal 9 Februari 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

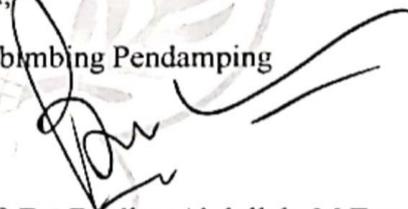
Menyetujui,

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Arifin, M.T.
NIP. 19670520 199403 1 002

Pembimbing Pendamping



Prof. Dr. Baalkar Abdullah, M.Eng. Sc.
NIP. 19550105 197802 1 001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Arifin, M.T.
NIP. 19670520 199403 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Amalia Widyanis
NIM : H211 16 009
Program Studi : FISIKA
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Karakterisasi Sensor Berbasis Serat Optik Plastik Untuk Mendeteksi Kadar Asam Urat

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhannya skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 9 Februari 2021

Yang Menyatakan



(Amalia Widyanis)

ABSTRAK

Penelitian menggunakan serat optik plastik dengan memanfaatkan rugi-rugi daya akibat adanya pelengkungan untuk pengukuran kadar asam urat telah dilakukan. Sensor serat optik plastik beroperasi berdasarkan teknik modulasi intensitas dengan informasi yang dikirim berupa data analog. LED memancarkan cahaya menuju fotodetektor yang akan dirubah menjadi tegangan listrik dan diberikan penguatan pada rangkaian penguat selisih. Tegangan keluaran yang dihasilkan akan berupa sinyal analog, sehingga digunakan mikrokontroler Arduino Uno untuk mengubah keluaran menjadi sinyal digital agar dapat terbaca di komputer. Serat optik plastik sebagai sensor dibuat dengan variasi konfigurasi loop dan spiral dengan jumlah lilitan dan diameter lengkungan yang berbeda. Pengujian dilakukan dengan 3 perlakuan berbeda pada tiap konfigurasi sensor serat optik plastik yaitu, pengukuran tanpa selubung, pengukuran dengan ZnO sebagai selubung dan pengukuran dengan pencacatan pada serat optik. Hasil pengujian sensor mendapatkan nilai karakteristik terbaik pada pengujian sensor serat optik plastik konfigurasi spiral 6 pencacatan dengan nilai *range* 0,783 Volt, sensitivitas 1,566 mV/ppm dan resolusi terbaik 0,638 ppm. Berdasarkan tegangan keluaran dari pengukuran menggunakan sensor serat optik dengan konfigurasi spiral 6 pencacatan didapatkan kadar asam urat yang terukur yaitu untuk keluaran 1,08 Volt terukur 2,5 mg/dl, 1,07 Volt terukur 3,3 mg/dl, 0,93 Volt terukur 4,15 mg/dl, 0,82 Volt terukur 5,01 mg/dl, 0,76 Volt terukur 5,87 mg/dl dan 0,67 Volt terukur 6,73 mg/dl kadar asam urat. Konfigurasi dengan banyak cacatan pada strukturnya akan menyebabkan intensitas cahaya yang ditransmisikan semakin sedikit sehingga terjadinya rugi-rugi daya yang besar.

Kata Kunci: Asam urat, sensor, serat optik, tegangan.

ABSTRACT

This research used plastic optical fibers by exploiting the power loss due to bending to measure uric acid levels. The plastic optical fiber sensor operates based on the intensity modulation technique with the information sent in the form of analog data. The LED emits light towards the photodetector which will be converted into an electric voltage and given a gain in the difference amplifier circuit. The resulting output voltage will be an analog signal, So that the Arduino Uno microcontroller is used to convert the output into a digital signal so that it can be read on a computer. The plastic optical fiber as sensor are made with various loop and spiral configurations with different number of turns and bend diameters. Tests were carried out with 3 different treatments for each plastic fiber optic sensor configuration, namely, sheathless measurement, measurements with ZnO as a sheath and measurements with defects in optical fibers. The results of the sensor test get the best characteristic values in testing the plastic fiber optic sensor with 6 defects spiral configuration with a value range of 0.783 Volt, sensitivity of 1.566 mV / ppm and the best resolution of 0.638 ppm. Based on the output voltage from the measurement using a fiber optic sensor with a spiral defect configuration of 6 imperfection, the measured uric acid levels were obtained, namely the measured output was 1.08 Volt 2,5 mg/dl, 1.07 Volt measured 3.3 mg/dl, 0,93 Volt measured 4.15 mg/dl, 0.82 Volt measured 5.01 mg/dl, 0.76 Volt measured 5.87 mg/dl and 0.67 Volt measured 6.73 mg/dl uric acid levels. Configurations with many defects in the structure will cause the intensity of light transmitted to be less, resulting in large power losses.

Keywords: *Uric acid, sensor, optical fiber, voltage.*

KATA PENGANTAR

Tiada kata yang paling pantas diucapkan selain puji dan rasa syukur kepada Allah SWT, yang telah menentukan segala sesuatu berada di tangan-Nya, sehingga pengerjaan skripsi yang semula terhambat pada saat pengambilan data akhirnya bisa terselesaikan walaupun telah melewati dari target penyelesaian diawal. Semua yang terjadi tidak lepas dari ketentuan dan ketetapan-Nya. Alhamdulillah berkat hidayah dan inayah-Nya penyusunan Skripsi yang berjudul "*Karakterisasi Sensor Berbasis Serat Optik Plastik untuk Mendeteksi Kadar Asam Urat*" dapat terselesaikan dengan baik, yang merupakan syarat untuk menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna, hal tersebut disadari oleh penulis karena adanya keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Dalam penyelesaian skripsi ini penulis mengalami banyak hambatan di tiap prosesnya, penulis juga mendapat banyak pelajaran, dukungan motivasi, serta banyak bantuan dan bimbingan yang berharga dari berbagai pihak saat awal pelaksanaan penelitian hingga penyusunan laporan skripsi diselesaikan.

Dengan segala kerendahan hati, penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada orang-orang yang telah membantu penulis secara langsung maupun tidak langsung selama pembuatan skripsi ini. Terutama kepada keluargaku yang tercinta, orang tua dan adik-adik yang penulis sayangi serta hormati. Ayahku **Drs. Muh. Anis Halide** dan Ibuku **Rosmawati**, yang selalu mendoakan, selalu mengingatkan, bahkan tidak pernah bosan untuk menanyakan perkembangan penelitian penulis hampir setiap hari serta memberikan semangat yang luar biasa dan memberikan dukungan moril maupun materil. Untuk adik-adikku **Ahmad Habib S. Anis** dan **Ahmad Al-Zaky Zakwan Anis** yang juga selalu memberikan semangat untuk kakaknya yang tercinta.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan juga kepada orang yang penulis hormati, bapak **Prof. Dr. Arifin, M.T** selaku dosen pembimbing utama dan bapak **Prof. Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng, Sc** selaku dosen pembimbing pertama yang telah banyak meluangkan waktu dan pikiran dalam mengawasi serta memberikan

arahan dan masukan kepada penulis saat proses penelitian dimulai hingga akhirnya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Ibu **Dr. Ir. Bidayatul Arminah, M.T** dan bapak **Prof. Dr. Syamsir Dewang, M.Eng, Sc** selaku tim penguji dalam melaksanakan seminar proposal, hasil dan ujian Sidang Skripsi yang telah banyak meluangkan waktunya memberikan masukan serta saran-saran demi kesempurnaan skripsi penulis.

