SKRIPSI

MONITORING LEVEL AIR MENGGUNAKAN SENSOR SERAT OPTIK KACA STRUKTUR *SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE* (SMS) BERBASIS OTDR

NURLINA

H211 16 004

DEPARTEMEN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

SKRIPSI

MONITORING LEVEL AIR MENGGUNAKAN SENSOR SERAT OPTIK KACA STRUKTUR *SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE* (SMS) BERBASIS OTDR

Disusun dan Diajukan Oleh

NURLINA

H211 16 004

DEPARTEMEN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

MONITORING LEVEL AIR MENGGUNAKAN SENSOR SERAT OPTIK KACA STRUKTUR *SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE* (SMS) BERBASIS OTDR

Disusun dan Diajukan oleh

NURLINA
H211 16 004

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 2 Juni 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

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

Pembimbing Pertama,

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

Ketua Departemen,

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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama	: Nurlina
NIM	: H211 16 004
Program Studi	: Fisika
Jenjang	: S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya berjudul

Monitoring Level Air Menggunakan Sensor Serat Optik Kaca Struktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) Berbasis OTDR

Adalah karya tulis 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 hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut

Makassar, 2 Juni 2021
Yang menyatakan

METERAI TEMPEL
TGL. 20
ABA84AHF913150937
6000
ENAM RIBU RUPIAH

Nurlina

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang monitoring level air menggunakan sensor serat optik kaca struktur SMS berbasis OTDR. Pada penelitian ini dibuat sensor serat optik kaca struktur *Singlemode Multimode Singlemode* (SMS) dengan menggunakan alat ukur *Optical Time Domain Reflektometer* (OTDR) dengan prinsip kerja *back-scattering.* Pembuatan sensor dilakukan dengan cara menyambungkan dua jenis serat optik kaca yang berbeda dengan struktur SMS menggunakan *fusion splicer*. Pada bagian *multimode,* sensor dibentuk dengan konfigurasi *loop* variasi jumlah lilitan, konfigurasi dua pita dengan variasi diameter dan konfigurasi spiral variasi jumlah lilitan. Pengujian sensor dilakukan dengan memasukkan sensor ke dalam air dari ketinggian 0 cm sampai 100 cm untuk mengetahui perubahan rugi daya yang terbaca pada OTDR. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa semakin tinggi air, maka semakin besar rugi daya yang dihasilkan. Hasil analisis data yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai sensitivitas sensor konfigurasi *loop* dan spiral semakin besar jika jumlah lilitan semakin banyak. Begitu pula dengan konfigurasi dua pita bahwa sensitivitas meningkat jika diameternya semakin kecil. Karakterisasi terbaik ditunjukkan pada konfigurasi spiral 4 lilitan dengan nilai *range* 1,959 dB, sensitivitas 20,600 mdB/cm, dan resolusi 0,048 cm. Sensor ini memiliki keunggulan yaitu biaya murah, prosedur pengukuran yang mudah dan dapat dilakukan pengukuran secara *real time.*

Kata kunci: Ketinggian air, OTDR, serat optik, struktur SMS.

ABSTRACT

Research on water level monitoring has been carried out using a glass fiber optic sensor with an OTDR-based structure of SMS. In this study, a Singlemode Multimode Singlemode (SMS) glass fiber optic sensor was made using an Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) measuring instrument with a back-scattering working principle. The manufacture of sensors is done by connecting two different types of glass optical fibers to the SMS structure using a fusion splicer. In the multimode section, the sensor is formed with a loop configuration with variations in the number of turns, a two-band configuration with varying diameters and a spiral configuration with a variation in the number of turns. Sensor testing is carried out by inserting the sensor into the water from a height of 0 cm to 100 cm to determine the change in power loss read on the OTDR. The measurement results show that the higher the water, the greater the resulting power loss. The results of the data analysis showed that the sensitivity value of the loop and spiral configuration sensors was greater the greater the number of turns. Likewise with the two-band configuration the sensitivity increases the smaller the diameter. The best characterization is shown in the 4-coil spiral configuration with a value range of 1.959 dB, sensitivity of 20.600 mdB / cm, and a resolution of 0.048 cm. This sensor has the advantage of low cost, easy measurement procedures and real-time measurements.

Keywords*: Water level, OTDR, optical fiber, SMS structure.*

KATA PENGANTAR

بِسْمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحْمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat ALLAH SWT yang telah memberikan nikmat kesehatan dan kesempatan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **"Monitoring Level Air Menggunakan Sensor Serat Optik kaca Struktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) Berbasis OTDR"** sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) Departemen Fisika Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin.

Penelitian ini merupakan perjalanan terpanjang yang penulis lalui dengan berbagai kendala yang membuat penulis jatuh bangun disepanjang perjalanan. Syukur alhamdulillah penulis bisa sampai pada tahap ini yang tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih dari lubuk hati yang paling dalam kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, bapak **Abidin**, ibu **Sulaeha** (Alm), tante **Rajo'** (Alm) yang merawat dan menjaga kami dirumah seperti anak sendiri serta menjadi orang tua kami selama mama diperantauan dan adik-adikku **Ita, Uli, Sinar, Hikma** serta keluarga besar **Mallappiang & Rupi'** terima kasih atas curahan kasih sayang, dorongan doa, nasehat, dukungan moril dan materi kepada penulis selama menempuh pendidikan. Terima kasih atas pengorbanan mama dan bapak yang rela jauh-jauh merantau ke negeri jirang demi menyekolahkan kami. Kepada almarhum Mama Mohon MAAF belum bisa memberikan apa-apa sebelum mama pergi meninggalkan kami semua.
2. Bapak **Prof. Dr. Arifin, M.T.**, sebagai pembimbing utama sekaligus penasehat akademik (PA) penulis, yang telah banyak meluangkan waktu selama penulis melakukan penelitian di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Departemen Fisika FMIPA Unhas. Terima kasih atas ilmu, arahan, dan dorongan motivasi kepada penulis sehingga dapat menyelesaian penelitian ini.
3. Bapak **Prof. Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng.Sc.**, sebagai pembimbing

pertama yang telah meluangkan waktu untuk membimbing penulis. Terima kasih atas arahan, bimbingan, ilmu, nasihat dan dorongan motivasi kepada penulis.

