



SISTEM PEMANTAUAN ANGULAR VELOCITY BERBASIS TRANSMISI FIBER OPTIK 150 KM DENGAN TOPOLOGI RING

Hardi Kurnianto

24hardikurnianto@gmail.com
Teknik Elektronika, Politeknik PGRI Banten

Abstrak

Penelitian ini merancang sistem pemantauan *angular velocity* berbasis sensor *gyroscope* yang terintegrasi dengan media transmisi kabel fiber optik sepanjang 150 km menggunakan topologi *ring*. Sistem ini bertujuan untuk menyediakan solusi pemantauan data orientasi dan pergerakan sudut secara *real-time* dengan tingkat keandalan yang tinggi, khususnya di wilayah dengan risiko gangguan elektromagnetik. Data hasil pengukuran sensor dikirimkan melalui jaringan kabel fiber optik menggunakan perangkat *industrial Ethernet switch* dan modul SFP, kemudian divisualisasikan dalam *dashboard* berbasis C#. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu mentransmisikan data tiga sumbu (X, Y, dan Z) secara stabil tanpa degradasi sinyal yang signifikan, serta memberikan notifikasi anomali secara langsung. Sistem ini berpotensi diterapkan pada aplikasi pemantauan struktur bawah laut dan sistem peringatan dini tsunami.

Kata kunci: Fiber Optik, Gyroscope, Dashboard, Monitoring

Abstract

This study designs an angular velocity monitoring system based on a gyroscope sensor integrated with a 150 km fiber optic cable transmission medium using a ring topology. This system aims to provide a real-time orientation and angular movement data monitoring solution with a high level of reliability, especially in areas with a risk of electromagnetic interference. Sensor measurement data is sent via a fiber optic cable network using an industrial Ethernet switch and SFP module, then visualized in a C#-based dashboard. The implementation results show that the system is able to transmit three-axis data (X, Y, and Z) stably without significant signal degradation, and provide direct anomaly notification. This system has the potential to be applied to underwater structure monitoring applications and tsunami early warning systems.

Keywords: Fiber Optics, Gyroscope, Dashboard, Monitoring

1. Pendahuluan

Era transformasi digital yang dimulai pada berbagai sektoral saat ini, memiliki kebutuhan yang mendalam terkait sistem pemantauan data yang akurat dan handal. Kebutuhan tersebut terus meningkat seiring dengan peningkatan proses transformasi digital di berbagai sektor [1]. Salah satu parameter yang menjadi penting untuk dipantau secara *real-time* adalah *angular velocity*. Parameter *angular velocity* adalah merupakan ukuran besaran kecepatan suatu benda berotasi terhadap suatu sumbu yang menunjukkan besar sudut yang ditempuh oleh suatu benda dalam satuan waktu [2]. Salah satu sensor yang memiliki peran penting dalam mendeteksi atau mengukur *angular velocity* adalah sensor *gyroscope*. Sensor *gyroscope* terkini, terutama yang digunakan pada perangkat elektronik, biasanya berupa *Micro Electro Mechanical Systems* yaitu sensor mikro yang bisa mendeteksi gerakan rotasi berdasarkan efek getaran [3]. Namun, dalam implementasi sistem sensor di lapangan, khususnya pada wilayah yang luas, terpencil, atau memiliki potensi risiko tinggi terhadap interferensi elektromagnetik, proses transmisi data menjadi tantangan yang signifikan.

Media komunikasi konvensional seperti kabel tembaga cenderung rentan terhadap degradasi sinyal akibat induksi elektromagnetik, efek kapasitansi, serta redaman sinyal yang meningkat seiring bertambahnya jarak. Sementara itu, sistem komunikasi nirkabel yang memanfaatkan frekuensi radio juga memiliki keterbatasan, antara lain potensi latensi tinggi, fluktuasi kualitas koneksi akibat gangguan cuaca, kondisi topografi, serta adanya interferensi spektrum dari perangkat lain di sekitar lokasi [4]. Kondisi

tersebut dapat menyebabkan ketidakstabilan koneksi dan menurunkan keandalan sistem pemantauan secara keseluruhan. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi transmisi data yang tidak hanya memiliki kecepatan tinggi, tetapi juga daya tahan terhadap gangguan elektromagnetik, stabil dalam kondisi lingkungan ekstrem, serta mampu menjangkau wilayah yang luas tanpa penurunan performa signifikan. Salah satu alternatif yang mulai banyak diterapkan dalam kondisi tersebut adalah penggunaan media serat optik yang terbukti lebih tahan terhadap interferensi elektromagnetik, memiliki kapasitas *bandwidth* besar, serta dapat menjangkau jarak puluhan hingga ratusan kilometer tanpa penguatan sinyal yang intensif.