Banyak orang baik yang berperan penting selama penulis menempuh pendidikan dan dalam proses penyelesaian pendidikan di Fisika Universitas Hasanuddin. Maka ucapan terima kasih sebesar-besarnya juga penulis haturkan kepada:

1. Seluruh **Bapak/Ibu Dosen** Departemen Fisika dan Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin yang telah mendidik dan banyak memberikan ilmu yang insyaallah bermanfaat kepada penulis.
2. Seluruh **pegawai dan jajaran staf akademik** Departemen Fisika dan Fakultas MIPA yang dengan senang hati banyak membantu penulis dalam menyelesaikan urusan-urusan akademik.
3. Teman seperjuangan sebelum dan setelah diterima di perguruan tinggi. **Sahabat penulis: Nurul, Mia, Uni Chyki, Andi Herda dan Tintong.** Telah banyak menemani proses, menasihati, mengingatkan saat sedang salah dan mendengar keluh kesah penulis. Until jannah InsyaAllah.
4. Teman-teman **sayang (Ekky, Fara, Hira, Lili, Mute, Uni, Winda, Wiwi)** yang telah menjadi saksi lika-liku dunia kampusku. Juga sebagai salah satu alasan penulis bisa aktif di organisasi karena mereka yang selalu ada. Untuk pertemanan yang tidak biasa-biasa saja, motivasinya, waktu luangnya, bantuannya, baiknya kalian, marah-marahnya, ketidakjelasannya dan sabarnya dalam menghadapi penulis. Until jannah InsyaAllah.
5. **My roommate (Ida Laila, S. Si)**, yang telah banyak penulis repotkan saat penulis butuh bantuan, selalu mengingatkan penulis saat sedang malas menggarap tugas akhir, tempat penulis asistensi pesan dan tulisan sebelum dikirim ke dosen dan sebagai teman cerita penulis. Semoga kelak cita-cita yang sering diangankan dan diceritakan berdua tercapai.

6. Kanda-kanda,teman-teman dan adik-adik anggota **Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi**, terkhusus (**Afni, Arif, Cahya, Firda, Ida, Lina, Mute, Muzul, Novi dan Winda**) yang menjadi pertner asisten, berbagi informasi serta diskusi seputar elektronika dan untuk **Muqoil Darussalam** yang banyak membantu dalam perancangan dan pembuatan alat penelitian penulis.
7. Teman-teman **Fisika 2016** yang banyak menemani dan membantu penulis selama menjalani studi di Fisika Unhas hingga menyelesaikan skripsi selama kurang lebih 4 tahun (**Mumu, Aldin, Wajan, Lina, Sita, Ida, Piddo, Ekky, Winda, ACT, Hilda, Fina, Arya, Arif, Dewa, Ilham, Petrik, Angra, Epi, Novi, Cahya, Ido, Dayah, Nidya, Mawar, Afni, Riri, Lili, Faras, Kevin, Rara, Aii, Mute dan Indri**) sengaja dijabarkan agar kelak berguna sebagai pengingat. Sedikit lagi semua akan selesai dan semoga kesuksesan menghampiri tiap-tiap dari kita. Semoga dipertemukan dimasa yang akan datang.
8. Teman-teman perhimpunan **Himafi 2016** yang telah banyak memberikan pengalaman berharga selama penulis berproses dalam organisasi di HIMAFI FMIPA UNHAS. Salam “Melangkah Bersama Semangat”.
9. Teman-teman seperjuangan **Mipa 2016** yang menemani dan ikut mengisi kisah penulis dalam berproses di KM FMIPA UNHAS. Salam MIPA 2016 “Seperti Seharusnya”.
10. Keluarga dan Teman-teman tim **said institute (Rei, Kak Risna, Suhe, Akbar, Fajri, Asti)** yang banyak membantu penulis, dan telah memberikan penulis kesempatan mendapatkan pengalaman mengajar adik-adik calon taruna/taruni yang sangat antusias dalam belajar. Sukses selalu Said Institute.
11. Teman-teman **KKN Tematik Desa Sehat Gowa Gel. 102 Tahun 2019 (Dede Febi, Ekky, Eniket, Imma, Leny, Mita, Nade’, Rama dan Ahmed) Posko Desa Manuju**. Posko yang menamai grupnya “**KKN Group Japanese**” Terima kasih telah betah serumah dengan penulis, memberikan banyak kenangan serta pengalaman berharga selama KKN dan saling menjaga (karena tempat KKN adalah desa yang saat malam sangat sepi dan gelap). Kalian keren bisa sangat akrab dalam waktu seminggu, tidak ada jaim-jaiman dan terima

kasih untuk ibu dan tetta serta keluarga besar yang sudah menyambut kami dengan ramah dirumahnya.

12. Semua pihak yang membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung dan yang telah banyak penulis repotkan baik secara terencana atau secara dadakan dalam seluruh proses perkuliahan di Universitas Hasanuddin dan proses penyelesaian skripsi.

Skripsi yang penulis buat ini masih jauh dari sempurna karena terbatasnya pengetahuan serta pengalaman yang dimiliki oleh penulis. Segala bentuk saran masukan bahkan kritikan yang bersifat membangun dari berbagai pihak diharapkan oleh penulis.

Akhir kata, penulis mengharapkan semoga tujuan dari pembuatan skripsi ini dapat tercapai sesuai dengan yang diharapkan dan bermanfaat khususnya untuk peneliti dibidang serat optik.

Makassar, Februari 2021

Amalia Widyanis
H211 16 009

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Tujuan Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 Asam Urat	4
II.2 Serat Optik	5
II.3 Karakteristik Serat Optik	9
II.3.1 Pembiasan dan Pemantulan cahaya	9
II.3.2 Tingkat Numerik (<i>Numerical Aperture</i>).....	11
II.3.3 Rugi-Rugi Daya pada Serat Optik	12
II.4 Sensor Serat Optik	14
II.5 Mikrokontroler Arduino Uno	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	17
III.2 Alat dan Bahan	17
III.3 Prosedur Penelitian	17