4. Ibu **Dr. Bidayatul Arminah, M.T.** dan **Dr. Sri Dewi Astuti Ilyas, M.Si.** sebagai tim penguji dalam melaksanakan seminar proposal, hasil dan skripsi fisika yang telah banyak memberikan masukan dan saran yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini
5. Bapak **Prof. Dr. Arifin, M.T**., selaku Ketua Departemen Fisika, Universitas Hasanuddin serta seluruh staf dosen pengajar dan pegawai Departemen Fisika FMIPA Unhas yang telah memberikan bimbingan serta ilmu selama penulis menjalani studi hingga penyelesaian skripsi
6. Sahabat **Neutrino (Ida Laila, S.Si./ichan** dan **Arfinna, S.Si./achan)**, yang menjadi tempat berkeluh kesah dalam berbagai hal. Teman makan kapurung sebaskom bertiga. Terima kasih telah menemani melewati masa-masa sulit penulis, menguatkan dan merangkul penulis ketika orang tua tercinta meninggal. Terima kasih telah banyak membantu penulis menyelesaikan skripsi ini. Kalian sahabat yang **LUAR BIASA**. Suatu kesyukuran besar bisa memiliki kalian. Semoga kalian selalu dalam lindungan ALLAH SWT. Sukses untuk kita semua.
7. Sahabat **Limit (Sadilah/dora** dan **Dewi Ainun Jariah/susanti)** saudara tak sedarahku. Terima kasih atas semua kisah yang telah kita ukir bersama. Teman suka duka masa-masa perkuliahan, organisasi dan penelitian ini yang selalu menemani dan memberikan semangat kepada penulis. Terima kasih selalu ada untuk penulis, mengingatkan ketika salah dan manasehati ketika banyak cobaan yang menghampiri. Semoga kalian diberikan kemudahan dalam segala hal dan sehat selalu.
8. Sahabat **Bushido XI** (Sadil, Dewi, Dian, Wasti, Kak Alfiah, Sandi, Farid, Abdi, Erwin dan Uga) yang memberi dukungan dan semangat selama penulis menjalani studi hingga menyelesaikan penelitian ini. Terima kasih atas kebersamaan dan pengalaman berharga yang penulis dapatkan bersama kalian yang membuat penulis merasa memiliki keluarga diperantauan.

9. Terima kasih kepada **Sandi Teguh Budiman** yang selalu siap membatu penulis kapan pun dan dimana pun. Terima kasih telah banyak membantu, menemani, memberikan dorongan motivasi, menguatkan dan membawa keceriaan kepada penulis selama menjalani pendidikan hingga penyelesain skripsi ini.
10. Terima kasih kepada teman-teman **FISIKA 2016** (Aldin, Muzul, Wajan, Ida, Sita, Fiddo, Ekky, Widy, Winda, ACT, Mawar, Afni, Aii, Angra, Arif, Dewa, Evi, Hilda, Ido', Ilham, Kevin, Mute, Patrick, Rara, Faras, Arya, Cahya, Dayah, Indri, Lili, Novi, Fina dan Riri) yang telah memberikan dukungan serta semangat kepada penulis.
11. Terima kasih kepada seluruh anggota **Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi** yang telah banyak memberikan saran kepada penulis selama proses penyelesaian skripsi ini.
12. Terima kasih untuk **HIMAFI FMIPA UNHAS** dan **KMF MIPA UNHAS** atas segala proses yang penulis lalui sehingga banyak pelajaran dan pengalaman yang didapatkan oleh penulis selama ini. Untuk teman-teman seperjuangan, terima kasih atas kebersamaannya dari maba, panitia sampai menjadi pengurus.
13. Kepada keluarga besar **UKM KARATE Unhas** terkhusus kepada **Kak Ilham Fachry, Kak Andra, Kak Inno, Kak Aziz, Kak Karman, Kak Qalby, Kak Hamdan, Kak Rida, Kak Udin, Kak Ical, Kak Fira, Inna** dan **Fahrul** yang selalu memberikan semangat dan dorongan motivasi kepada penulis selama proses penyelesaian skripsi. Terima kasih atas segala proses yang penulis lalui hingga banyak pelajaran berharga yang didapat penulis selama ini.
14. Terima kasih untuk **Corps. Asisten Laboratorium Fisika Dasar (Pak Hamzah, Bu Tuti, Pak Ahmad, kakak asisten 2014 dan 2015, teman asisten 2016 serta adik asisten 2017)** atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk belajar dan memberikan ilmu kepada praktikan di Laboratorium.
15. Kepada kak **ANNAMAINTIN, S.Si.** sebagai partner penelitian penulis yang menjadi teman belajar demi MALIKA yang harus dirawat dengan sepenuh hati. Terima kasih atas ilmu dan pengalamannya selama proses penelitian kak.

Terima kasih juga kepada kak **ERNI** yang selalu menyemangati penulis, menemani penulis jauh-jauh ke Petran Selatan untuk beli gentong air/drum.