Salah satu solusi yang potensial untuk mengatasi permasalahan transmisi data di lingkungan dengan interferensi tinggi dan cakupan wilayah luas adalah pemanfaatan teknologi transmisi berbasis kabel serat optik. Teknologi ini menawarkan sejumlah keunggulan signifikan dibandingkan media transmisi konvensional, antara lain kapasitas *bandwidth* yang sangat besar, kecepatan transmisi data tinggi, serta daya tahan terhadap gangguan elektromagnetik yang umumnya menjadi kendala utama pada sistem berbasis kabel tembaga maupun nirkabel [5]. Keunggulan tersebut menjadikan serat optik sangat ideal untuk mendukung pengiriman data sensor dalam jarak jauh tanpa penurunan sinyal yang berarti. Lebih jauh lagi, dengan mengintegrasikan sensor *gyroscope* ke dalam sistem transmisi berbasis serat optik, dimungkinkan untuk mengirimkan data orientasi, pergerakan sudut, serta perubahan posisi secara *real-time* dengan tingkat akurasi dan keandalan yang tinggi.

Data dari sensor *gyroscope* sangat penting dalam berbagai aplikasi, seperti sistem pemantauan struktur bawah laut, kendaraan otonom, serta sistem navigasi presisi. Kabel serat optik mampu menjaga integritas data ini selama transmisi, bahkan dalam kondisi lingkungan ekstrem atau medan elektromagnetik yang kuat, tanpa memerlukan konversi sinyal kompleks atau penguatan sinyal berulang seperti yang dibutuhkan oleh sistem berbasis kabel logam.

Penelitian yang dilakukan oleh Zhang dkk telah membuktikan efektivitas teknologi ini dalam aplikasi pemantauan industri dan geofisika, menunjukkan performa transmisi yang stabil serta latensi yang rendah dalam sistem pengukuran berbasis sensor *distributed fiber optic* [6]. Penelitian lain dilakukan oleh Liu dkk menyajikan kemajuan terkini dalam pengembangan prototipe sensor *gyroscope* serat optik resonansi yang dikemas dengan laser semikonduktor tunggal, yang mencapai stabilitas bias $0,14^\circ/\text{h}$ dan sudut berjalan acak $0,05^\circ/\text{vh}$ [7]. Penelitian lain juga yang dilakukan oleh Fatkhurrohman dkk [8] membuat sistem yang dapat mendeteksi perubahan dan anomali permukaan laut, yang memicu sistem peringatan tsunami dengan lampu LED merah, pemutar MP3, dan pengeras suara. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan sistem peringatan dini tsunami yang andal dan efisien, serta meningkatkan upaya mitigasi bencana di Indonesia.

Topologi ring merupakan salah satu jenis konfigurasi jaringan di mana setiap perangkat terhubung ke dua perangkat lainnya, membentuk jalur sirkular tertutup. Kelebihan utama dari topologi ini adalah kemampuan dalam mengatur lalu lintas data secara teratur karena data mengalir dalam satu arah atau dua arah tergantung jenis ring yang digunakan, sehingga risiko terjadinya *collision* atau tabrakan data dapat diminimalisir. Selain itu, proses instalasi dan pengaturan jalur data cukup mudah diprediksi karena pola pengiriman data sudah terstruktur [9]. Namun, dibandingkan topologi *bus* atau *star*, topologi ring memiliki kelemahan signifikan yaitu ketergantungan terhadap satu titik koneksi, jika satu *node* atau sambungan mengalami gangguan, seluruh jaringan bisa terganggu kecuali jika menggunakan dual ring atau teknologi token ring modern. Dari segi biaya, topologi ring cenderung lebih mahal daripada topologi *bus* karena memerlukan lebih banyak kabel dan perangkat penghubung [10]. Penelitian yang dilakukan oleh Yang dkk [11] menyebutkan bahwa perbedaan waktu pengiriman data memiliki nilai dengan rata-rata kurang dari 9,4 ps dan stabilitas waktu dalam hal penyimpangan waktu dapat lebih baik dari 15,17 ps@1s, sedangkan tingkat kesalahan bit transmisi data komunikasi lebih baik dari $1,37 \times 10^{-14}$. Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Mirza dkk [12] menyimpulkan bahwa penerapan topologi ring lebih cocok diterapkan pada jaringan dengan jumlah perangkat terbatas dan kebutuhan lalu lintas data yang stabil, sementara untuk skala besar atau kebutuhan fleksibilitas tinggi, topologi *star* dan *mesh* cenderung lebih direkomendasikan.

