

SKRIPSI

**KARAKTERISASI SENSOR SERAT OPTIK PLASTIK UNTUK
PENGUKURAN VOLUME BAHAN BAKAR SOLAR DALAM TANGKI**

ERNIYANTI DANBAR

H21114016



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

SKRIPSI

**KARAKTERISASI SENSOR SERAT OPTIK PLASTIK UNTUK
PENGUKURAN VOLUME BAHAN BAKAR SOLAR DALAM TANGKI**

Disusun dan diajukan oleh

ERNIYANTI DANBAR

H21114016



DEPARTEMEN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**KARAKTERISASI SENSOR SERAT OPTIK PLASTIK UNTUK
PENGUKURAN VOLUME BAHAN BAKAR SOLAR DALAM TANGKI**

Disusun dan diajukan oleh

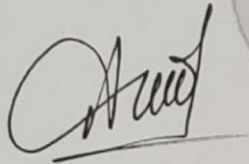
ERNIYANTI DANBAR

H21114016

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 28 Juli 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

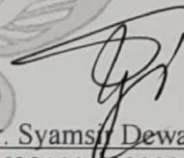
Menyetujui:

Pembimbing Utama,



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

Pembimbing Pertama,



Prof. Dr. Syamsi Dewang, M.Eng.Sc
NIP. 19630111 199002 1 002

Ketua Departemen,



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

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini merupakan karya orisinal saya dan sepanjang pengetahuan saya tidak memuat bahan yang pernah dipublikasi atau telah ditulis oleh orang lain dalam rangka tugas akhir untuk suatu gelar akademik di Universitas Hasanuddin atau di lembaga pendidikan tinggi lainnya di manapun; kecuali bagian yang telah dikutip sesuai kaidah ilmiah yang berlaku. Saya juga menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri dan dalam batas tertentu dibantu oleh pihak pembimbing.

Penulis



Erniyanti Danbar

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai sensor berbasis serat optik plastik untuk pengukuran volume bahan bakar solar dalam tangki. Sensor dengan panjang 1 m dibuat dengan mengelupas lapisan pelindung (*jacket*) maupun lapisan selubung (*cladding*) sepanjang 90 cm. Kedua ujung sensor masing-masing dipasang LED dan fotodetektor. Sumber cahaya LED memancarkan cahaya inframerah yang akan merambat sepanjang sensor. Pengelupasan lapisan pelindung maupun lapisan selubung akan menyebabkan cahaya merambat keluar dari sensor sehingga intensitas cahaya yang diterima oleh fotodetektor menjadi semakin kecil. Adanya lekukan besar (*macrobending*) dan lekukan kecil (*microbending*) menyebabkan rugi daya. Fotodetektor mengubah intensitas cahaya menjadi tegangan listrik kemudian dikuatkan pada penguat selisih. Tegangan dalam bentuk sinyal analog akan diubah menjadi sinyal digital oleh mikrokontroler Arduino Uno yang dihubungkan ke komputer untuk pembacaan pada serial monitor. Pengujian sensor dilakukan dengan variasi konfigurasi U dengan selubung, *loop* dengan selubung, U tanpa selubung, dan gamma tanpa selubung. Hasil pengukuran terbaik diperoleh dari konfigurasi gamma tanpa selubung dengan nilai *range*, sensitivitas dan resolusi secara berturut-turut sebesar 1,139 V; 1,872 V/L dan 0,534 mL. Keunggulan yang dimiliki sensor serat optik plastik yaitu harga terjangkau, mudah difabrikasi, sensitivitas yang tinggi, serta dapat dilakukan pemantauan secara *real time*. Karena keunggulan ini, serat optik plastik dapat digunakan sebagai sensor untuk pengukuran volume bahan bakar solar.

Kata Kunci: mikrokontroler, sensor, serat optik plastik, solar, volume.

ABSTRACT

Research has been done about plastic optical fiber based sensors for measuring the volume of diesel fuel in the tank. Sensors with 1 m length are made by remove 90 cm of the jacket and cladding layer. Each end of the sensor is connected with an LED and a photodetector. The LED emit infrared light which will propagate along the sensor. The removal of the jacket and cladding layer will cause light to propagate out of the sensor so that the light intensity received by the photodetector becomes smaller. The presence of macrobending and microbending causes power loss. The photodetector converts light intensity into an electric voltage then amplified by differential amplifier. The voltage in the form of an analog signal will be converted into a digital signal by the Arduino UNO microcontroller which is connected to a computer for reading on the serial monitor. Sensor testing was done with configuration variations of U with cladding, loop with cladding, U without cladding, and gamma without cladding. The best measurement results were obtained from the gamma without cladding configuration with the range, sensitivity and resolution values, respectively are 1.139 V, 1.872 V/L and 0.534 mL. The advantages of plastic optical fiber sensors are affordable prices, easy to fabricate, high sensitivity, and can be monitored in real time. Due to these advantages, plastic optical fiber can be used as a sensor for diesel fuel volume measurement.

Keywords: microcontroller, sensor, plastic optical fiber, diesel fuel, volume.

KATA PENGANTAR

"Hidup adalah serangkaian variabel".