16. Terima kasih kepada tim yang terlibat didalam penelitian penulis (**Adekku Ita**, **Sadil, Winda, Ani, Cahya, Golla, Tuti, Yesi, Sandi, Farid, Abdi, Erwin, Fahrul, Arief, Ulla, Aldin, Sabran** dan **Qoil**) yang selalu siap membantu penulis mengambil data. Terima kasih atas kebaikan hati kalian. Tanpa bantuan dari kalian penelitian ini tidak akan selesai.
17. Kepada keluarga **Pondok Hasan (Ani, Tuti, Rezki, Wilda, Nisa** dan **Fira)** dan **Pondok Intishar (Wajan, Rika, Kak Nuri,** dan **Kak Dokter Yunita** yang selalu memberikan semangat dan keceriaan kepada penulis. Terima kasih atas kebersamaannya.
18. Terima kasih kepada teman-teman seperjuangan dari kampung halaman tercinta **KAJANG (Ani, Anggi, Yuri, Arham, Marko, Dedy, Ifa, Musda, Wulan, Angga** dan **Nisa)** yang memberikan semangat dan motivasi kepada penulis. Terima kasih atas kesempatan berintraksinya selama menempuh pendidikan.
19. Kepada teman-teman **KKN TEMATIK PULAU SEBATIK GEL. 102 (Riska, Fingki, Kurni, Naca, Hikma, Ekki, Kak Inci, Jaya, Hamda, Rian, Reinhar, Ippanto)**. Terima kasih telah mengukir cerita indah di tapal batas NKRI. Kalian sangat baik jauh dari yang penulis pikirkan. Terima kasih telah menyemangati penulis dalam proses skripsi ini.
20. Serta kepada semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan kontribusi sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Semoga karya tulis ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembacanya, penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada semua pihak yang telah membantu dan semoga Allah SWT melimpahkan karunia-Nya dalam setiap amal kebaikan dan diberikan balasan. Amin Yaa Rabbal Alamin.

Makassar, 2 Juni 2021

Nurlina

DAFTAR ISI

SKRIPSI i
SKRIPSI ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI iii
PERNYATAAN KEASLIAN iv
ABSTRAK v
ABSTRACT vi
KATA PENGANTAR vii
DAFTAR ISI xi
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR TABEL xv
DAFTAR LAMPIRAN xvi
BAB I PENDAHULUAN 1
I.1 Latar Belakang 1
I.2 Rumusan Masalah 2
I.3 Tujuan Penelitian 2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 3
II.1 Serat Optik 3
II.2 Karakteristik Serat Optik 5
II.2.1 Pemantulan Internal Total 5
II.2.2 Celah Numerik 6
II.2.3 Rugi-Rugi Daya pada Serat Optik 7
II.3 Sensor Serat Optik 8
II.4 Sensor Serat Optik Berstruktur SMS 9
II.5 Keunggulan Serat Optik 10
II.6 *Optical Time Domain Reflektometer* (OTDR) 10
II.7 Ketinggian Air 12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 14
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian 14
III.2 Alat dan Bahan 14
III.3 Prosedur Penelitian 14

III.4 Bagan Alir Penelitian 17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 18
IV.1 Perancangan dan Pembuatan Sensor Ketinggian Air 18
IV.2 Hasil pengujian Sensor Ketinggian Air Berbasis Serat Optik Kaca Struktur SMS Menggunakan OTDR dengan Variasi Konfigurasi 18
IV.2.1 Konfigurasi *Loop* 18
IV.2.2 Konfigurasi Dua Pita 20
IV.2.3 Konfigurasi Spiral 21
BAB V PENUTUP 24
V.1 Kesimpulan 24
V.2 Saran 24
DAFTAR PUSTAKA 26
Lampiran 1 Dokumentasi Kegiatan 28
Lampiran 2 Data Hasil Pengukuran dan Pengujian 31

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Serat Optik 3
Gambar 2.2 Jenis Serat Optik 4
Gambar 2.3 Representasi Sudut 5
Gambar 2.4 Sudut dimana Sinar Diterima Oleh Serat Optik 7
Gambar 2.5 Skema Serat Optik Berstruktur SMS 10
Gambar 2.6 OTDR Yokagawa AQ7280 11
Gambar 3.1 Sensor Struktur SMS 15
Gambar 3.2 Jenis Konfigurasi 15
Gambar 3.3 Skema Sensor Serat Optik Kaca Struktur SMS Berbasis OTDR untuk Mengukur Level Air 16
Gambar 3.4 Bagan Alir Penelitian 17
Gambar 4.1 Grafik Perubahan Rugi Daya Terhadap Level Ketinggian Air dengan Konfigurasi *Loop* Variasi Jumlah Lilitan 19
Gambar 4.2 Grafik Perubahan Rugi Daya Terhadap Level Ketinggian Air dengan Konfigurasi Dua Pita Variasi Besar Diameter 20
Gambar 4.3 Grafik Perubahan Rugi Daya Terhadap Level Ketinggian Air dengan Konfigurasi Spiral Variasi Jumlah Lilitan 22
Gambar 1 Serat Optik *Singlemode* 28
Gambar 2 Serat Optik *Multimode* 28
Gambar 3 Patchord tipe SC 28
Gambar 4 Optical Time Domain Reflektometer 28
Gambar 5 Fusion Splicer, Fiber Stipper dan Fiber Cleaver 28
Gambar 6 Jangka Sorong, Meteran dan Pembersih Konektor 28
Gambar 7 Pipa Kapiler 28
Gambar 8 Selang Bening 28
Gambar 9 Konfigurasi *Loop* 29
Gambar 10 Konfigurasi Dua Pita 29
Gambar 11 Konfigurasi Spiral 29
Gambar 12 Pengukuran dan Pengambilan Data pada Wadah Air di Dalam

Ruangan..... 29
Gambar 13 Pengukuran dan Pengambilan Data pada Wadah Air di Luar Ruangan..... 29
Gambar 14 Proses Pengukuran dan Pengambilan Data pada Beberapa Level Ketinggian Air..... 30

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Karakterisasi Sensor Serat Optik Kaca Struktur SMS Konfigurasi *Loop*..... 19
Tabel 4.2 Karakterisasi Sensor Serat Optik Kaca Struktur SMS Konfigurasi Dua Pita 21
Tabel 4.3 Karakterisasi Sensor Serat Optik Kaca Struktur SMS Konfigurasi Spiral 22

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Kegiatan 28
Lampiran 2 Data Hasil Pengukuran dan Pengujian..... 31

BAB I
PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Curah hujan yang tinggi pada musim penghujan berpotensi meningkatkan debit air pada bendungan sehingga dapat mengakibatkan terjadinya banjir [1]. Beberapa metode telah dilakukan untuk pemantauan level ketinggian air, salah satunya adalah pemantauan secara konvensional [2]. Namun, alat tersebut tidak dapat digunakan secara *real time.* Serat optik sebagai sensor memiliki banyak kelebihan seperti pemantauan secara *realtime*, transmisi data yang cepat, instalasi yang sederhana, dan kebal terhadap medan elektromagnetik [3]. Oleh karena itu serat optik dapat digunakan sebagai sensor untuk pemantauan level air yang lebih unggul dibandingkan sensor konvensioanal [4].