Untuk mendukung proses analisis dan pengawasan secara langsung terhadap data yang dikirimkan dari sensor, diperlukan pula sebuah sistem visualisasi data yang efektif dan responsif. Salah satu metode yang banyak digunakan saat ini adalah pemanfaatan *dashboard* berbasis web atau aplikasi desktop, yang dirancang untuk menampilkan informasi secara *real-time*, interaktif, dan mudah diakses oleh berbagai tingkatan pengguna, baik teknisi di lapangan maupun manajemen di pusat kendali. *Dashboard* tersebut memungkinkan data hasil akuisisi dari sensor *gyroscope* yang meliputi data orientasi, kecepatan sudut, dan posisi gerakan ditampilkan dalam bentuk grafik dinamis, peta orientasi 3D, hingga notifikasi peringatan kondisi kritis secara otomatis. Sehingga dengan adanya visualisasi data yang informatif ini, proses pemantauan dapat dilakukan dengan lebih cepat dan akurat, kemudian pengambilan keputusan terhadap kondisi abnormal atau potensi bahaya dapat segera dilakukan tanpa harus menunggu laporan manual. Selain itu, *dashboard* juga dapat dikustomisasi untuk menyesuaikan kebutuhan masing-masing pengguna atau jenis sistem pemantauan yang diterapkan, mulai dari skema warna, jenis grafik, hingga parameter ambang batas peringatan. Penelitian yang dilakukan oleh Alias dkk menunjukkan bahwa implementasi *dashboard* berbasis *Internet of Things* dan sensor *real-time* mampu meningkatkan efisiensi monitoring hingga 40%, serta mempercepat waktu respons terhadap kondisi darurat [13]. Penelitian lain yang dilakukan oleh Vidya dkk [14] bahwa sistem mampu mengoptimalkan akurasi sambil membuat proses komputasi dan pelacakan data, khususnya yang diterapkan pada perangkat IoT ringan yang hemat biaya, lebih terukur.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sebuah sistem pemantauan data sensor *gyroscope* yang mampu mentransmisikan data secara andal melalui media kabel fiber optik untuk jarak jauh, sekaligus menyajikan informasi hasil akuisisi secara visual dalam bentuk *dashboard real-time* yang informatif dan interaktif. Sistem ini dirancang untuk mengatasi kendala transmisi data pada wilayah dengan risiko interferensi elektromagnetik tinggi, serta lingkungan yang membutuhkan monitoring parameter orientasi dan pergerakan secara presisi dan terus menerus. Melalui integrasi teknologi kabel fiber optik yang memiliki keunggulan berupa *bandwidth* besar, kecepatan transmisi tinggi, dan ketahanan terhadap gangguan elektromagnetik, data dari sensor *gyroscope* dapat dikirimkan secara stabil tanpa degradasi sinyal dalam jarak jauh.

Dalam implementasi jaringan komunikasi datanya, penelitian ini memilih menggunakan topologi ring karena pola sirkular tertutup yang ditawarkan mampu memastikan data dapat mengalir secara bergiliran tanpa risiko *collision*, sekaligus menyediakan jalur cadangan dengan memanfaatkan konsep dual ring jika diperlukan. Topologi ini dinilai efektif untuk sistem monitoring berkesinambungan yang membutuhkan pengiriman data secara periodik dan stabil antar node sensor dalam jarak jauh, serta memiliki keunggulan dalam efisiensi pemakaian kabel dibandingkan topologi mesh, namun tetap lebih andal dibanding topologi bus dalam hal ketahanan terhadap gangguan jaringan. Selanjutnya, data yang diterima dari seluruh titik sensor diproses dan divisualisasikan melalui *dashboard* berbasis aplikasi desktop, yang menampilkan grafik dinamis, peta orientasi, hingga notifikasi otomatis ketika nilai parameter mencapai batas ambang yang telah ditentukan. Sistem ini diharapkan mampu menjadi solusi pemantauan yang efisien, handal, dan fleksibel untuk berbagai kebutuhan aplikasi di dunia nyata, seperti pemantauan struktur bawah laut, sistem navigasi kendaraan otonom, monitoring alat berat industri, hingga sistem *early warning* bencana.