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Sang Pemilik kehidupan atas berkat, pertolongan dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul "**Karakterisasi Sensor Serat Optik Plastik untuk Pengukuran Volume Bahan Bakar Solar dalam Tangki**" yang merupakan tugas akhir sebagai persyaratan untuk mencapai gelar Sarjana Fisika, Departemen Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

Dalam proses penyelesaian skripsi, penulis mengalami berbagai hambatan serta menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan akibat keterbatasan yang dimiliki penulis. Puji Tuhan, hambatan dapat teratasi tidak lepas dari dukungan, bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Merupakan kewajiban penulis dengan segala kerendahan hati untuk menghanturkan rasa terima kasih kepada :

1. Orang tua tercinta Alm. Bapak (**Daniel Ba'ru**) yang telah lebih dulu kembali kepada Sang Pencipta serta Ibu (**Yospina Sampe Padang**) yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan, baik secara morel dan materiil, serta kakak (**Bertnin Nelvy**) yang selalu memberikan semangat dan suka marah-marah. Terima kasih untuk selalu mengingatkan tugas dan tanggung jawab serta untuk setiap pelajaran hidup yang diberikan. Serta Haru yang selalu menemani dan menghibur. Tuhan Yesus selalu membekati dan melindungi.
2. **Prof. Dr. Arifin, M.T.** selaku ketua Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin sekaligus sebagai pembimbing utama dan **Prof. Dr. Syamsir Dewang, M.Eng.Sc** selaku pembimbing pertama yang selalu meluangkan waktu, pikiran, memberikan arahan, bimbingan, ilmu, bantuan, saran dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

3. **Prof. Dr. rer-nat Wira Bahari Nurdin** selaku penasehat akademik yang telah memberikan nasihat, saran, dan motivasi selama penulis menempuh studi.
4. Bapak **Bannu, S.Si, M.Si.** dan Ibu **Nur Hasanah, S.Si, M.Si.**, sebagai tim penguji skripsi Fisika yang telah meluangkan waktunya dan memberikan masukan serta saran-saran demi kesempurnaan skripsi ini.
5. Seluruh Bapak/Ibu dosen Departemen Fisika dan Fakultas MIPA yang telah mendidik dan membagi ilmunya kepada penulis.
6. Seluruh staf akademik Departemen Fisika dan Fakultas MIPA yang dengan senang hati membantu penulis dalam menyelesaikan urusan-urusan akademik. Ibu Tuti selaku Sekretaris Jurusan, Pak Syukur, Kak Rana, Ibu Evi, Ibu Firli, Pak Sangkala, Pak Suardi, Ibu Hj. Fatmawati, dan semua staf pegawai yang belum disebutkan namanya. Terima kasih untuk bantuan dan arahnya terkait pengurusan berkas-berkas.
7. **Annamaintin Kobong Lebang, S.Si**, selaku teman angkatan dan saudara seiman yang telah bersedia mengabdikan sebagian hidupnya menjadi pembimbing sebaya selama Ontae mengerjakan tugas akhir. Tempat konsultasi penelitian serta merevisi draft yang berkaitan dengan skripsi dan jurnal. Terima kasih juga karena telah mengingatkan, membangunkan maupun menjemput Ontae saat tidak ada kabar dan susah dihubungi. Maaf karena telah menjadi salah satu beban pikiran Anna disaat Anna sudah punya banyak beban pikiran. Terima kasih karena telah memegang peranan penting dalam pengerjaan Tugas Akhir Erni. *God will repay all the good thing you've done.* Untuk Mama Anna juga yang telah memberikan asupan untuk Erni terima kasih banyak. Tuhan Yesus memberkati.
8. **D O N O Kamse'** (Desy Natalia,S.Si a.k.a Dechong, Octaviana Agnes Pasulle,S.Si a.k.a Ottaran dan Novayani Pagiling,S.Si a.k.a Opah) yang senantiasa mendengarkan curahan hati serta cerita-cerita random Ontae mulai dari maba sampai sekarang, terima kasih untuk selalu meluangkan waktu kalian. Terima kasih karena mau mengerti dan menerima Ontae apa adanya meskipun kalian tahu Ontae banyak kekurangan. Untuk setiap kata-kata

motivasi maupun kerandoman dari kalian *I really appreciate all of it*. Semoga nanti ada kesempatan kita dapat bertemu kembali supaya curhatannya tidak lewat chat melulu. *I love you kamseyers*.

9. **Kopi Tujuh Hari** (kak Indra, kak Krismal, kak Wanti, kak Erwin, kak Joyo, kak Jemy, Harisman, Lota, Ike, Cacca, Epan) yang sering menemani di sekret yang sudah seperti rumah kedua, dengan segala kerandoman dan juga banyak pelajaran baru. Terima kasih karena sudah menjadi tempat Ontae untuk bercerita; setiap kata semangat, nasihat dan marah-marah dan membangunkan Ontae untuk ke kampus dan mengerjakan Tugas Akhir. Untuk Ike, Cacca dan Epan, rajin-rajin kuliahnya, tetap jaga kesehatan meskipun banyak kegiatan, jangan sering-sering peccu'nya, jangan terlalu baik jadi orang, ingat makan, banyak minum air, jangan suka begadang. Untuk yang sedang berjuang di jalan masing-masing, semangat! Untuk Ike, terima kasih karena telah memasak makanan yang enak, membuat kopi, menemani ke kampus selama penelitian dan jadi partner jalan saat lagi stres. *Love all of you*.
10. Teman-teman Gondrongers **Eunike Dwioknain, S.Si** a.k.a Nike dan **Noviana, S.Si** a.k.a Novi yang senantiasa mendukung, membantu dan mendoakan penulis. Tuhan Yesus memberkati.
11. Teman-teman **HIMAFI 2014** (Nurdiana, Nupi, Deda, Nina, Nike, Ibu Afni, Anna, Desy, Anti13, Anti11, Dina, Aswan, Taufik, Novi, Tina, Radha bro, Nurul, Yuniar, Uvi, Resty, Nia, Ainul, Kima, Rusmi, Kadri, Asyifa, Rosdiana, Ariyadi, Anti nur, Risda, Riska, Akram, Tedi, Dpr, Armin, Bella, Reza, Sidiq, Uni, Nanna, Alm. Ballig, Nur, Octa, Oci, Izwar, Jaya, Ditha, Dewi, Yaqin, Firman, Awal, Musdalipa, Putri, Alifka, Ila, dan Arin) terima kasih atas persaudaraan yang terjalin sejak maba hingga kini. **Resistan 2014**, Persaudaraan Tak Bertepi.
12. Kanda - kanda, teman-teman serta adik-adik **Himafi FMIPA Unhas** dan **KM FMIPA Unhas**. Jayalah Himafi Fisika Nan Jaya. Salam *Use Your Mind Be The Best*.
13. Anggota Lab. ELINS untuk setiap bantuannya. Lina yang telah banyak membantu dalam pengerjaan penelitian maupun tempat untuk bertanya

mengenai pengurusan berkas, semoga selalu dikuatkan dalam menjalani kehidupan ini.