Serat optik dikembangkan menjadi sistem sensor yang bisa digunakan untuk pengukuran berbagai jenis variabel. Serat optik merupakan media transmisi cahaya yang membawa informasi berupa data dari satu lokasi ke lokasi yang lain dengan prinsip kerja pemantulan sempurna [5]. Penelitian yang dilakukan oleh Bawa dkk. (2019), mengenai pengujian sensor tekanan ketinggian air berbasis serat optik yang dipadukan dengan *Optical Spectrum Analyser* (OSA) menunjukkan sensitivitas ~0,63 nm/cm menggunakan struktur SMS pada rentang panjang gelombang 1550 sampai 1600 nm dengan variasi konfigurasi *loop* untuk mengukur kedalaman air hingga 40 cm [6].

Penelitian lain yang dilakukan oleh Loizou dan Koutroulis (2017), mengenai sensor deteksi ketinggian air menggunakan PCB sensor kapasitif [7]. Penelitian lain yang dilakukan oleh Lumanta dkk. (2018), mengenai sensor level dan konsentrasi cairan berbasis serat optik plastik. Hasil pengujian sensor menunjukkan bahwa peningkatan indeks bias memberikan peningkatan yang sesuai dari daya keluaran yang ditransmisikan [8].

Pada penelitian ini akan dikembangkan sensor level air menggunakan serat optik kaca dengan konfigurasi *loop* dan spiral variasi jumlah lilitan serta konfigurasi dua pita variasi besar diameter. Sensor akan dipadukan dengan OTDR sebagai alat

deteksi dan analisis kekuatan cahaya yang kembali. Konfigurasi pada sensor level air diharapkan dapat meningkatkan rugi-rugi daya sehingga menghasilkan karakteristik sensor yang terbaik. Sensor yang akan dibuat memiliki keunggulan yaitu fabrikasi mudah, operasional yang sederhana serta dilakukan pengukuran secara *real time*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimanakah cara membuat dan menguji sensor level air berbasis serat optik kaca struktur SMS berbasis OTDR?
2. Bagaimana pengujian sensor level air berbasis serat optik dengan struktur SMS berbasis OTDR?
3. Bagaimanakah karakterisasi sensor level air berbasis serat optik dengan menggunakan struktur SMS dan OTDR?

1.3 Tujuan Penelitian

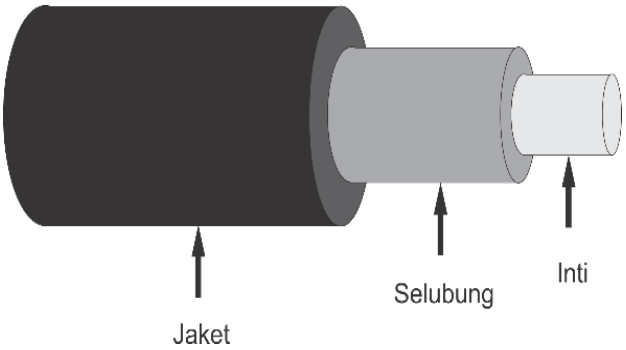
Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Membuat sensor level air berbasis serat optik struktur SMS menggunakan OTDR.
2. Menguji sensor level air berbasis serat optik kaca struktur SMS menggunakan OTDR.
3. Mengkarakterisasi sensor level air berbasis serat optik struktur SMS dan OTDR.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Serat Optik

Secara umum serat optik adalah jenis kabel yang terbuat dari plastik (polimer) atau kaca (silika). Serat optik merupakan media transmisi cahaya yang membawa informasi berupa data dari satu lokasi ke lokasi yang lain [9,10]. Serat optik terdiri dari tiga bagian utama yaitu inti (*core),* selubung *(cladding)* dan jaket (*coating)*. Struktur serat optik dapat dilihat pada Gambar 2.1. Inti berfungsi sebagai media lewatnya cahaya dan membawa informasi dari sumber menuju penerima. Inti terbuat dari bahan kaca dengan kualitas sangat tinggi dan memiliki diameter 5 sampai 10 µm dimana ukuran inti akan mempengaruhi karakteristik serat optik, Selubung, merupakan bagian yang mengelilingi lapisan inti dengan diameter antara 5 µm sampai 250 µm. Selubung berfungsi memandu cahaya berisi informasi agar tidak terjadi rugi daya di dalam inti serat optik dan jaket, berfungsi sebagai pelindung mekanis serat optik sehingga serat optik lebih tahan terhadap gangguan eksternal. Jaket terbuat dari bahan plastik yang elastis [11].