III.3.1 Perancangan dan Pembuatan Sensor	18
III.3.1 Persiapan Larutan Asam Urat dan Larutan Pelapis	20
III.4 Pengujian Sensor	21
III.4.1 Pengujian Sensor Serat Optik Plastik tanpa Selubung	21
III.4.2 Pengujian Sensor Serat Optik Plastik dengan Lapisan ZnO.....	21
III.4.3 Pengujian Sensor Serat Optik Plastik dengan Pencacatan.....	22
III.5 Diagram Alir Penelitian.....	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
IV.1 Perancangan dan Pembuatan Instrumentasi Sensor Serat Optik Plastik untuk Deteksi Kadar Asam Urat.....	24
IV.2 Hasil Uji Sensor Kadar Asam Urat berbasis Serat Optik Plastik Konfigurasi LOOP	25
IV.2.1 Hasil Uji Sensor Kadar Asam Urat berbasis Serat Optik Plastik Konfigurasi LOOP tanpa Lapisan	25
IV.2.2 Hasil Uji Sensor Kadar Asam Urat berbasis Serat Optik Plastik Konfigurasi LOOP dengan pelapisan ZnO.....	27
IV.2.3 Hasil Uji Sensor Kadar Asam Urat berbasis Serat Optik Plastik Konfigurasi LOOP dengan Pencacatan	28
IV.3 Hasil Uji Sensor Kadar Asam Urat berbasis Serat Optik Plastik Konfigurasi SPIRAL.....	30
IV.3.1 Hasil Uji Sensor Kadar Asam Urat berbasis Seart Optik Plastik Konfigurasi SPIRAL tanpa lapisan	30
IV.3.2 Hasil Uji Sensor Kadar Asam Urat berbasis Seart Optik Plastik Konfigurasi SPIRAL dengan pelapisan ZnO.....	32
IV.3.3 Hasil Uji Sensor Kadar Asam Urat berbasis Seart Optik Plastik Konfigurasi SPIRAL dengan Pencacatan	34
IV.4 Perbandingan Hasil Uji Sensor Terbaik Kadar Asam Urat berbasis Serat Optik Plastik Konfigurasi Loop dan Spiral	35

BAB V PENUTUP	38
V.1 Kesimpulan	38
V.2 Saran	38
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN.....	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur serat optik	6
Gambar 2.2	Grafik <i>step index</i> (kiri) dan grafik <i>graded index</i> (kanan)	7
Gambar 2.3	Indeks tangga mode tunggal	8
Gambar 2.4	Indeks tangga mode jamak	8
Gambar 2.5	Indeks tanjak mode jamal	8
Gambar 2.6	Pembiasan dan pemantulan berkas cahaya	9
Gambar 2.7	Pemantulan internal total	10
Gambar 2.8	Proses sinar datang dari udara menuju inti serat optik	12
Gambar 2.9	Rugi daya karena pelengkungan	13
Gambar 2.10	Perangkat keras papan Arduino UNO	16
Gambar 3.1	Diagram blok perancangan sensor asam urat	18
Gambar 3.2	Sensor serat optik plastik dengan konfigurasi loop	19
Gambar 3.3	Sensor serat optik plastik dengan konfigurasi spiral	20
Gambar 3.4	Diagram alir penelitian sensor kadar asam urat	23
Gambar 4.1	Grafik perubahan tegangan keluaran terhadap perubahan jumlah ppm pada konfigurasi loop tanpa selubung.....	25
Gambar 4.2	Grafik perubahan tegangan keluaran terhadap perubahan jumlah ppm pada konfigurasi loop dengan selubung ZnO	27
Gambar 4.3	Grafik perubahan tegangan keluaran terhadap perubahan jumlah ppm pada konfigurasi loop dengan pencacatan	29
Gambar 4.4	Grafik perubahan tegangan keluaran terhadap perubahan jumlah ppm pada konfigurasi spiral tanpa selubung.....	31
Gambar 4.5	Grafik perubahan tegangan keluaran terhadap perubahan jumlah ppm pada konfigurasi spiral dengan selubung ZnO.....	33
Gambar 4.6	Grafik perubahan tegangan keluaran terhadap perubahan jumlah ppm pada konfigurasi spiral dengan pencacatan.....	34
Gambar 4.7	Grafik perbandingan perubahan tegangan keluaran konfigurasi loop dan spiral	36
Gambar 4.8	Grafik hubungan antara tegangan keluaran dengan kadar asam urat	37

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Karakteristik sensor kadar asam urat berbasis serat optik plastik konfigurasi loop tanpa selubung	26
Tabel 4.2	Karakteristik sensor kadar asam urat berbasis serat optik plastik konfigurasi loop dengan selubung ZnO	28
Tabel 4.3	Karakteristik sensor kadar asam urat berbasis serat optik plastik konfigurasi loop dengan pencacatan	30
Tabel 4.4	Karakteristik sensor kadar asam urat berbasis serat optik plastik konfigurasi spiral tanpa selubung	32
Tabel 4.5	Karakteristik sensor kadar asam urat berbasis serat optik plastik konfigurasi spiral dengan selubung ZnO	33
Tabel 4.6	Karakteristik sensor kadar asam urat berbasis serat optik plastik konfigurasi spiral dengan pencacatan	35

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Alat dan bahan	42
Lampiran 2. Konfigurasi sensor	43
Lampiran 3. Pengukuran kadar asam urat menggunakan sensor SOP	43
Lampiran 4. Data tegangan keluaran pada pengukuran kadar asam urat konfigurasi loop tanpa selubung	44
Lampiran 5. Data tegangan keluaran pada pengukuran kadar asam urat konfigurasi loop dengan selubung ZnO	44
Lampiran 6. Data tegangan keluaran pada pengukuran kadar asam urat konfigurasi loop dengan pencacatan	45
Lampiran 7. Data tegangan keluaran pada pengukuran kadar asam urat konfigurasi spiral tanpa selubung	45
Lampiran 8. Data tegangan keluaran pada pengukuran kadar asam urat konfigurasi spiral dengan selubung ZnO	46
Lampiran 9. Data tegangan keluaran pada pengukuran kadar asam urat konfigurasi spiral dengan pencacatan.....	46
Lampiran 10. Perhitungan konversi jumlah ppm menjadi kadar asam urat (mg/dl)	47

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Aktivitas kehidupan manusia dengan pola kehidupan yang sibuk menyebabkan kurangnya perhatian terhadap masalah kesehatan sehingga membuat penyakit-penyakit degeneratif semakin banyak terjadi. Penyakit degeneratif semakin mengancam kesehatan masyarakat khususnya para lanjut usia (lansia) yang secara fisiologis mempunyai daya tahan tubuh yang lebih rendah dibandingkan usia produktif atau usia muda. Beberapa dari penyakit degeneratif sulit untuk terdeteksi secara dini dan proses pemeriksaannya yang rumit [1].

Asam urat adalah salah satu penyakit degeneratif yang efek samping dari penyakit ini lambat terlihat. Konsentrasi dari senyawa asam urat yang dibuang dapat di deteksi dalam urin manusia dan plasma darah. Kadar asam urat yang meningkat dalam plasma darah akan menyebabkan berbagai penyakit seperti penyakit kardiovaskular aterosklerotik, penyakit arteri perifer, dan penyakit ginjal kronis [2]. Ketika efek dari penyakit tersebut telah nampak itu menandakan bahwa kadar asam urat yang ada di dalam tubuh seseorang sudah mencapai kadar berlebih dan akan menjadi penyakit yang parah jika tidak segera diobati. Akibatnya akan terjadi penurunan kesehatan, keterbatasan fisik dan ancaman penyakit degeneratif lainnya, maka kebutuhan untuk biosensor deteksi asam urat dinilai penting [3].