14. Kakak-kakak, teman-teman dan adik-adik di **GMKI Komisariat FMIPA Unhas**, serta **MIPA Kristen/Katolik 2014**. Terima kasih atas kebersamaan, dorongan, motivasi, saran, dan doa kepada penulis sejak maba, panitia, pengurus hingga sekarang. *Ut Omnes Unum Sint*. Tuhan Yesus memberkati.
15. **KKN Unhas Gel.96 Desa Lassang**, Kec. Polongbangkeng Utara, Takalar (Kakek, Nenek, Ibu Luna, Meuti, Mappu, kak Ilham, Erwin Wellang, Indah, Widya, Muti, Opah, Bagong, Kak Mustari, dan teman-teman Karang Taruna Desa Lassang) yang telah menjadi keluarga dan teman selama ber-KKN hingga sekarang.
16. Teman-teman **FISIKA 2014** dan **Conditioner** yang juga banyak membantu penulis. Terima kasih.
17. Semua pihak yang membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung dalam seluruh proses perkuliahan di Universitas Hasanuddin.
18. Terakhir, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada diri sendiri karena masih mau menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangatlah diharapkan. Akhir kata penulis mengharapkan semoga penelitian ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis maupun pihak lain yang membutuhkan. Tuhan memberkati.

Makassar, 28 Juli 2021

Erniyanti Danbar

H211 14 016

DAFTAR ISI

Halaman

SAMPUL	
JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Tujuan Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Serat Optik	3
II.1.1 Jenis Serat Optik	3
II.1.2 Struktur Serat Optik	3
II.2 Karakteristik Serat Optik	5
II.2.1 Pemantulan Internal Total	5
II.2.2 Celah Numerik (<i>Numerical Aperture</i>)	7
II.2.3 Rugi Daya pada Serat Optik	9
II.3 Serat Optik sebagai Sensor	9
II.4 Piranti Pendukung Sensor Serat Optik	10
II.4.1 <i>Light Emitting Diode (LED)</i>	10
II.4.2 Fotodetektor	10
II.4.3 Penguat Diferensial	11

II.5	Mikrokontroler Arduino UNO	12
II.6	Volume Bahan Bakar	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		
III.1	Waktu dan Tempat Penelitian	14
III.2	Alat dan Bahan	14
III.3	Prosedur Penelitian	15
III.4	Bagan Alir Penelitian	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
IV.1	Perancangan dan Pembuatan Sensor	
	Serat Optik Plastik untuk Pengukuran	
	Volume Bahan Bakar Solar	18
IV.2	Hasil Perhitungan Volume Bahan Bakar Solar	19
IV.3	Hasil Pengukuran dan Pengujian Sensor	
	Serat Optik Plastik untuk Pengukuran	
	Volume Bahan Bakar Solar	20
IV.3.1	Hasil Pengukuran dan Pengujian Sensor	
	Serat Optik Plastik untuk Pengukuran	
	Volume Bahan Bakar Solar Konfigurasi U	
	dengan Selubung Variasi Jumlah Diameter	20
IV.3.2	Hasil Pengukuran dan Pengujian Sensor	
	Serat Optik Plastik untuk Pengukuran	
	Volume Bahan Bakar Solar Konfigurasi <i>Loop</i>	
	dengan Selubung Variasi Jumlah Lilitan	
	dan Diameter	23
IV.3.3	Hasil Pengukuran dan Pengujian Sensor	
	Serat Optik Plastik untuk Pengukuran	
	Volume Bahan Bakar Solar Konfigurasi U	
	Tanpa Selubung Variasi Diameter	24

IV.3.4 Hasil Pengukuran dan Pengujian Sensor	
Serat Optik Plastik untuk Pengukuran	
Volume Bahan Bakar Solar Konfigurasi	
Gamma tanpa Selubung Variasi	
Lebar Diameter	26
BAB V PENUTUP	
V.1 Kesimpulan	32
V.2 Saran	32
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bagian serat optik plastik	4
Gambar 2.2	Serat optik (a) moda tunggal indeks tangga; (b) moda jamak indeks tangga dan (c) moda jamak indeks tanjak. Dengan n_1 : indeks bias inti dan n_2 : indeks bias selubung	4
Gambar 2.3	Sinar yang terjadi pada antarmuka dari indeks bias tinggi ke rendah (misalnya kaca-udara): (a) bias; (b) pembatasan bias pada sudut kritis ϕ_c ; (c) pemantulan internal total $\phi > \phi_1$	6
Gambar 2.4	Cahaya masuk ke dalam serat optik	7
Gambar 2.5	Skema rangkaian LED	10
Gambar 2.6	Skema rangkaian fotodetektor	11
Gambar 2.7	Skema rangkaian penguat diferensial	11
Gambar 2.8	Perangkat keras Arduino UNO	12
Gambar 3.1	Skema sensor pengukuran volume bahan bakar solar menggunakan serat optik plastik	15
Gambar 3.2	Konfigurasi sensor volume bahan bakar solar: (a) U dengan selubung; (b) <i>loop</i> dengan selubung; (c) U tanpa selubung; dan (d) gamma tanpa selubung	16
Gambar 3.3	Bagan alur penelitian sensor	17
Gambar 4.1	Grafik Perubahan Volume Terhadap Kedalaman	20
Gambar 4.2	Hasil pengukuran sensor volume bahan bakar solar konfigurasi U dengan selubung variasi diameter	21
Gambar 4.3	Hasil pengukuran sensor volume bahan bakar solar konfigurasi <i>loop</i> dengan selubung variasi jumlah lilitan	23