2. Metode

2.1. Sensor DF Robot Serial 6 Axis Accelerometer

DFRobot Serial 6 Axis Accelerometer adalah modul sensor percepatan berbasis komunikasi serial yang dirancang untuk mendeteksi pergerakan dan orientasi objek secara presisi. Sensor ini menggabungkan 3 sumbu *accelerometer* dan 3 sumbu *gyroscope* dalam satu modul, sehingga mampu membaca percepatan linier serta kecepatan sudut pada tiga arah berbeda secara simultan. Modul ini mendukung antarmuka UART, sehingga mudah diintegrasikan dengan berbagai jenis mikrokontroler seperti Arduino, Raspberry Pi, maupun perangkat *embedded system* lainnya tanpa memerlukan konfigurasi yang kompleks. Pada Gambar 1 menunjukkan bentuk fisik dari sensor DF Robot Serial 6 Axis Accelerometer.



Gambar 1. Sensor DF Robot Serial 6 Axis Accelerometer.

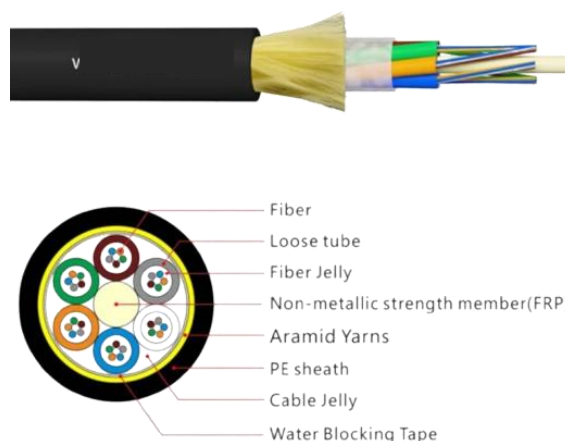
Selain itu, sensor ini juga dilengkapi dengan fitur kalibrasi otomatis serta pengolahan data internal, yang membantu menghasilkan pembacaan data yang stabil dan akurat. Kemampuan mendeteksi gerakan dalam 6 derajat kebebasan (6 DoF), sensor ini ideal digunakan pada aplikasi seperti kendali robotika, sistem navigasi, alat pemantauan gerak, hingga proyek IoT yang membutuhkan deteksi posisi dan pergerakan *real-time*. Fitur utama yang dimiliki adalah mendeteksi percepatan dan rotasi pada 3 sumbu (X, Y, Z) dan komunikasi data melalui antarmuka Serial UART, rentang pengukuran akselerasi dan *gyroscope* dapat disesuaikan, konsumsi daya rendah, cocok untuk perangkat berbasis baterai, dan mudah diintegrasikan dengan berbagai perangkat mikrokontroler [15].

Kelebihan sensor ini adalah kemampuan membaca enam sumbu gerakan secara bersamaan dalam satu modul, yang membuatnya lebih praktis dan efisien dibandingkan menggunakan sensor terpisah. Selain itu, komunikasi menggunakan UART tergolong sederhana dan mudah diimplementasikan, bahkan oleh pemula sekalipun. Desainnya yang ringkas dan ringan juga menjadi nilai tambah, karena dapat dengan mudah ditempatkan pada berbagai media atau perangkat bergerak. Sensor ini juga responsif dalam memberikan data secara *real-time*, serta didukung oleh *library* dan dokumentasi dari DF Robot yang mempermudah proses pengembangan aplikasi. Namun demikian, sensor ini memiliki beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan. Akurasi pembacaan datanya masih terbatas jika dibandingkan dengan sensor-sensor kelas profesional, sehingga kurang cocok untuk aplikasi yang membutuhkan tingkat presisi sangat tinggi seperti navigasi inersial atau pengukuran getaran mikro. Selain itu, sensor ini tidak dilengkapi dengan *magnetometer*, sehingga tidak dapat mendeteksi arah utara magnetik dan tidak mampu menentukan *absolute orientation* tanpa dukungan sensor tambahan. Keterbatasan *data rate* juga menjadi kekurangan, terutama bila digunakan dalam sistem yang memerlukan pembacaan data berkecepatan tinggi. Penggunaan di lingkungan *outdoor* dengan guncangan ekstrem atau gangguan elektromagnetik juga dapat memengaruhi stabilitas datanya. Ditambah lagi, sensor ini hanya mendukung komunikasi UART, sehingga kurang fleksibel bila ingin dihubungkan dengan sistem berbasis I2C atau SPI[16].