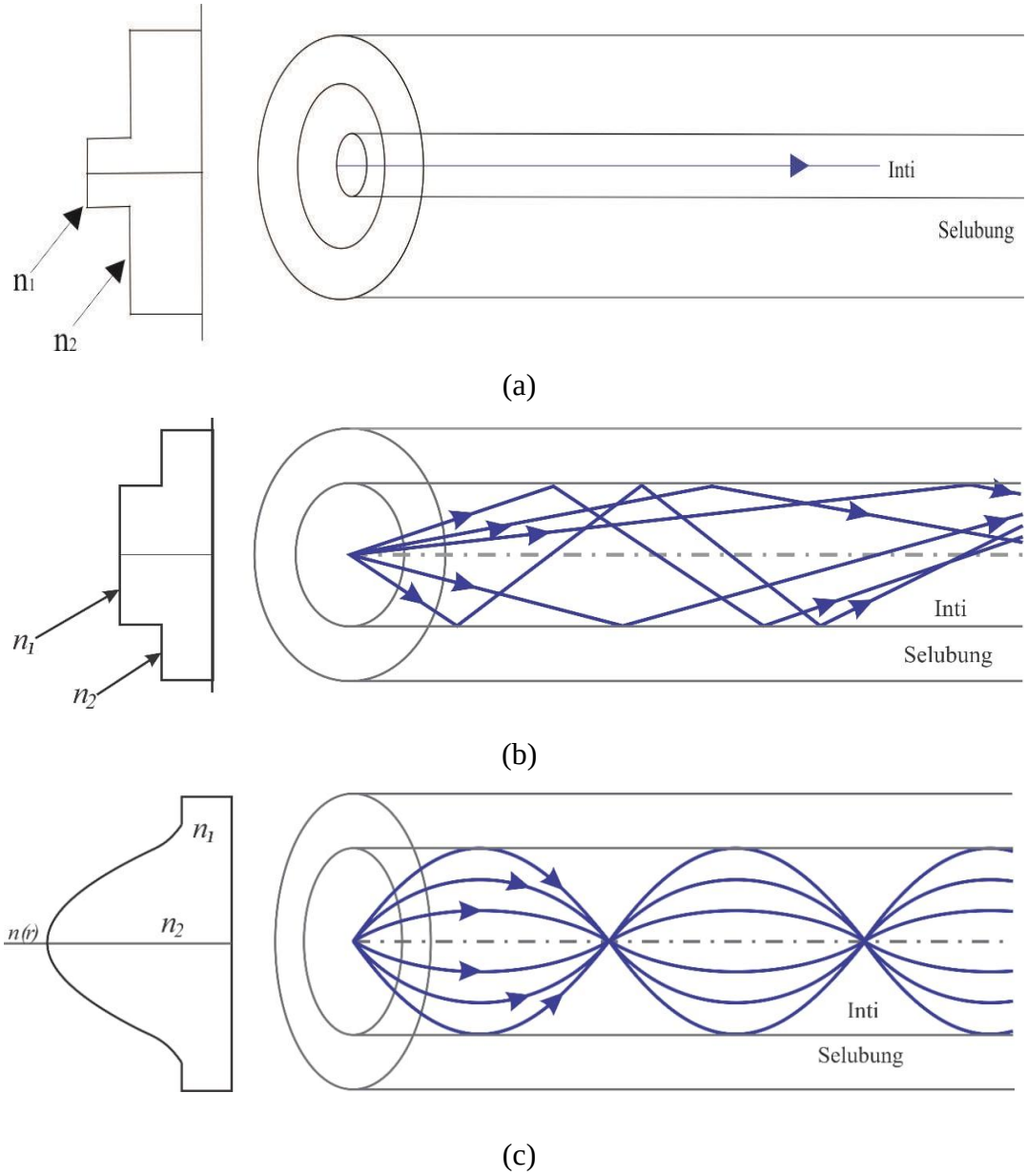


Gambar 2.1 Struktur serat optik [8].

Berdasarkan material bahannya serat optik terdiri dari dua jenis yaitu serat optik kaca yang terbut dari silika dan serat optik plastik yang terbuat dari bahan polimer. Serat optik terdiri atas dua jenis berdasarkan moda perambatannya yaitu moda tunggal (*single mode*) dan moda jamak (*multi mode*). Moda tunggal hanya satu jenis cahaya yang merambat melalui inti dan moda jamak memungkinkan penyebaran banyak moda dalam inti serat. Moda tunggal memiliki keunggulan yaitu dispersi yang rendah karena hanya satu cahaya yang ditransmisikan

sedangkan moda jamak dapat terjadi dispersi yang cukup banyak karena kecepatan yang berbeda dari cahaya yang ditransmisikan [5].

Serat optik juga dapat diklasifikasikan berdasarkan perbedaan indeks bias yaitu indeks tangga (*step index*) dan indeks tanjak (*graded index*). Perbedaan penjalaran cahaya pada inti serat optik ditampilkan pada Gambar 2.2 [11].



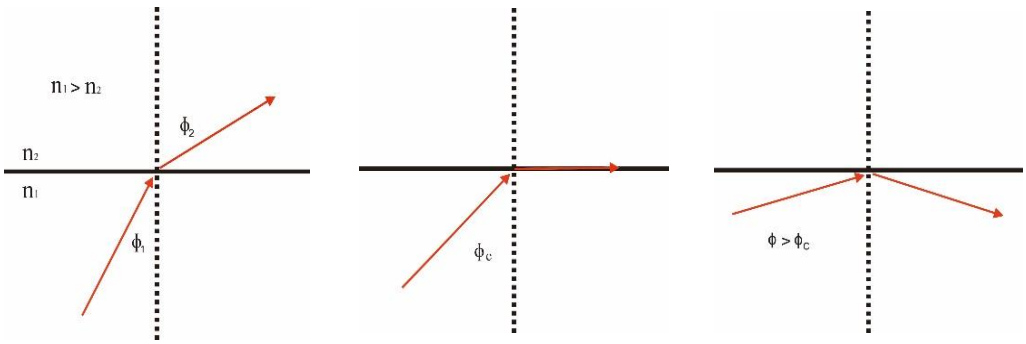
Gambar 2.2 Jenis serat optik (a) Moda tunggal, (b) Moda jamak indeks tangga dan (c) Moda jamak indeks tanjak [11].

Serat optik jenis indeks tangga memilki inti dengan indeks bias yang seragam serta cahaya akan merambat dengan jalur yang berbeda tergantung pada sudut relatif terhadap sumbu sehingga tiap moda akan tiba ke ujung serat pada waktu yang berbeda. Sedangkan serat optik jenis indeks tanjak memiliki indeks bias inti yang tidak seragam. Indeks bias tertinggi terdapat pada pusat inti dan berangsur-angsur turun sampai ke batas inti-selubung [12].