Gambar 4.4	Hasil pengukuran sensor volume bahan bakar solar konfigurasi U tanpa selubung variasi diameter	25
Gambar 4.5	Hasil pengukuran sensor volume bahan bakar solar konfigurasi gamma variasi diameter	27
Gambar 4.6	Grafik perbandingan sensitivitas variasi konfigurasi dengan selubung	28
Gambar 4.7	Grafik perbandingan sensitivitas variasi konfigurasi tanpa selubung	29

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Hasil karakterisasi sensor volume bahan bakar solar menggunakan konfigurasi U dengan selubung variasi diameter	22
Tabel 4.2	Hasil karakterisasi sensor volume bahan bakar solar menggunakan konfigurasi <i>loop</i> dengan selubung variasi lilitan	24
Tabel 4.3	Hasil karakterisasi sensor volume bahan bakar solar menggunakan konfigurasi U tanpa selubung variasi diameter	26
Tabel 4.4	Hasil karakterisasi sensor volume bahan bakar solar menggunakan konfigurasi gamma tanpa selubung variasi diameter	27

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Tabel perhitungan volume bahan bakar solar	35
Lampiran 2	Data Sheet LED dan Fototransistor	36
Lampiran 3	Gambar Serat Optik Plastik, LED Inframerah dan Fototransistor	38
Lampiran 4	Rangkaian Catu Daya dan Penguat Selisih	39
Lampiran 5	Rangkaian Mikromontroler Arduino UNO	39
Lampiran 6	Foto Pengukuran Sensor Serat Optik Plastik untuk Pengukuran Volume Bahan Bakar Solar	39
Lampiran 7	Foto Sensor Serat Optik Plastik Konfigurasi U dengan Selubung, <i>Loop</i> dengan Selubung, U tanpa Selubung dan Gamma tanpa Selubung	40

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Bahan bakar minyak merupakan sumber tenaga yang diperuntukkan bagi kendaraan bermotor atau diesel. Salah satu contoh bahan bakar minyak yaitu solar. Dalam proses pembakaran, tiap volume solar akan diubah menjadi energi untuk menggerakkan mesin. Volume bahan bakar dalam tangki penyimpanan maupun mesin merupakan hal yang penting untuk dipantau terlebih untuk pemeliharaan mesin. Alat yang digunakan untuk mengukur volume bahan bakar umumnya yaitu stik ukur, namun alat ini memiliki harga yang cukup mahal. Salah satu alternatif yang dapat digunakan sebagai sensor volume bahan bakar solar dalam tangki yaitu serat optik [1, 2].

Serat optik merupakan kabel yang berfungsi untuk mentransmisikan data berupa sinyal cahaya. Saat ini serat optik telah mengalami perkembangan yang begitu pesat dalam hal pemanfaatan, salah satunya yaitu sebagai sensor. Sebagai sensor, serat optik dapat digunakan untuk berbagai macam pengukuran. Misalnya untuk mengukur level ketinggian suatu zat cair. Pengukuran ini dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti pemantauan banjir, produksi kimia serta pengukuran volume bahan bakar [3].

Pada tahun 2015, Zhang dkk. melakukan penelitian tentang pengukuran level ketinggian zat cair menggunakan sensor serat optik plastik dengan lekukan besar yang digandengkan melilit pada sebuah tongkat [4]. Pozo, dkk pada tahun 2016 dengan metode *SPR (Surface Plasmon Resonance)* melakukan pengukuran ketinggian zat cair secara berkelanjutan pada tangki bahan bakar [2]. Disusul pada tahun 2019 oleh Rajamani, dkk. yang juga melakukan pengukuran menggunakan sensor serat optik plastik [5]. Namun penelitian ini sulit untuk dilakukan karena beberapa alasan, seperti melakukan penggandengan serat optik, penggunaan prisma serta lapisan emas dan pemakaian dua fotodetektor. Selain hal tersebut, biayanya tergolong mahal untuk skala laboratorium [2, 4, 5].

Pada penelitian ini, serat optik plastik digunakan sebagai alat untuk mengukur volume solar dalam tangki. Sensor akan diberi variasi konfigurasi, diameter dan jumlah lilitan. Pengukuran berdasar pada level ketinggian zat cair yang menyebabkan perubahan indeks bias serta lekukan besar (*macrobending*) pada serat sehingga meningkatkan rugi daya pada sensor. Hal ini akan mempengaruhi intensitas cahaya yang diterima oleh detektor. Intensitas cahaya yang diterima oleh detektor berupa sinyal analog akan diubah menjadi sinyal digital oleh mikrokontroler. Sensor volume bahan bakar solar dengan serat optik plastik diharapkan dapat memiliki nilai sensitivitas yang tinggi, resolusi yang baik, biaya yang murah, fabrikasi mudah, dan pemantauan secara *realtime*.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana fabrikasi sensor berbasis serat optik plastik untuk pengukuran volume bahan bakar solar dalam tangki?
2. Bagaimana metode pengukuran sensor berbasis serat optik plastik untuk volume bahan bakar solar dalam tangki?
3. Bagaimana analisis karakterisasi sensor berbasis serat optik plastik untuk pengukuran volume bahan bakar solar dalam tangki?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu:

1. Fabrikasi sensor berbasis serat optik plastik untuk pengukuran volume bahan bakar solar dalam tangki.
2. Mengukur sensor berbasis serat optik plastik untuk volume bahan bakar solar dalam tangki.
3. Menganalisis karakterisasi sensor berbasis serat optik plastik untuk pengukuran volume bahan bakar solar dalam tangki.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Serat Optik

Teknologi serat optik kini mengalami kemajuan yang pesat di bidang industri telekomunikasi. Kemampuan untuk menyampaikan informasi hingga gigabit pada kecepatan cahaya meningkatkan potensi penelitian pada serat optik. Serat optik memanfaatkan cahaya sebagai sumber informasi yang dapat diaplikasikan ke dalam berbagai bidang misalnya untuk pengukuran tekanan, suhu, konsentrasi larutan, level ketinggian air, dan lain-lain [6].