2.2. Kabel Fiber Optik

Kabel fiber optik merupakan media transmisi yang menggunakan serat kaca atau plastik halus untuk mentransmisikan sinyal cahaya dari satu titik ke titik lainnya. Teknologi ini memanfaatkan prinsip pemantulan total internal, di mana cahaya dipantulkan secara berulang di sepanjang inti serat sehingga dapat merambat dengan tingkat redaman yang sangat rendah, bahkan dalam jarak yang cukup jauh. Struktur dasar kabel fiber optik terdiri dari beberapa lapisan, yaitu *core* (inti) sebagai media utama penghantar cahaya, *cladding* yang berfungsi memantulkan cahaya kembali ke inti, serta *coating* atau lapisan pelindung yang memberikan ketahanan mekanis dan perlindungan terhadap gangguan lingkungan. Beberapa tipe

kabel fiber optik juga dilengkapi *outer jacket* dan *strength member* untuk meningkatkan ketahanan fisik terhadap tekanan atau tarikan[17]. Gambar 2 menunjukkan bentuk fisik kabel fiber optik.



Gambar 2. Kabel Fiber Optik Tipe ADSS.

Dalam pengaplikasiannya, kabel fiber optik terbagi menjadi dua jenis utama, yakni *single-mode* dan *multi-mode*. Kabel *single-mode* digunakan untuk transmisi jarak jauh dengan kapasitas data tinggi menggunakan satu jalur cahaya sempit, sedangkan *multi-mode* umumnya diaplikasikan pada sistem jarak menengah hingga pendek dengan diameter inti lebih besar dan mampu mengalirkan beberapa jalur cahaya sekaligus. Karena memiliki keunggulan dalam hal kecepatan transmisi data, minim interferensi elektromagnetik, serta jangkauan yang luas, kabel fiber optik banyak digunakan pada jaringan telekomunikasi, sistem transmisi data internet, serta infrastruktur jaringan industri modern[18].

2.3. Topologi Ring

Topologi ring adalah salah satu bentuk pengaturan jaringan di mana setiap perangkat terhubung secara berurutan membentuk jalur tertutup menyerupai cincin. Pada konfigurasi ini, data dikirimkan dari satu perangkat ke perangkat berikutnya melalui jalur yang telah ditentukan, hingga mencapai tujuan akhir. Proses pengiriman data dalam topologi ring dapat berjalan searah maupun dua arah, tergantung pada jenis implementasi yang digunakan. Setiap perangkat dalam jaringan berperan sebagai *repeater* yang menerima sinyal data, kemudian meneruskannya ke perangkat berikutnya. Hal ini memastikan bahwa sinyal tetap kuat dan stabil selama proses transmisi, khususnya dalam jaringan yang memiliki bentangan jarak cukup jauh.

Keunggulan utama dari topologi ring terletak pada kemampuan pengelolaan data yang terstruktur dan minim terjadinya tabrakan data, karena alur pengiriman sudah diatur secara sistematis. Selain itu, konfigurasi ini relatif mudah diidentifikasi titik gangguannya, karena apabila terjadi kerusakan pada salah satu sambungan, jaringan dapat langsung menunjukkan lokasi masalah [19]. Namun demikian, topologi ini memiliki kekurangan berupa ketergantungan terhadap setiap titik sambungan. Gangguan pada salah satu *node* atau media transmisi dapat memengaruhi kinerja seluruh jaringan, kecuali bila menggunakan mekanisme dual ring atau ring redundansi yang memungkinkan jalur cadangan saat jalur utama terganggu. Karena karakteristiknya tersebut, topologi ring banyak diterapkan pada sistem jaringan yang memerlukan pengaturan lalu lintas data terpusat dan jalur transmisi yang konsisten, seperti pada jaringan kabel fiber optik *backbone*, sistem *Metropolitan Area Network* (MAN), dan jaringan telekomunikasi berbasis optik.

2.4. Small Form-factor Pluggable (SFP)

Small Form-factor Pluggable (SFP) adalah modul *transceiver* optik yang dirancang sebagai antarmuka konversi antara perangkat jaringan dengan media transmisi berbasis kabel serat optik atau kabel tembaga. Modul ini bersifat *hot-pluggable*, artinya dapat dipasang dan dilepas tanpa perlu mematikan perangkat utama, sehingga memberikan fleksibilitas tinggi dalam proses instalasi maupun pemeliharaan jaringan [20]. SFP umumnya digunakan pada perangkat jaringan seperti *switch*, *router*, *media converter*,

dan *Network Interface Card* (NIC) untuk mendukung koneksi antar perangkat dalam jaringan area lokal (LAN), metropolitan (MAN), maupun jarak jauh (WAN). Gambar 3 menunjukkan bentuk fisik dari SFP.