Beberapa teknik deteksi asam urat telah diperkenalkan menggunakan sensor amperometri, potensiometer dan seng oksida (ZnO) *nanowires*. Biosensor amperometri telah digunakan untuk mendeteksi konsumsi oksigen, *chemiluminescence* dan ion *fluoride*. Penggunaan potensiometer berdasarkan ZnO nano flakes dapat mengurangi gangguan, tetapi keterbatasan elektroda sensitif ion (ISES) yang hanya dapat mendeteksi molekul bermuatan [2,4]. Sementara itu penggunaan serat optik telah meluas untuk aplikasi pada bidang yang beragam seperti bidang komunikasi (Fitria dkk., 2015), mengukur tegangan dan regangan (Eni dkk., 2007), maupun sebagai sistem sensor dalam bidang medis (Arifin dkk., 2018). Perkembangan sains dan teknologi dalam bidang instrumentasi

memungkinkan dilakukannya pengukuran secara praktis dan presisi menggunakan serat optik sebagai sensor untuk pengukuran asam urat.

Penggunaan serat optik sebagai sensor deteksi asam urat telah dikembangkan oleh beberapa peneliti dengan memanfaatkan fleksibilitas dan ketahanan dari serat optik plastik. Batumalay dkk. (2014) telah melakukan penelitian terkait penggunaan serat optik plastik yang dilapisi *graphene* untuk mendeteksi asam urat [4]. Penelitian Batumalay dkk. (2014) terkait penggunaan serat optik plastik untuk mendeteksi asam urat dengan tambahan lapisan ZnO [5]. Kedua penelitian tersebut dilakukan oleh Batumalay dkk dengan menggunakan serat optik plastik dengan konfigurasi lurus agar dapat menghasilkan bagian *evanescentfield* yang lebih tinggi sehingga akan lebih sensitif terhadap perubahan fisik disekitarnya, kemudian diberikan lapisan yang berbeda yaitu menggunakan *graphene* dan ZnO *nanostructure*. Penelitian Rashid dkk. (2019) juga memanfaatkan serat optik plastik dengan lapisan ZnO menggunakan teknik modulasi intensitas [2]. Namun, penelitian yang disebutkan sebelumnya menggunakan lapisan bahan yang mahal dan hanya menggunakan satu konfigurasi tanpa adanya perbandingan konfigurasi yang lain.

Berdasarkan pemaparan di atas, maka penelitian ini difokuskan pada pembuatan sensor serat optik untuk keperluan deteksi kadar asam urat dengan menentukan karakterisasi sensor terhadap variasi tingkat konsentrasi larutan asam urat dengan bentuk konfigurasi sensor yang beragam. Memanfaatkan rugi-rugi daya yang diakibatkan oleh lekukan *macrobending* yang memiliki diameter lebih besar daripada inti serat optik dan akan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan konfigurasi lurus. Menggunakan metode konfigurasi lekukan pada serat optik plastik dengan beberapa bentuk konfigurasi yang berbeda. Konfigurasi tersebut diharapkan mampu meningkatkan nilai sensitivitas sensor yang tinggi. Keunggulan serat optik plastik sebagai sensor pengukuran konsentrasi yaitu sistem pengukuran yang sederhana, fabrikasi yang mudah, waktu yang relatif singkat, mempunyai sensitivitas yang tinggi, aman terhadap lingkungan dan tidak memerlukan biaya yang tinggi untuk perawatan, serta dapat dihubungkan dengan sistem perangkat pengukuran lainnya.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dikemukakan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana implementasi sensor berbasis serat optik plastik untuk mendeteksi kadar asam urat?
2. Bagaimana metode pengujian sensor asam urat berbasis serat optik plastik?
3. Bagaimana karakterisasi dari sensor asam urat berbasis serat optik plastik?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini antara lain:

1. Implementasi sensor berbasis serat optik plastik untuk mendeteksi kadar asam urat.
2. Menguji sensor asam urat berbasis serat optik plastik.
3. Menganalisis karakteristik sensor asam urat berbasis serat optik plastik.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Asam Urat

Asam urat adalah produk akhir atau produk buangan yang dihasilkan dari metabolisme atau pemecahan purin. Asam urat sebenarnya merupakan antioksidan dari manusia dan hewan, tetapi bila jumlahnya berlebihan dalam darah, terbentuk pengkristalan dan dapat menimbulkan *gout*. Asam urat mempunyai peran sebagai antioksidan bila kadarnya tidak berlebihan dalam darah, namun bila kadarnya berlebih asam urat berperan sebagai prooksidan. Kadar asam urat berlebih itu yang kemudian menjadi penyakit *arthritis gout*[6].

Arthritis gout atau dikenal juga sebagai artritis pirai, merupakan kelompok penyakit heterogen sebagai akibat deposisi kristal monosodium urat pada jaringan atau akibat supersaturasi asam urat di dalam cairan ekstraseluler. Gangguan metabolisme yang mendasarkan *arthritis gout* adalah hiperurisemia yang didefinisikan sebagai peninggian kadar asam urat lebih dari 7,0 ml/dl untuk pria dan 6,0 ml/dl untuk wanita [7]. Sedangkan definisi lain, *arthritis gout* merupakan penyakit metabolik yang sering menyerang pria dewasa dan wanita *postmenopause*. Hal ini diakibatkan oleh meningkatnya kadar asam urat dalam darah (hiperurisemia) dan mempunyai ciri khas berupa *arthritis gout* akut dan kronis. Hiperurisemia yang lama dapat merusak sendi, jaringan lunak dan ginjal. Etiologi dari artritis gout meliputi usia, jenis kelamin, riwayat medikasi, obesitas, konsumsi purin dan alkohol. Eliminasi asam urat dapat melalui dua cara yaitu ginjal dan *intestine*. Sekitar 70% (2/3) asam urat total harian diekskresikan melalui ginjal dan sisanya melalui *intestine* setelah mengalami degradasi enzimatis oleh koloni bakteri [8].

Diagnosis *arthritis gout* dilakukan sesuai dengan kriteria dari *The American College of Rheumatology* (ACR) yaitu terdapat kristal asam urat dalam cairan sendi atau tofus. Namun dapat pula melalui urin atau bila ditemukan 6 dari 12 kriteria yaitu, Inflamasi maksimum pada hari pertama, serangan akut lebih dari satu kali, sendi yang terkena berwarna kemerahan, pembengkakan dan nyeri pada sendi

metatarsofalangeal, adanya tofus, hiperurisemia, pada foto sinar-X tampak pembengkakan sendi asimetris [9]. Pemeriksaan penunjang yang rutin dikerjakan adalah pemeriksaan darah rutin asam urat, kreatinin darah, pemeriksaan urin rutin, kadar asam urat urin 24 jam, kreatinin 24 jam dan pemeriksaan lainnya. Pemeriksaan kadar asam urat dalam urin 24 jam penting untuk dikerjakan untuk mengetahui penyebab hiperurisemia *overproduction* atau *underexcretion*. Kadar asam urat dalam urin 24 jam di bawah 600 mg/hari adalah normal pada orang dewasa yang makan bebas purin selama 3-5 hari sebelum pemeriksaan. Namun terkadang anjuran makan bebas purin ini tidaklah praktis [10].