II.2 Karakteristik Serat Optik

II.2.1 Pemantulan Internal Total

Prinsip kerja serat optik menggunakan prinsip pemantulan sempurna (*Total Internal Reflection*). Ketika cahaya datang dari medium dengan indeks bias tinggi (n_1) ke medium dengan indeks bias yang lebih rendah (n_2), maka sinar ditransmisikan dan muncul sudut ϕ_2 yang lebih besar dari sudut datang ϕ_1. Jika sudut datang ϕ_1 lebih besar/ditingkatkan, maka akan datang suatu titik di mana ϕ_2 adalah 90º; pada saat ini, nilai sudut datang dikenal sebagai sudut kritis, ϕ_c. Jika sudut datang lebih besar dari ϕ_c, tidak ada pembiasan cahaya dan semua sinar akan mengalami pemantulan total internal menuju bahan dengan indeks bias n_1. Jadi, pemantulan internal total terjadi jika cahaya merambat pada batas medium dengan sudut datang yang lebih besar dari sudut kritis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 [13].



(a) (b) (c)

Gambar 2.3 Representasi dari (a) Sudut datang lebih kecil dari sudut kritis, (b) Sudut kritis dan (c) Pemantulan internal antara dua material berbeda [13].

Ketika sudut datang cahaya (di dalam bahan pertama) menuju bidang perbatasan terus diperbesar, akan tercapai suatu titik dimana sudut bias menjadi bernilai 90º dan cahaya akan merambat sejajar dengan bidang perbatasan di dalam bahan kedua. Sudut datang yang menjadikan hal tersebut dinamakan sebagai sudut kritis. Hukum Snellius menyatakan bahwa [14] :

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \tag{2.1}$$

$$\frac{sin\ \theta_1}{sin\ \theta_2} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right) \tag{2.2}$$

Agar terjadi pemantulan internal total maka sudut pembiasan harus lebih besar dari 90°. Maka:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin 90° \tag{2.3}$$

$$\sin\theta_1 = \frac{n_2}{n_1} \tag{2.4}$$

Hal ini merupakan batas dari pembiasan dan sudut pantulan yang disebut dengan sudut kritis θ_C. Nilai dari sudut kritis dapat dituliskan [14]:

$$\sin\theta_C = \left(\frac{n_2}{n_1}\right) \tag{2.5}$$

$$\theta_C = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \tag{2.6}$$

Dengan :

n_1 = indeks bias inti serat optik

n_2 = indeks bias selubung serat optik

θ_1 = sudut datang (°)

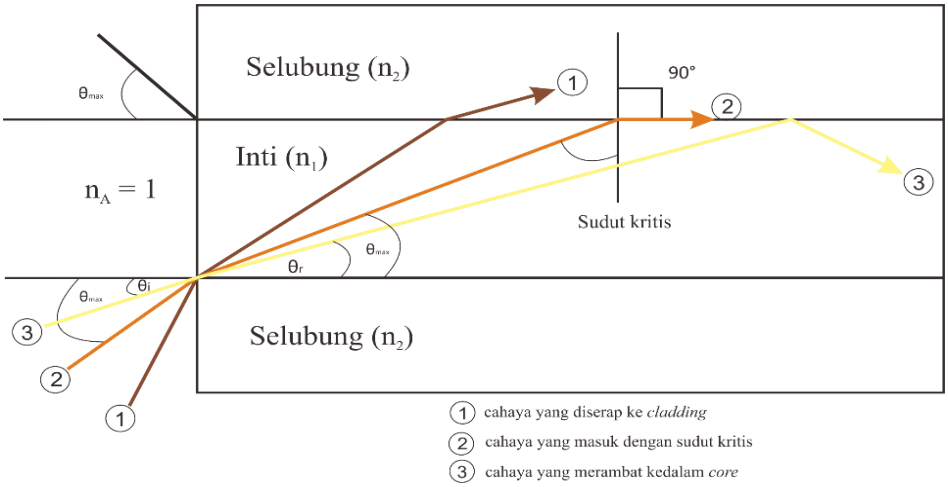
θ_2 = sudut pembiasan (°)

θ_C = sudut kritis (°)

II.2.2 Celah Numerik

Nilai *numerical aperture* adalah suatu ukuran kemampuan serat optik untuk menangkap sinar yang berasal dari sumber optik. Semakin besar nilai *NA* menandai semakin tinggi efisiensi dari suatu sumber optik dalam mengkopling sinar-sinar ke dalam serat optik [16].

Pada Gambar 2.4 menunjukkan adanya sudut θ_{maks} yang merupakan sudut maksimum penerima agar cahaya dapat masuk ke dalam serat optik. Cahaya tidak dapat masuk apabila melebihi wilayah θ_{maks} karena cahaya yang masuk dengan sudut datang lebih besar daripada θ_{maks} akan menyebabkan cahaya yang masuk tidak dapat berlanjut keluar. Sedangkan semua cahaya yang berada dalam wilayah θ_{maks} dapat masuk dalam serat optik dengan batas kritis sejauh θ_{maks} [14].



Gambar 2.4 Sudut dimana sinar dapat diterima oleh serat optik [14].

Besarnya nilai *numerical aperture* (*NA*) ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\text{NA} = n \sin \theta_{max} = \sqrt{{n_1}^2 - {n_2}^2} \tag{2.7}$$

Dengan n adalah indeks bias udara = 1, n_1 adalah indeks bias inti, n_2 adalah indeks bias selubung [16].

II.2.3 Rugi-Rugi Daya pada Serat Optik

Adapun rugi daya yang terjadi pada serat optik disebabkan oleh beberapa faktor yaitu [12,5]:

1. *Macrobending* (lekukan besar) adalah pembengkokan serat optik dengan radius yang panjang bila dibandingkan dengan radius serat optik.
2. *Microbending* (lekukan kecil) pembengkokan-pembengkokan kecil yang terjadi pada serat optik akibat ketidakseragaman dalam pembentukan serat atau akibat adanya tekanan yang tidak seragam pada saat pengkabelan.