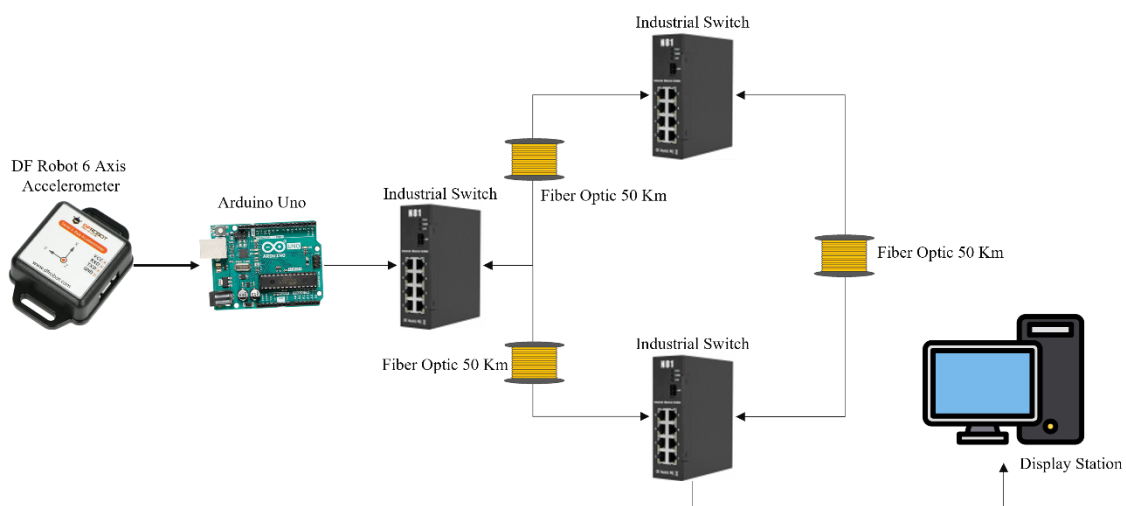


Gambar 3. Small Form-Factor Pluggable.

Modul ini mampu mentransmisikan data melalui media serat optik ataupun kabel tembaga dengan kecepatan yang bervariasi, mulai dari 100 Mbps hingga 10 Gbps, tergantung pada jenis modul yang digunakan. Terdapat beberapa tipe SFP berdasarkan jenis media transmisi dan jarak jangkauannya, di antaranya SFP *single-mode* untuk koneksi jarak jauh menggunakan kabel serat optik *single-mode*, serta SFP *multi-mode* untuk koneksi jarak menengah menggunakan serat optik *multi-mode*. Selain itu, tersedia pula SFP *copper* yang menggunakan kabel tembaga sebagai media penghantar data. Modul SFP memiliki keunggulan berupa ukuran yang ringkas, kemudahan integrasi, serta kemampuan modular yang memungkinkan pengguna menyesuaikan spesifikasi jaringan tanpa perlu mengganti seluruh perangkat keras [21]. Oleh karena itu, SFP menjadi salah satu komponen penting dalam pengembangan infrastruktur jaringan modern, khususnya pada sistem berbasis *fiber optic backbone* dan jaringan *data center*.

2.5. Perancangan Sistem

Pada penelitian ini melakukan pembuatan sistem seperti yang telah di rencanakan pada Gambar 4 berikut ini:



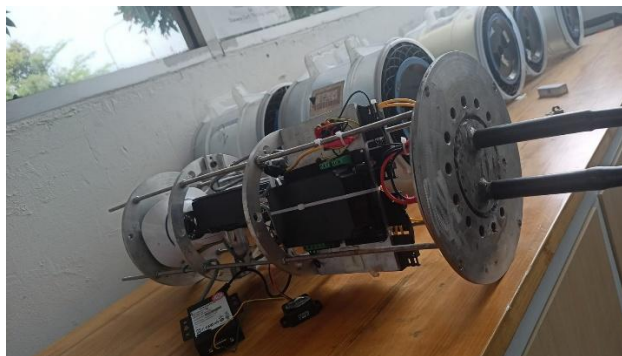
Gambar 4. Diagram Blok Sistem.