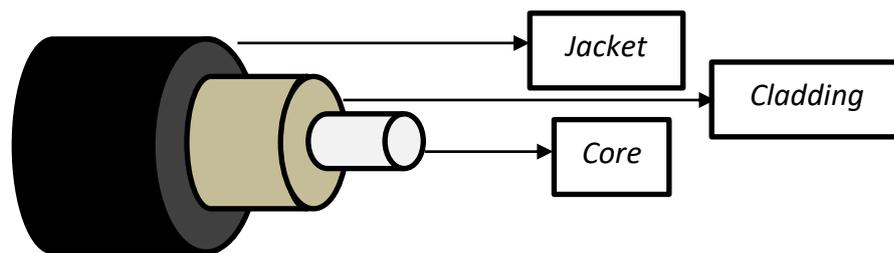
Kadar normal asam urat di urin yaitu sekitar 250 -750 (mg)/24 jam urin sampel atau 1,48 - 4,43 millimoles (mmol)/24 jam urin sampel. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kadar asam urat urin. Pola hidup tidak sehat juga salah satu penyebabnya. Kadar asam urat yang tinggi bisa disebabkan oleh beberapa kondisi seperti, penyakit ginjal, obesitas, banyak konsumsi makanan tinggi purin atau konsumsi alkohol [11].

II.2 Serat Optik

Serat optik merupakan pandu gelombang untuk transmisi cahaya berbentuk silinder yang banyak dikembangkan untuk mendukung sistem komunikasi dan aplikasi sensor [11,12]. Pengaplikasian serat optik sebagai sensor telah banyak dipelajari [2]. Tingginya tingkat fleksibilitas dan ketahanan dari serat optik menjadi salah satu alasan mengapa benda tersebut banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pada pengukuran tegangan, regangan, suhu, tekanan, getaran, arus, perpindahan dan lekukan [5,13].

Berdasarkan material bahannya, serat optik terbagi atas dua jenis yaitu serat optik kaca (*Glass Optical Fiber = GOF*) dan serat optik plastik (*Plastic Optical Fiber= POF*) [9,10]. Serat optik kaca terbuat dari silika dan bahan lain seperti *Calcium Oxyde* (CaO) dan *Sodium Oxyde*. Mempunyai sifat yang rapuh dan berukuran kecil sehingga membutuhkan perlakuan khusus dalam penggunaannya yang umumnya banyak digunakan untuk kebutuhan transmisi telekomunikasi [14]. Serat optik plastik merupakan serat optik yang berbahan plastik polimer dengan

bahan yang membentuk inti yaitu *polymethylmethacrylate* (PMMA) dengan jari-jari normal sekitar 125-409 μm yang membuatnya berbeda dengan serat optik lain dan lapisan jaket yang terbuat dari *polimer fluorinated amorf* (CYTOP) [2]. POF memiliki batas deformasi elastis yang lebih tinggi sehingga mudah untuk digunakan. Pengaplikasian POF umumnya dalam bidang bioteknologi, kimia, distribusi sensor, transmisi data pada jarak pendek yang mencakup *Fiber to The Home* (FTTH) dan media orientasi sistem transportasi dalam sistem mobil [2]. Struktur serat optik seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.



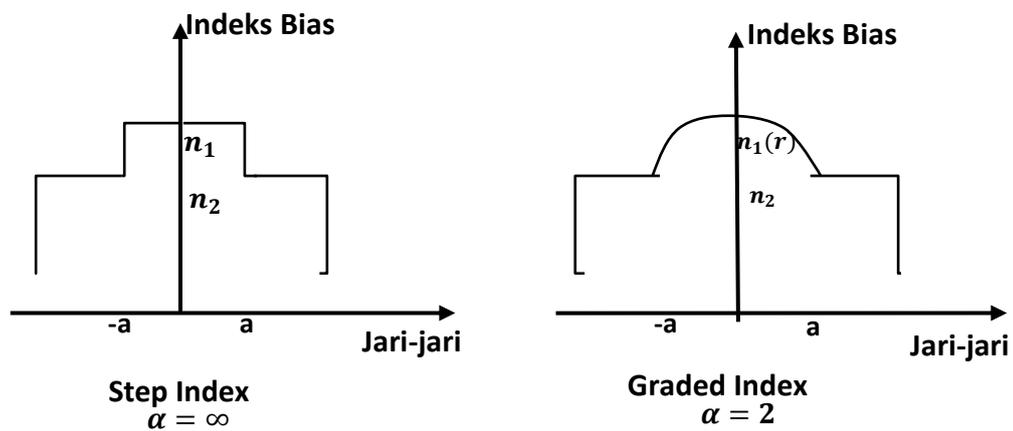
Gambar 2.1 Struktur serat optik [15].

Inti (*core*) sebagai media lewatnya cahaya dan membawa informasi yang akan diteruskan dari sumber menuju penerima serta tidak terpengaruh oleh air. Inti memiliki indeks bias lebih besar daripada selubung yang mengakibatkan cahaya akan merambat hanya dalam inti serat optik saja. Selubung (*cladding*) merupakan bagian yang mengelilingi lapisan inti berfungsi memandu cahaya berisi informasi agar tidak terjadi rugi daya di dalam inti dengan indeks bias yang lebih kecil dari inti. Fungsi lain dari selubung yaitu mengurangi cahaya yang *loss* dari inti ke udara sekitar, mengurangi *loss* hamburan pada permukaan inti dan menambah kekuatan mekanis. Hubungan indeks bias antara inti dan selubung mempengaruhi perambatan cahaya pada inti. Jaket terbuat dari plastik dan berfungsi sebagai pelindung lapisan inti maupun selubung dari kerusakan fisik pada serat optik [16,17].

Prinsip kerja serat optik adalah pengiriman pulsa cahaya melalui sebuah medium dari satu tempat ke tempat yang lain. Cahaya dalam serat optik berjalan melalui inti (*core*) dengan cara memantul dari selubung, karena kulit sama sekali

tidak menyerap cahaya dari inti, hal ini yang disebut proses pemantulan sempurna. Pada peristiwa pemantulan sempurna tidak ada cahaya yang dibiaskan.

Berdasarkan indeks bias pada inti ada dua jenis yaitu indeks tangga (*step index*) dan indeks tanjak (*graded index*) [17]. Indeks tangga merupakan cahaya yang merambat melewati beberapa lintasan dan sampai di ujungnya dengan waktu yang berbeda sedangkan pada indeks tanjak sampai dengan waktu yang bersamaan. Perbedaan indeks bias inti dan selubung dibuat drastis disebut indeks tangga sedangkan perbedaan indeks bias inti dan selubung dibuat bertahap, bertingkat atau perlahan-lahan disebut indeks tanjak [18,19].



Gambar 2.2 Grafik *step index* (kiri) dan grafik *graded index* (kanan).