3. *Splicing Losses* adalah rugi daya yang timbul karena adanya gap antara dua serat optik yang disambung. Hal ini terjadi karena dimensi serat optik yang demikian kecil sehingga penyambungan menjadi tidak tepat dan sinar dari bahan serat optik ke serat optik lainnya tidak dapat dirambatkan seluruhnya.
4. *Coupling Losses* adalah rugi daya yang timbul karena pada saat serat optik dikopel/disambungkan dengan sumber cahaya atau photo detektor.

II. 3 Sensor Serat Optik

Sensor serat optik dapat diklasifikasikan dalam tiga kategori yaitu lokasi penginderaan, prinsip operasi dan aplikasi. Berdasarkan lokasi penginderaan sensor serat optik dapat dibagi menjadi dua yaitu instrinsik dan ekstrinsik. Serat optik sebagai sensor intrinsik terjadi ketika satu atau lebih sifat fisik dari yang dialami serat berubah. Gangguan yang terjadi menyebabkan perubahan karakteristik cahaya yang telah terjadi di dalam serat optik. Sedangkan sensor ekstrinsik biasa digunakan untuk membawa cahaya menuju alat optik eksternal dimana pengukuran diambil. Dalam hal ini, serat optik bekerja jika mendapatkan cahaya pada daerah pengukuran. Sensor serat optik dapat menjadi ekstrinsik bila modulasi cahaya dilakukan oleh tranduser eksternal atau dapat menjadi sensor intrinsik bila modulasi terjadi dalam serat optik [17].

Berdasarkan prinsip operasi atau modulasi dan proses demodulasi, sensor serat optik dapat diklasifikasikan menjadi intensitas, modulasi fase, dan modulasi panjang gelombang. Semua parameter tersebut dapat menjadi subjek yang menyebabkan perubahan dikarenakan gangguan eksternal. Sehingga, dengan mendeteksi parameter tersebut dan perubahan yang terjadi, maka gangguan dari luar dapat diukur [17].

Sensor serat optik modulasi intensitas menggunakan perubahan intensitas atau *attenuasi* (pelemahan) sebagai dasar utama kerja sensor serat optik. Cara untuk melakukan *attenuasi* yaitu dengan menggunakan *bending* pada serat optik sehingga terjadi rugi daya di dalam serat optik yang menyebabkan *attenuasi* pada sinyal keluaran di ujung serat optik. Beberapa konsep sensor berbasis modulasi intensitas adalah *macrobending*, transmisi, dan refleksi. Sensor modulasi intensitas lebih

sederhana dan tidak banyak memerlukan *interface*. Salah satu yang dikembangkan dari sensor serat optik adalah sensor *macrobending*. Sistem *macrobending* memanfaatkan daya yang hilang dalam serat optik yang dibengkokkan sebagai sinyal dimana besarnya dipengaruhi oleh jari-jari pembengkokan. Ketika *loop* menyentuh permukaan uji maka akan terjadi kecacatan serat optik dan merubah diameter pembengkokan [17].

Karakteristik sensor dapat dianalisis berdasarkan beberapa parameter seperti nilai range, sensitivitas dan resolusi. Range merupakan selisih keluaran loss maksimum dan loss minimum. Adapun persamaan dari range yaitu sebagai berikut[18]:

$$\Delta L = L_{max} - L_{min} \tag{2.8}$$

Dengan ΔL merupakan range, L_{maks} merupakan rugi daya maksimum dan L_{min} merupakan rugi daya minimum.

Sensitivitas sensor dapat diketahui dengan membagi range terhadap ketinggian air. Persamaan sensitivitas dapat dinyatakaan sebagai berikut:

$$S = \frac{\Delta L}{h_{max} - h_{min}} \tag{2.9}$$

Dengan ΔL merupakan range, h_{maks} merupakan ketinggian maksimum dan h_{min} merupakan ketinggian minimum.

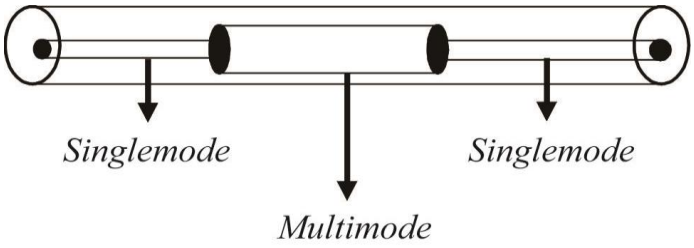
Resolusi sensor dapat diketahui dengan membagi nilai skala terkecil alat dengan nilai sensitivitas sensor. Dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$R = \frac{N}{S} \tag{2.10}$$

Dimana N adalah nilai skala terkecil dari sensor dan S adalah nilai sensitivitas dari sensor.

II.4 Sensor Serat Optik Berstruktur SMS

Serat optik berstruktur moda tunggal (*singlemode*) moda jamak (*multimode*) moda tunggal (*singlemode)* (SMS) adalah serat optik yang terdiri dari dua serat optik moda tunggal yang disambung secara aksial dikedua ujung serat optik *multimode*. Berikut adalah gambar struktur serat optik berstruktur SMS [18].



Gambar 2.5 Skema Serat Optik Berstruktur SMS [15].

Berdasarkan gambar 2.5 sambungan antar serat optik perlu tersambung secara aksial, agar menghidari adanya eksitasi moda dengan orde lebih tinggi pada daerah sambungan (*lead-in)* antara serat optik *singlemode* dan serat optik *multimode*. Karena ukuran diameter *core* serat optik *multimode* jauh lebih besar daripada serat optik *singlemode*, maka hanya moda-moda *fundamental* dengan orde lebih rendah yang dapat dibangkitkan dan dipandu di dalam serat optik [18].