Pada Gambar 4 di atas memperlihatkan rancangan sistem pemantauan yang memanfaatkan sensor, mikrokontroler, serta perangkat jaringan dengan topologi ring. Sistem ini dirancang untuk mengakomodasi kebutuhan monitoring data secara *real-time* di lingkungan industri, dengan tingkat keandalan dan kontinuitas komunikasi data yang tinggi. Data yang diukur atau dideteksi oleh sensor dikirimkan ke mikrokontroler untuk kemudian diubah dalam format tertentu sehingga dapat dikirimkan ke *switch* yang nantinya terhubung ke jaringan dengan topologi ring. *Switch* tersebut merupakan bagian dari jaringan dengan topologi ring, di mana setiap perangkat saling terhubung membentuk jalur melingkar untuk memastikan keandalan dan kontinuitas alur data, sehingga jika terjadi gangguan pada salah satu titik, data masih dapat dialihkan melalui jalur alternatif. Kemudian dari *switch*, data akan dilanjutkan menuju *landing station*, yaitu fasilitas terminal penghubung utama yang berperan sebagai titik integrasi antara jaringan lokal dan sistem pusat.

Di *landing station* ini, data yang diterima akan dikumpulkan, disimpan, dan kemudian diolah lebih lanjut sebelum divisualisasikan dalam bentuk *dashboard* interaktif. *Dashboard* ini akan menyajikan data-data penting dalam tampilan grafis, sehingga memudahkan operator maupun pengguna sistem dalam memantau kondisi di lapangan secara *real-time* maupun historis, serta mengambil keputusan berbasis data yang akurat dan terkini. Sistem ini menggunakan topologi ring, yaitu konfigurasi jaringan di mana setiap *node* terhubung dengan dua *node* lainnya membentuk lintasan tertutup. Kelebihan topologi ini adalah kemampuan dalam mempertahankan kestabilan komunikasi meskipun terjadi gangguan pada salah satu jalur koneksi. Dengan fitur redundansi yang dimiliki switch N80, jalur komunikasi dapat dialihkan secara otomatis ke lintasan lain tanpa memutus aliran data secara keseluruhan. Rancangan sistem ini menggabungkan sensor akselerometer, mikrokontroler, dan jaringan Ethernet berbasis fiber optik dalam topologi ring yang andal. Dengan memanfaatkan Industrial Ethernet Switch N80 yang mendukung fitur PoE dan slot SFP, sistem ini mampu melakukan transmisi data monitoring secara efisien, aman, dan tetap operasional meskipun terjadi gangguan pada salah satu jalur komunikasi.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan perencanaan yang telah dilakukan kemudian dilakukan proses implementasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 berikut:



Gambar 5. Implementasi Perangkat Sensor Gyroscope.

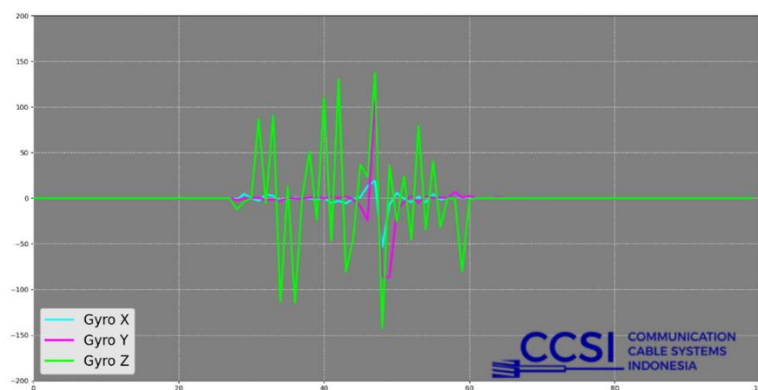
Gambar 5 memperlihatkan implementasi perangkat sensor *gyroscope* yang dipasang pada sistem mekanik berbasis rangka logam. Perangkat ini dirancang untuk mendeteksi perubahan orientasi serta kecepatan sudut pada sumbu tertentu. Sensor *gyroscope* terhubung ke unit pengendali berbasis mikrokontroler melalui koneksi kabel, yang ditata rapi menggunakan pengikat untuk menjaga kestabilan dan keamanan sambungan. Selain itu, sistem ini juga dilengkapi dengan komponen pendukung seperti *power supply* dan motor penggerak yang dipasang pada struktur utama. Desain *modular* pada perangkat ini memudahkan proses pemasangan, perawatan, dan pengujian di lingkungan laboratorium. Implementasi sensor ini bertujuan untuk mendukung sistem monitoring gerakan dan orientasi, yang nantinya dapat diaplikasikan pada berbagai kebutuhan penelitian atau sistem navigasi otomatis.



Gambar 6. Simulasi Topologi Ring.