Pada indeks tanjak, serat optik mempunyai indeks bias cahaya yang merupakan fungsi dari jarak terhadap titik pusat serat optik. Indeks bias inti semakin dekat ke arah selubung semakin kecil. Profil indeks untuk indeks tanjak dapat dijelaskan pada persamaan (2.1) dan (2.2) berikut:

$$n(r) = \begin{cases} n_1 \left[1 - 2\Delta \left(\frac{r}{a} \right)^{\alpha} \right]^{\frac{1}{2}} & \text{untuk } r < a \\ n_1 (1 - 2\Delta)^{\frac{1}{2}} & \text{untuk } r > a \end{cases} \quad (2.1)$$

Dengan:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} = \frac{(n_1 - n_2)(n_1 + n_2)}{2n_1^2} \quad (2.2)$$

Dimana:

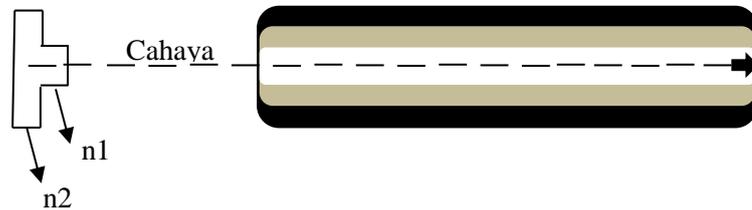
α : Parameter yang menerangkan bentuk profil

Δ : Beda indeks bias antara nilai maksimum indeks bias inti serat optik terhadap indeks bias selubung

a : radius inti

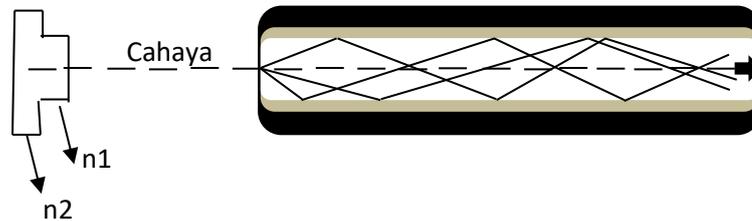
Berdasarkan jumlahnya terbagi atas dua yaitu moda jamak dan moda tunggal. Pada serat optik moda tunggal perambatan cahaya melalui inti hanya satu jenis, sedangkan pada serat optik moda jamak terdiri dari beberapa jenis cahaya yang merambat melalui inti [16]. Pada umumnya diklasifikasikan tiga jenis sebagai berikut [20]:

1. Indeks tangga mode tunggal (*single mode step index*).



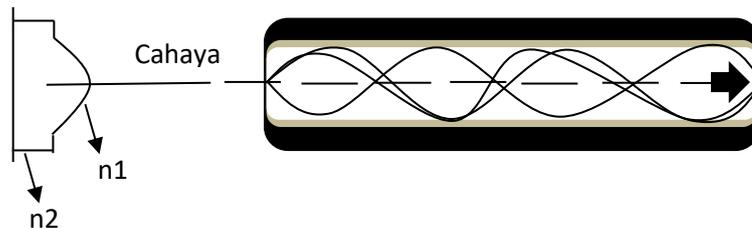
Gambar 2.3 Indeks tangga mode tunggal.

2. Indeks tangga mode jamak (*Multi Mode Step Index*).



Gambar 2.4 Indeks tangga mode jamak.

3. Indeks tanjak mode jamak (*Multi Mode Graded Index*).



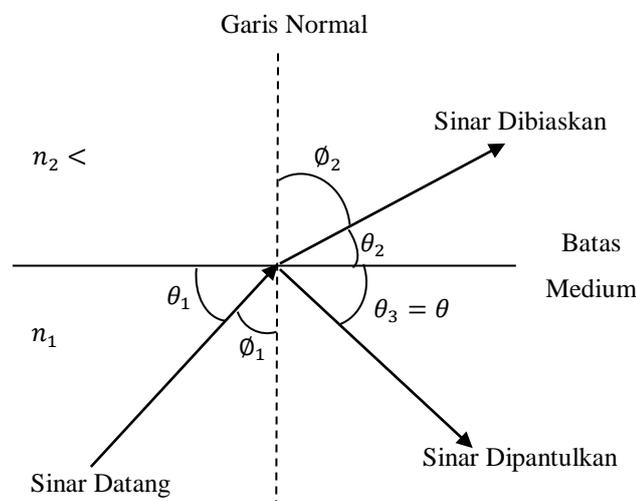
Gambar 2.5 Indeks tanjak mode jamak.

Serat optik mode tunggal hanya merambatkan satu mode. Keunggulan serat optik mode tunggal memiliki sinyal hilang yang rendah dan kapasitas informasi yang lebih besar (*bandwidth*) daripada serat optik mode jamak. Serat optik mode tunggal dapat mentransmisikan data yang lebih besar karena dispersi yang lebih rendah. Sedangkan serat optik mode jamak dapat merambatkan lebih dari satu mode, bahkan lebih dari 100 mode dan memungkinkan penggunaan LEDs dengan penggunaan yang lebih sederhana dan awet. Kerugian serat optik mode jamak yaitu kemungkinan efek dispersi modal akan bertambah yang artinya akan terjadi perbedaan waktu mode-mode tiba diujung serat dan akan menyebabkan pulsa cahaya melebar.

II.3 Karakteristik Serat Optik

II.3.1 Pembiasan dan Pemantulan Cahaya

Pada serat optik, cahaya ditransmisikan dari sumber cahaya diterima oleh penerima (*receiver*) dengan adanya proses perambatan cahaya [23]. Perambatan cahaya pada serat optik memanfaatkan teori cahaya tentang indeks bias pada medium dielektrik. Terjadi pembiasan dan pemantulan ketika cahaya merambat dari sumber menuju penerima. Ketika berkas cahaya melewati batas dua medium yang berbeda, maka sebagian berkas cahaya dipantulkan masuk pada medium pertama dan sebagian lagi dibiaskan masuk pada material kedua [16].



Gambar 2.6 Pembiasan dan pemantulan berkas cahaya pada batas medium

Dimana:

n_1 : Indeks bias medium pertama

n_2 : Indeks bias medium kedua

ϕ_1 : Sudut datang (sudut antara sinar datang dan garis normal)

ϕ_2 : Sudut bias (sudut antara sinar bias dan garis normal)

θ_1 : Sudut antara sinar datang dan batas medium

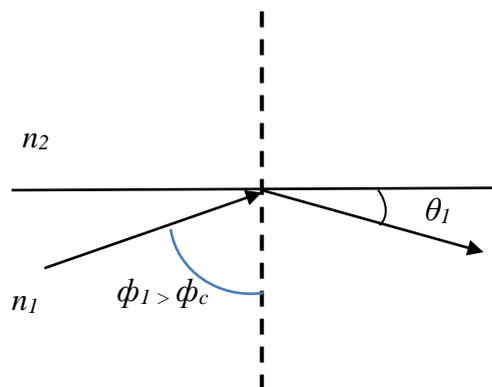
θ_2 : Sudut antara sinar bias dan batas medium

θ_3 : Sudut antara sinar pantul dan batas medium

Gambar 2.6 menunjukkan dua medium dengan $n_2 < n_1$ yang dilewati seberkas cahaya. Tampak dari gambar bahwa sinar datang sebagian dipantulkan kembali dengan sudut yang sama besar dengan sudut sinar datang ($\theta_3 = \theta_1$) dan sebagian dibiaskan menjauhi garis normal menuju medium kedua. Pembiasan terjadi karena adanya perbedaan laju cahaya pada dua medium dengan indeks bias berbeda. Hubungan tersebut dapat dijelaskan menggunakan hukum Snellius berikut [16]:

$$n_1 \sin \phi_1 = n_2 \sin \phi_2 \quad (2.3)$$

Pemantulan cahaya dari medium rapat ke medium kurang rapat ada kemungkinan cahaya akan dipantulkan secara optis ke dalam medium berindeks bias n_1 , dan sebagian ada yang dibiaskan menuju medium berindeks bias n_2 . Proses ini dinamakan pemantulan internal total [16,19].