II. 5 Keunggulan Serat Optik

Serat optik memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan media transmisi yang lainnya, diantaranya yaitu mempunyai lebar bidang (*bandwidth*) yang sangat lebar, ukuran serat yang sangat kecil, sinyal cahayanya tidak terpengaruh oleh medan elektrik dan medan magnetik dan tidak akan terjadi percikan api karena di dalam serat tidak terdapat tenaga listrik. Di samping itu, serat juga tahan terhadap gas beracun, bahan kimia dan air sehingga mampu ditanam dalam tanah serta redaman yang sangat rendah yang mampu digunakan untuk komunikasi jarak jauh tanpa penguat dan pengulang (*repeater*) [19].

II.6 *Optical Time Domain Reflectometer* (OTDR)

OTDR merupakan suatu alat ukur kabel serat optik yang mampu mendeteksi tempat terjadinya redaman pada saluran serat optik saat terjadi transmisi data, seperti pada Gambar 2.6. Pada instalasi kabel serat optik, OTDR dapat digunakan untuk meyakinkan bahwa sambungan maupun konektor mempunyai redaman yang sesuai dengan yang diisyaratkan dalam spesifikasi, memeriksa kondisi kabel serat optik setelah dilaksanakan instalasi sehingga dapat diketahui adanya keretakan atau pelengkungan serat optik yang jari-jari kelengkungannya di luar persyaratan, dan

untuk meyakinkan bahwa redaman serat optik dari pemancar ke penerima tidak melebihi yang disyaratkan dalam spesifikasi perencanaan atau ketentuan yang berlaku [19].

Gambar 2.6 OTDR Yokogawa AQ7280 [15]

Prinsip kerja OTDR memanfaatkan efek dari *Rayleigh scattering* dan *Fresnel reflection* untuk mengukur karateristik serat optik. *Rayleigh scattering* terjadi ketika cahaya yang menjalar di dalam serat optik menumbuk partikel mikroskopik *(dopants*). *Rayleigh scattering* terjadi di sepanjang serat optik dikarenakan persebaran *dopants* yang tidak menentu di sepanjang serat optik. Sementara *Fresnel reflection* terjadi akibat cahaya melewati dua medium yang memiliki perbedaan densitas, contohnya saat cahaya menjalar di dalam serat optik dan udara. *Fresnel reflection* terjadi pada ujung serat optik, titik sambungan atau *spice point*, dan kerusakan serat optik *atau fiber break*. OTDR bekerja secara *indirect* dalam mengukur redaman, karena dalam satu perangkat OTDR terdapat sumber cahaya berupa *high power laser* dan detektor dengan sensitivitas tinggi. Gelombang cahaya yang telah dibangkitkan akan menjalar di sepanjang serat optik dan diukur lama waktu penjalarannya (*time domain*) dan besarnya daya cahaya pantul (back *scattered light* dan *reflected light*) akan dideteksi oleh detektor OTDR yang akan dihasilkan data pengukuran berupa grafik panjang serat optik (m) terhadap daya cahaya pantul (dB) [18].

Alat ukur OTDR mempunyai beberapa fitur dalam melakukan pengukuran yaitu [21] :

1. *Fault Localization*

   OTDR dapat menunjukkan lokasi kerusakan dalam suatu serat optik. Dengan mengevaluasi grafik, dapat diketahui suatu serat optik dalam kondisi

baik atau tidak. Pada tampilan OTDR akan terlihat pada jarak dimana terjadi suatu kerusakan pada kabel serat optik.

2. Evaluasi *Splicing* Kabel Serat Optik

   Pada saat melakukan Splicing (Penyambungan Kabel FO) , pasti akan menimbulkan suatu bentuk rugi-rugi terhadap serat optik itu sendiri. Adapun setiap perusahaan mempunyai standar tersendiri berapa toleransi maksimal dari rugi-rugi tersebut. Untuk mengevaluasi sambungan Kabel itu, digunakan alat OTDR.

3. Menghitung Faktor Redaman Kabel Serat Optik

   Faktor redaman serat optik (dB/km) merupakan salah satu parameter yang menjadi penentu kualitas suatu serat optik. OTDR dapat mengukur redaman sebelum dan sesudah instalasi sehingga dapat dicermati apakah ada kerusakan seperti adanya pembengkokan/bending.

Adapun parameter yang diukur oleh OTDR yaitu, jarak dalam hal ini titik lokasi dalam suatu sambungan (ujung sambungan atau patahan), redaman untuk masing-masing *splice* atau total redaman dari ujung ke ujung dalam suatu sambungan, pelemahan dari kabel serat optik dalam suatu sambungan dan besar refleksi (return loss) kabel serat optik dari suatu sambungan [20].

II. 7 Ketinggian Air

Pemantauan ketinggian air merupakan salah satu hal yang sangat perlu dilakukan. Misalnya pemantauan ketinggian air di sungai melebihi batas normal maka akan menyebabkan banjir. Banjir merupakan peristiwa yang terjadi ketika aliran air yang berlebihan merendam daratan. Banjir di akibatkan oleh volume air disuatu badan air seperti sungai atau danau yang meluap atau menjebol bendungan sehingga air keluar dari batasan alaminya [21].

Bendungan atau dam adalah konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air menjadi waduk, danau, atau tempat rekreasi. Seringkali bendungan juga digunakan untuk mengalirkan air ke sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Air. Bendung adalah pembatas yang dibangun melintasi sungai yang dibangun untuk mengubah karakteristik aliran sungai. Dalam banyak kasus, bendung merupakan

sebuah kontruksi yang jauh lebih kecil dari bendungan yang menyebabkan air menggenang membentuk kolam tetapi mampu melewati bagian atas bendung. Bendung mengizinkan air meluap melewati bagian atasnya sehingga aliran air tetap ada dan dalam debit yang sama bahkan sebelum sungai dibendung. Bendung bermanfaat untuk mencegah banjir, mengukur debit sungai, dan memperlambat aliran sungai sehingga menjadikan sungai lebih mudah dilalui [22].