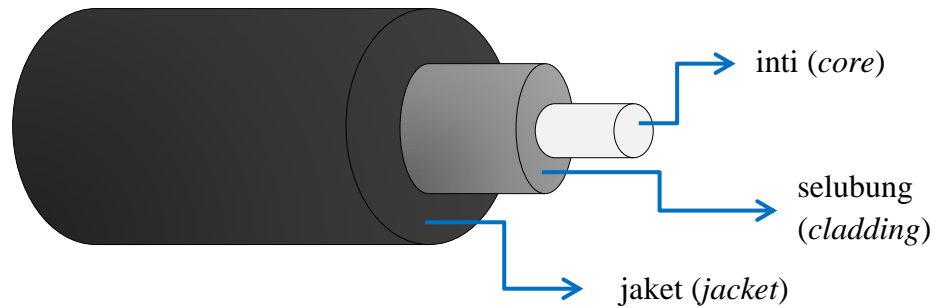
II.1.1 Jenis Serat Optik

Berdasarkan material penyusunnya, serat optik dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu serat optik kaca (*glass optical fiber* = GOF) dan serat optik plastik (*plastic optical fiber* = POF). Serat optik kaca umumnya terbuat dari silika, sedangkan serat optik plastik bahan utama penyusun intinya yaitu polimetil metakrilat (*polymethyl methacrylate* = PMMA). Kedua jenis serat optik ini pada dasarnya memiliki struktur geometri yang sama, yaitu lapisan inti (*core*), lapisan selubung (*cladding*) dan lapisan pelindung (*jacket*) [6, 7].

II.1.2 Struktur Serat Optik

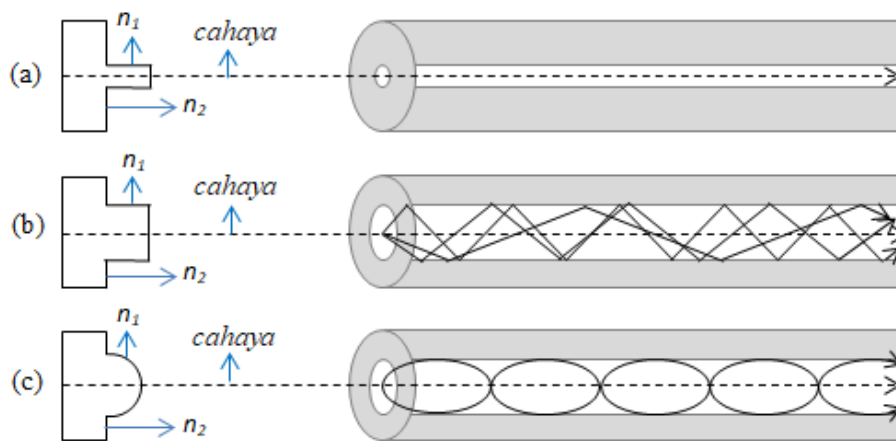
Struktur pada serat optik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.1, yaitu [8]:

1. Inti (*core*) merupakan bagian pusat dari serat optik, daerah serat optik yang berfungsi untuk mentransmisikan cahaya serta informasi dari sumber cahaya ke detektor.
2. Selubung (*cladding*) merupakan lapisan yang menyelubungi inti. Fungsinya yaitu untuk memandu gelombang cahaya dengan membatasi cahaya di dalam inti dengan pemantulan internal total pada antarmuka inti-selubung.
3. Pelindung (*jacket*) merupakan lapisan terluar serat. Berfungsi untuk melindungi selubung serta inti dari kerusakan fisik atau lingkungan.



Gambar 2.1 Bagian serat optik plastik [7].

Serat optik dapat dikelompokkan berdasarkan jenis moda dan indeks perambatan cahayanya yang diilustrasikan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Serat optik (a) moda tunggal indeks tangga; (b) moda jamak indeks tangga dan (c) moda jamak indeks tanjak. Dengan n_1 : indeks bias inti dan n_2 : indeks bias selubung [6, 9].

Berdasarkan jenis modanya, serat optik dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu moda tunggal (*singlemode*) dan moda jamak (*multimode*). Setiap moda bergerak sepanjang sumbu pandu gelombang dengan konstanta penjumlahan dan kecepatan yang berbeda. Ketika diameter inti kecil, hanya satu moda cahaya saja yang memungkinkan untuk melalui inti sehingga disebut sebagai moda tunggal seperti dalam Gambar 2.2 (a). Serat optik moda jamak memiliki diameter inti yang lebar serta dapat memiliki banyak moda penjumlahan [10-12].

Berdasarkan indeks perambatan cahayanya, serat optik dikelompokkan menjadi dua yaitu indeks tangga (*step index*) dan indeks tanjak (*graded index*). Serat optik dengan indeks tangga, indeks biasanya berbeda pada selubung dan inti, sehingga semua sinar yang berada dalam sudut tertentu akan sepenuhnya dipantulkan pada batas antara inti dan selubung. Sinar datang dengan sudut yang lebih besar daripada sudut kritis akan dipantulkan sebagian dan diteruskan sebagian melalui batas antara selubung dan pelindung [9, 10].