Gambar 2.7 Pemantulan internal total.

Serat optik bekerja dengan menggunakan prinsip pemantulan internal total atau sempurna. Agar terbentuk sudut kritis maka sudut pembiasan ϕ_2 harus sebesar 90° mencapai bidang batas medium θ_2 , maka ϕ_1 membentuk sudut kritis. Apabila sudut datang ϕ_1 diperbesar sedemikian sehingga sudut pembiasannya lebih besar dari 90° maka akan terjadi pemantulan internal total. Pemantulan internal total inilah yang diterapkan pada serat optik untuk mentransmisikan cahaya.

II.3.2 Tingkat Numerik (*Numerical Aperture*)

Tingkat numerik (*numerical aperture*) menyatakan hubungan antara sudut penerimaan dan indeks bias ketiga media (inti, kulit, udara). Tingkat numerik adalah suatu ukuran batas kemampuan serat optik untuk menangkap sinar dari sumber optik yang dipengaruhi oleh perbedaan indeks bias antara inti dan selubung. Persamaan 2.4 dapat digunakan untuk menghitung numerical aperture [21,22].

$$NA = n_A \sin \phi_1 = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.4)$$

Dimana:

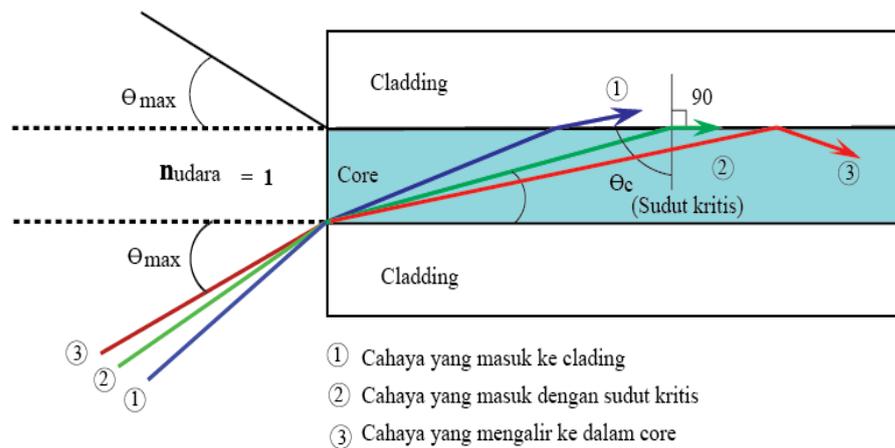
n_1 : Indeks bias medium pertama

n_2 : Indeks bias medium kedua

ϕ_1 : Sudut datang (masuk ke inti serat)

n_A : Indeks bias medium terluar (biasanya udara, $n = 1$)

Indeks bias medium terluar umumnya adalah udara dengan $n = 1$, maka $NA = \sin \phi_1$. NA digunakan untuk mengukur *source to fiber power coupling efficiencies*, nilai NA yang besar menyatakan *source to fiber power coupling efficiencies* yang tinggi. Nilai NA pada serat optik kaca dan gelas memiliki jangkauan yang berbeda yaitu 0,20-0,29 untuk kaca dan lebih dari 0,5 untuk plastik [22].



Gambar 2.8 Proses sinar datang dari udara menuju inti serat optik [13]

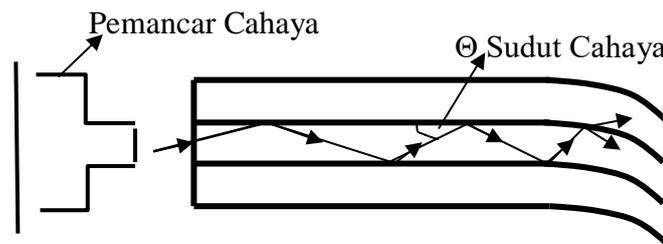
Berdasarkan Gambar 2.8, ditunjukkan bahwa celah numerik merupakan batas kemampuan cahaya yang masih bisa terpantul dari serat optik dengan batas θ_{max} atas dan θ_{max} bawah. Jika sinar masuk dengan melebihi wilayah θ_{max} maka sinar hanya akan masuk namun tidak dapat berlanjut dan keluar.

II.3.3 Rugi-Rugi Daya pada Serat Optik

Energi yang dibawa oleh cahaya akan mengalami pelemahan (rugi-rugi daya/loss) karena adanya kebocoran pada bahan serat optik. Rugi-rugi daya pada serat optik disebabkan oleh beberapa faktor antara lain [16,24]:

1. Sambungan (*splicing loss*) terjadi karena adanya *gap* antara dua serat optik yang disambung. Hal ini terjadi karena dimensi serat optik yang kecil sehingga penyambungan menjadi tidak tepat dan menyebabkan sinar dari bahan serat optik ke serat optik lainnya tidak dapat dirambatkan seluruhnya.
2. Gandengan (*coupling*) terjadi karena pada saat serat optik disambungkan dengan sumber cahaya atau fotodetektor. Hal ini dapat terjadi karena energi yang diradiasikan oleh sumber optik dapat dimasukkan ke dalam serat optik.
3. Lekukan kecil (*microbending*) merupakan lekukan dalam skala kecil yang terjadi bila jari-jari lekukan serat optik kecil dibandingkan diameter serat optik.
4. Lekukan besar (*macrobending*) merupakan lekukan dalam skala besar yang terjadi bila jari-jari lekukan serat optik lebih besar dibandingkan diameter serat optik.

Serat optik sebagai sensor dibuat dengan memanfaatkan kenaikan redaman atau rugi-rugi daya yang terjadi akibat pembengkokan atau *bending*. Bengkokan serat optik secara signifikan pada jari-jari tertentu menyebabkan cahaya yang merambat pada serat optik akan berbelok dari arah transmisi dan tidak terpantulkan sempurna dalam inti. Rugi daya juga dapat terjadi dengan efek yang sama pada lekukan serat optik yang memiliki kecacatan pada strukturnya seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Rugi daya karena pelengkungan [24]

Perubahan proses transmisi cahaya pada serat optik karena rugi-rugi pembengkokan akan mengakibatkan perubahan kinerja sistem komunikasi serat optik. Nilai rugi-rugi dapat dihitung dengan persamaan [24]:

$$L = 10 \log \frac{P_1}{P_0} = 10 \log \left(\frac{v_1^2}{v_0^2} \right) = 20 \log \frac{v_1}{v_0} \quad (2.5)$$

Dengan [24]:

P_1 = daya keluaran (Watt)

P_0 = daya masukan (Watt)

v_1 = tegangan keluaran (Volt)

v_2 = tegangan masukan (Volt)