II.2 Karakteristik Serat Optik

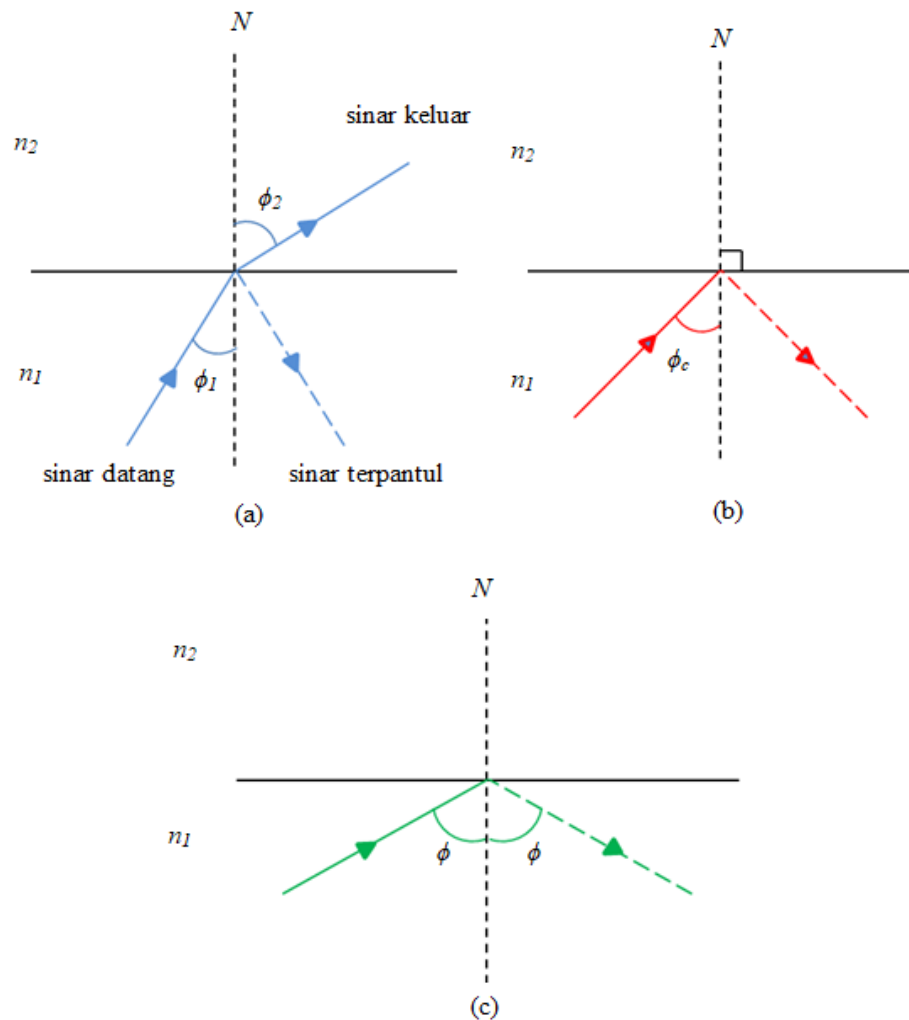
II.2.1 Pemantulan Internal Total

Penjalaran cahaya di dalam serat optik perlu memperhatikan indeks bias dari medium dielektrik. Indeks bias medium merupakan perbandingan dari kecepatan cahaya dalam ruang vakum dengan kecepatan cahaya di dalam medium. Sinar merambat lebih lambat di dalam medium optik yang rapat dibandingkan dalam medium yang lebih renggang. Ketika sinar datang pada antarmuka dua dielektrik dengan indeks bias berbeda (misalnya kaca-udara) maka akan terjadi pembiasan, seperti pada Gambar 2.3. Dapat dilihat bahwa sinar menghampiri antarmuka kemudian menjalar dalam indeks bias dielektrik n_1 (indeks bias inti) pada sudut ϕ_1 terhadap garis normal pada permukaan antarmuka. Jika dielektrik pada sisi antarmuka lainnya memiliki indeks bias n_2 (indeks bias selubung) yang lebih kecil dari n_1 , maka jalur bias sinar pada medium dengan indeks yang lebih rendah ini terjadi pada sudut ϕ_2 terhadap garis normal, dimana ϕ_2 lebih besar daripada ϕ_1 . Sudut datang dan sudut bias berhubungan satu sama lain, yang menurut hukum Snellius tentang bias [9]:

$$n_1 \sin \phi_1 = n_2 \sin \phi_2 \quad (2.1)$$

atau:

$$\frac{\sin \phi_1}{\sin \phi_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.2)$$



Gambar 2.3 Sinar yang terjadi pada antarmuka dari indeks bias tinggi ke rendah (misalnya kaca-udara): **(a)** bias; **(b)** pembatasan bias pada sudut kritis ϕ_c ; **(c)** pemantulan internal total $\phi > \phi_1$ [13].

Dapat dilihat pada Gambar 2.3 (a) bahwa ada cahaya yang dipantulkan kembali ke dalam medium dielektrik asal (pantulan parsial internal). Karena n_1 lebih besar dari n_2 , maka sudut bias selalu lebih besar dari sudut datang. Ketika sudut bias adalah 90° dan sinar bias datang sejajar dengan antarmuka medium dielektrik, sudut datang harus kurang dari 90° . Ini merupakan syarat batas bias. Sudut datang disebut sebagai sudut kritis seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.3 (b). Dari Persamaan (2.2), nilai dari sudut kritis diberikan oleh [9]:

$$\sin \phi_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.3)$$

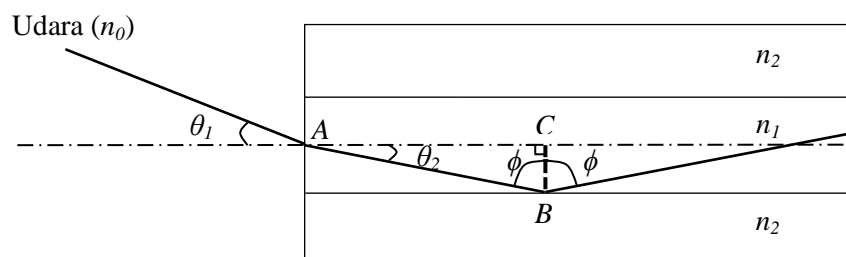
Dengan [9]:

- n_1 : indeks bias inti
- n_2 : indeks bias selubung
- ϕ_1 : sudut datang ($^\circ$)
- ϕ_2 : sudut sinar yang keluar dari inti ke selubung ($^\circ$)
- ϕ_c : sudut kritis ($^\circ$)

Pada saat sudut datang lebih besar daripada sudut kritis, sinar akan dipantulkan kembali ke dalam medium dielektrik asal (pemantulan internal total) dengan efisiensi yang tinggi (99,9%). Dapat dilihat pada Gambar 2.3 (c) bahwa pemantulan internal total terjadi pada antarmuka dua medium dielektrik dengan indeks bias berbeda. Cahaya datang pada medium dielektrik yang memiliki indeks bias lebih rendah dari dielektrik dengan indeks bias lebih besar, dan sudut datang melebihi nilai sudut kritis. Ini merupakan mekanisme dimana cahaya pada sudut yang cukup kecil (kurang dari $90^\circ - \phi_c$) dimisalkan merambat ke serat optik dengan rugi daya kecil [9]. Dengan kata lain bahwa pemantulan internal total adalah ketika cahaya dipantulkan kembali ke dalam medium yang lebih padat (indeks bias lebih besar) hampir tanpa rugi daya [13].

II.2.2 Celah Numerik (*Numerical Aperture*)

Celah numerik (*numerical aperture*) merupakan batas jumlah moda cahaya yang dapat dikumpulkan oleh serat. Celah numerik dapat diilustrasikan seperti dalam Gambar 2.4 [9].



Gambar 2.4 Cahaya masuk ke dalam serat optik [9].

Dimisalkan cahaya merambat dari udara (n_0) ke dalam inti serat optik (n_1), maka diterapkan hukum Snellius:

$$n_0 \sin \theta_1 = n_1 \sin \theta_2 \quad (2.4)$$

Mempertimbangkan sudut siku-siku segitiga ABC pada Gambar 2.4 maka:

$$\phi = \frac{\pi}{2} - \theta_2 \quad (2.5)$$

dimana ϕ lebih besar dari sudut kritis pada batas antara inti dan selubung. Maka Persamaan (2.5) menjadi:

$$n_0 \sin \theta_1 = n_1 \cos \phi \quad (2.6)$$

Dengan menggunakan hubungan trigonometri $\sin^2 \phi + \cos^2 \phi = 1$, Persamaan (2.6) dapat menjadi:

$$n_0 \sin \theta_1 = n_1 (1 - \sin^2 \phi)^{\frac{1}{2}} \quad (2.7)$$

Ketika syarat batas untuk pemantulan internal diterapkan, ϕ menjadi sama dengan sudut kritis untuk batas antara inti dan selubung. Syarat batas ini juga menjadi sudut penerimaan untuk serat θ_a . Dengan menggabungkan syarat batas ini pada Persamaan (2.7), memberikan:

$$n_0 \sin \theta_a = (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2.8)$$

Persamaan (2.8), selain menghubungkan sudut penerimaan dengan indeks bias juga berfungsi sebagai dasar untuk definisi parameter serat optik yang penting, yaitu celah numerik (NA). Karenanya, NA didefinisikan sebagai [9]:

$$NA = n_0 \sin \theta_a = (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2.9)$$

$$NA = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (2.10)$$

Dengan [9]:

- n_0 : indeks bias udara
- n_1 : indeks bias inti
- n_2 : indeks bias selubung
- θ_1 : sudut sinar datang dari udara ke dalam inti ($^\circ$)
- θ_2 : sudut sinar dalam inti ($^\circ$)
- θ_a : sudut penerimaan serat pada syarat batas ($^\circ$)

ϕ : sudut kritis saat syarat batas pemantulan internal diterapkan ($^{\circ}$)

Δ : beda indeks bias antara inti dan selubung

II.2.3 Rugi Daya pada Serat Optik

Pada dasarnya ada dua alasan cahaya dapat hilang, yaitu serat yang tidak cukup bening atau cahaya yang dibelokkan ke arah yang salah. Rugi optik sendiri dikelompokkan menjadi dua kategori yaitu: rugi intrinsik, yang disebabkan dari material yang tidak tergantung pada proses; dan rugi ekstrinsik, yang timbul akibat ketakmurnian atau pemrosesan material [14,15]. Ketika serat optik dibengkokkan, juga akan menyebabkan rugi daya diakibatkan oleh jari-jari lengkungan, celah numerik, maupun panjang serat yang dilekukkan. Beberapa penyebab rugi daya pada serat optik antara lain [9]:

1. Lekukan besar (*macrobending*), lekukan memiliki diameter lebih besar dari jari-jari serat optik.
2. Lekukan kecil (*microbending*), lekukan memiliki diameter lebih kecil dari jari-jari serat optik.

II.3 Serat Optik sebagai Sensor

Dalam penggunaannya, serat optik dapat diaplikasikan sebagai sensor. Sebagai sensor, serat optik memiliki beberapa karakteristik seperti [9]:

- a. *Range*, selisih keluaran maksimum dan keluaran minimum dengan persamaan untuk variabel yang diukur merupakan tegangan yaitu:

$$\Delta = V_{maks} - V_{min} \quad (2.11)$$

dengan V_{maks} adalah tegangan maksimum dan V_{min} merupakan tegangan terkecil.

- b. Sensitivitas, perubahan keluaran dibandingkan unit perubahan masukan untuk menggambarkan kepekaan sensor terhadap nilai yang diukur, dengan persamaan:

$$S = \frac{\Delta}{Vol_{maks} - Vol_{min}} \quad (2.12)$$

dimana Δ merupakan sensitivitas, Vol_{maks} merupakan volume maksimum dan Vol_{min} merupakan volume minimum.

- c. Resolusi, nilai perubahan terkecil yang terukur oleh sensor, dengan persamaan:

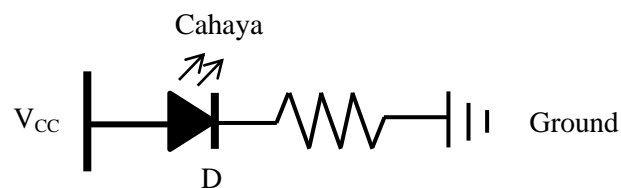
$$R = \frac{N}{S} \quad (2.13)$$

dengan N merupakan skala terkecil dari alat ukur yang digunakan dan S merupakan sensitivitas.

II.4 Piranti Pendukung Sensor Serat Optik

II.4.1 *Light Emitting Diode (LED)*

LED digunakan dalam sistem komunikasi yang mentransmisikan data dengan *rate* rendah dan menengah (<1 Gbit/s) pada jarak pendek dan menengah (<10 km). Sistem komunikasi ini didasarkan pada gelombang cahaya terpandu, dimana serat optik tunggal atau bundel digunakan sebagai media transmisi dan hubungannya terbatas dalam beberapa kilometer saja [16]. LED dipasang pada serat optik sebagai sumber cahaya yang akan merambat sepanjang serat dan akhirnya diterima oleh detektor. Bagian-bagian dari LED yaitu tegangan masukan (V_{CC}), *ground*, komponen dioda (D), dan resistor (R) seperti pada Gambar 2.5.

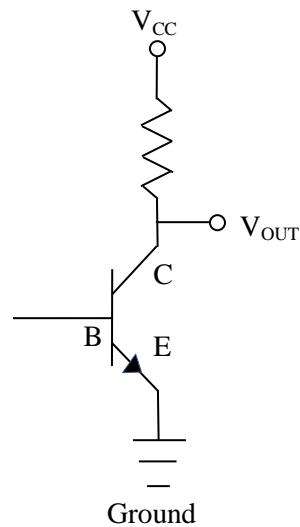


Gambar 2.5 Skema rangkaian LED [16].

II.4.2 Fotodetektor

Fotodetektor merupakan komponen penting dalam sistem komunikasi optik, di mana sinyal optik diubah menjadi sinyal listrik untuk kemudian dikuatkan oleh penerima elektronik. Untuk hubungannya dengan serat optik, *noise* rendah, *gain* tinggi, sensitivitas tinggi, rentang fotoreceiver yang dinamis lebar digunakan untuk mengonversi arus cahaya menjadi tegangan listrik. Bagian pada rangkaian fotodetektor yaitu tegangan masukan (V_{CC}), *ground*, dan tegangan keluaran (V_{OUT}) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6. Fotodetektor sebagai detektor

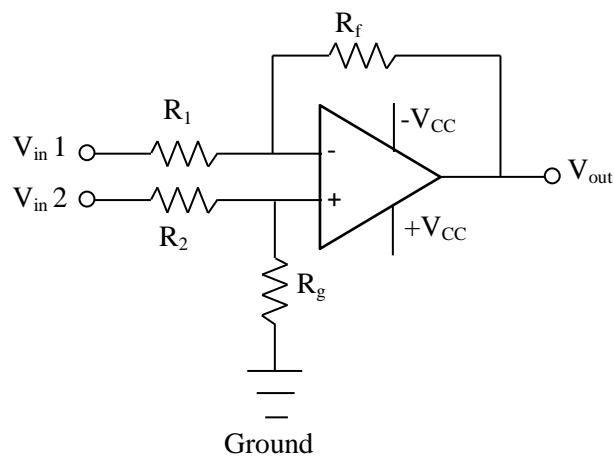
menerima cahaya dari serat optik. Cahaya diterima pada basis (B) sebanding dengan arus yang mengalir antara emitor (E) dan kolektor (C) [17].



Gambar 2.6 Skema rangkaian fotodetektor [17].

II.4.3 Penguat Diferensial

Penguat diferensial sering juga disebut sebagai penguat selisih, dimana terdapat dua masukan dengan satu keluaran. Sesuai dengan namanya, penguat ini akan menyelisih dua tegangan masukan kemudian menguatkannya untuk mendapatkan tegangan keluaran. Skema rangkaian penguat diferensial dapat dilihat pada Gambar 2.7 [18].



Gambar 2.7 Skema rangkaian penguat diferensial [18].

$$V_{out} = \frac{(R_1 + R_{ref})R_g}{(R_2 + R_g)R_1} V_2 - \frac{R_{ref}}{R_1} V_1 \quad (2.14)$$

Bila $R_1 = R_2$ serta $R_{ref} = R_g$, maka Persamaan (2.14) menjadi:

$$V_{out} = (V_2 - V_1) \frac{R_{ref}}{R_1} \quad (2.15)$$

II.5 Mikrokontroler Arduino UNO

Mikrokontroler dapat juga disebut sebagai komputer kecil pada sirkuit terpadu (*integrated circuit/ IC*) yang dapat menjalankan suatu fungsi tertentu. Di dalam IC berisikan memori, *input/output* yang sudah terprogram serta inti prosesor. Memori berfungsi sebagai tempat penyimpanan data, *input/output* berfungsi untuk menerima masukan data serta memberikan keluaran. Mikrokontroler saat ini memiliki beragam jenis, salah satunya yaitu Arduino UNO, seperti pada Gambar 2.8. Arduino UNO tersusun atas IC tipe ATmega328P dan termasuk salah satu platform elektronik dengan sumber terbuka (*open-source*) baik perangkat keras dan perangkat lunaknya [19, 20].



Gambar 2.8 Perangkat keras Arduino UNO [19].

II.6 Volume Bahan Bakar

Bahan bakar merupakan materi yang digunakan pada mesin kendaraan maupun mesin diesel lainnya. Tiap volume bahan bakar yang melalui proses pembakaran dalam tangki mesin akan diubah sebagai sumber energi untuk

menggerakkan mesin kendaraan. Dalam pemeliharaan mesin, pemantauan volume bahan bakar merupakan hal yang krusial [2].