Pada penelitian ini, rugi-rugi daya didapatkan dari pembengkokan makro (*macrobending*) pada serat optik. Terjadi ketika jari-jari lengkungan atau pembengkokan lebih lebar dibandingkan dengan diameter inti serat optik. Jari-jari bengkokan yang akan membuat pertambahan nilai rugi-rugi yang cepat disebut jari-jari kritis (*critical radius*). Jari-jari kritis pada serat optik mode jamak dapat dirumuskan pada persamaan 2.6 [25]:

$$R_c = \frac{3n_1^2\lambda}{4\pi [n_1^2 - n_2^2]^{3/2}} \quad (2.6)$$

Dimana:

- R_c : Jari-jari kritis
- n_1 : Indeks bias medium pertama
- n_2 : Indeks bias medium kedua
- λ : Panjang gelombang

Panjang gelombang dan *numerical aperture* akan mempengaruhi hasil dari jari-jari kritis. Semakin besar nilai *numerical aperture* maka akan menghasilkan nilai jari-jari kritis (R_c) dan nilai rugi-rugi yang kecil [25]. Terdapat beberapa parameter berpengaruh pada hilangnya daya di serat optik melengkung yaitu kekuatan serat (*fiber strength*), jari-jari lekukan, *numerical aperture* (NA) dan jumlah lilitan.

II.4 Sensor Serat Optik

Secara umum sensor memiliki beberapa karakteristik, yaitu sebagai berikut [26,27]:

- a. *Range*, merupakan selisih keluaran maksimum dan keluaran minimum. *Range* sensor dapat dirumuskan sebagai berikut [26,27]:

$$\Delta = V_{max} - V_{min} \quad (2.7)$$

dengan V_{max} sebagai tegangan keluaran maksimum dan V_{min} sebagai tegangan keluaran minimum.

- b. Sensitivitas, juga menunjukkan besar kepekaan sensor terhadap nilai yang diukur. Untuk sensor dengan *output* tegangan, sensitivitas dapat dirumuskan sebagai berikut [27]:

$$S = \frac{V_{max} - V_{min}}{t_{max} - t_{min}} \quad (2.8)$$

dengan t_{max} sebagai waktu maksimum dan t_{min} sebagai waktu minimum.

- c. Resolusi, merupakan nilai perubahan terkecil yang terukur di sensor. Resolusi untuk sensor dapat dirumuskan sebagai berikut [27]:

$$R = \frac{N}{S} \quad (2.9)$$

dengan N adalah skala terkecil dari alat ukur dan S adalah nilai sensitivitas dari sensor.

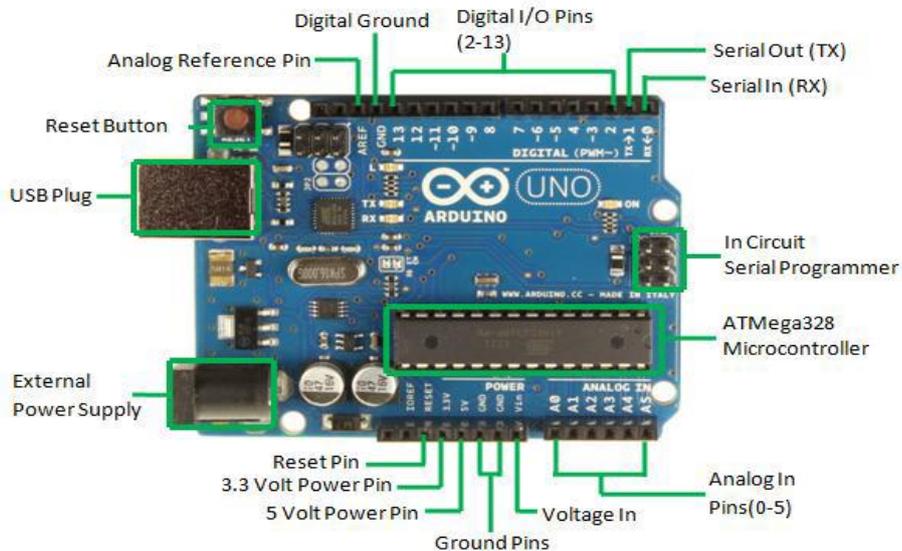
Ketiga karakteristik tersebut digunakan untuk mengetahui kinerja atau performansi dari penggunaan serat optik sebagai sensor. Serat optik sebagai sensor juga memiliki struktur umum atau penyusun yang terdiri dari beberapa bagian penting, yaitu sumber cahaya (laser, LED, laser *diodes*), serat optik, elemen sensor, detektor, pengolah dan penampil hasil pengukuran.

Penggunaan serat optik sebagai sensor untuk berbagai aplikasi pengukuran dalam beberapa tahun terakhir mengalami peningkatan. Keunggulan serat optik sebagai sensor dibandingkan dengan sensor lainnya yaitu tidak kontak langsung dengan objek pengukuran, tidak menggunakan listrik sebagai isyarat, akurasi pengukuran akan lebih tinggi, relatif kebal terhadap induksi listrik ataupun magnetik, dapat melakukan *monitoring* dari jarak jauh, serta bisa digunakan untuk menghubungkan dengan sistem komunikasi data melalui perangkat antar muka (*interface*), lebih kecil serta ringan dan konsumsi daya yang rendah [4,26]. Teknik lekukan (*bending*) dapat meningkatkan sensitivitas sensor dengan mengakibatkan rugi-rugi daya yang menimbulkan perubahan intensitas cahaya pada alat ukur [14].

II.5 Mikrokontroler Arduino Uno

Mikrokontroler merupakan komputer yang hadir dalam satu rangkaian terpadu, berfungsi untuk melakukan tugas dan menjalankan aplikasi tertentu. Salah satu kelebihan mikrokontroler yaitu tersedianya *Random Access Memory (RAM)* dan peralatan I/O yang dapat diprogram sekaligus mengolah data serta sebagian besar dirancang untuk berbagai aplikasi maupun pada perangkat elektronik yang dikendalikan secara otomatis [28]. Seperti mikrokontroler lainnya, arduino adalah papan sirkuit dengan *chip* yang banyak digunakan dalam pemrograman mikrokontroler antara lain karena penggunaannya yang mudah. Arduino tidak memiliki perangkat keras terpisah, tapi memiliki 14 pin masukan dan keluaran. Memuat kode baru ke papan, dapat menggunakan kabel USB untuk mengunggah,

bersifat *open source* dan perangkat lunak dari arduino dengan bahasa pemrograman C. Kelebihan ini yang membuat arduino uno dapat digunakan untuk komunikasi serial [29].



Gambar 2.10 Perangkat keras papan Arduino UNO.

Prinsip kerja dari mikrokontroler arduino uno adalah menerima isyarat masukan kemudian mengubah dan memberikan menjadi isyarat keluaran berupa sinyal keluaran. Pada arduino uno terdapat ADC (*Analog to Digital Converter*) yang berfungsi untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital. Isyarat keluaran arduino yang diperoleh dalam bentuk tegangan kemudian dikirim ke komputer melalui USB [27,28,29].