Gambar 6 menunjukkan implementasi simulasi topologi ring pada sistem jaringan berbasis serat optik di lingkungan laboratorium. Seluruh perangkat ditempatkan di dalam sebuah rak kabinet jaringan berstandar industri, yang berfungsi untuk menjaga kerapian instalasi serta keamanan perangkat. Pada bagian atas rack, terdapat perangkat *fiber optic termination box* yang digunakan untuk pengelolaan sambungan kabel serat optik. Di bawahnya, terdapat beberapa perangkat aktif seperti *optical switch* dan media *converter* yang berfungsi untuk mengatur lalu lintas data antar *node*. Tiga buah drum kabel optik yang disusun secara vertikal berperan sebagai media transmisi utama, masing-masing mewakili jalur antar node dalam konfigurasi topologi ring.

Setiap drum kabel dihubungkan menggunakan *patch cord fiber optic* ke perangkat *switching* untuk membentuk lintasan data berbentuk lingkaran tertutup, yang menjadi ciri khas topologi ring. Pada bagian luar kabinet, terdapat monitor yang menampilkan antarmuka perangkat lunak monitoring dan simulasi berbasis grafis. Antarmuka ini berfungsi untuk memvisualisasikan parameter jaringan seperti *loss*, latensi, dan status konektivitas antar node dalam jaringan ring. Simulasi ini bertujuan untuk menguji keandalan sistem jaringan berbasis *ring topology*, khususnya dalam skenario redundansi, di mana apabila terjadi putus jalur di salah satu segmen, data tetap dapat dikirim melalui jalur alternatif. Selain itu, pengujian juga dilakukan untuk memverifikasi kestabilan performa transmisi data dan respon sistem terhadap kondisi gangguan jaringan. Masing-masing drum kabel berisi 50 km core fiber optik yang membentuk topologi ring, sehingga total jarak yang disimulasikan adalah 150 km.



Gambar 7. Dashboard pada Landing Station.

Gambar 7 memperlihatkan tampilan antarmuka *dashboard* sistem yang dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman C#. Fungsi utama dashboard ini adalah untuk memvisualisasikan data sensor *gyroscope* secara langsung, yang ditempatkan di sepanjang jalur kabel optik bawah laut. Pada bagian grafik *dashboard*, terdapat tiga parameter utama yang ditampilkan dalam bentuk kurva garis, masing-masing mewakili pergerakan pada sumbu X, Y, dan Z. Parameter Gyro X divisualisasikan dengan warna cyan, Gyro Y dengan warna magenta, dan Gyro Z menggunakan warna hijau. Untuk sebagai contoh implementasi data yang diperoleh dari sensor *gyroscope* ini dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan getaran atau pergeseran yang terjadi di dasar laut. Perubahan nilai pada grafik tersebut dapat dijadikan indikator awal terhadap adanya aktivitas bawah laut yang tidak biasa, seperti pergerakan tektonik, guncangan seismik, maupun gelombang besar yang berpotensi memicu tsunami. Dengan adanya fluktuasi data yang terpantau secara *real-time*, sistem ini memberikan peluang bagi operator untuk segera mengambil langkah preventif jika terdeteksi adanya gejala anomali. Di sisi kiri bawah grafik, tersedia keterangan warna atau legenda yang berfungsi membantu pengguna dalam membedakan masing-masing parameter yang sedang dipantau. Tampilan antarmuka dashboard ini dirancang dengan latar warna abu-abu gelap untuk memastikan tingkat keterbacaan dan kenyamanan operator saat melakukan pemantauan di ruang kendali.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan implementasi dan pengujian yang telah dilakukan terhadap sistem menggunakan sensor *gyroscope* yang terintegrasi pada jalur kabel optik bawah laut, dapat disimpulkan bahwa sistem ini mampu memantau pergerakan tiga sumbu (X, Y, Z) secara *real-time*. Visualisasi data melalui *dashboard* mampu memberikan kemudahan bagi operator untuk mengidentifikasi adanya anomali pergerakan di dasar laut. Data hasil pembacaan sensor menunjukkan respon yang cukup sensitif terhadap perubahan dinamika lingkungan bawah laut.

4.2 Saran

Penggunaan sensor dapat diperbaiki dengan sensor yang sudah terdapat sistem filter terhadap gangguan, kemudian pemilihan tipe fiber optik juga perlu dipertimbangkan agar memiliki redaman daya yang rendah. Selain itu juga pembacaan data secara *real time* ini memerlukan perangkat yang memadai sehingga tidak terdapat waktu penundaan terhadap data yang ditampilkan.

Daftar Pustaka

- [1] Administrator, "Making Indonesia 4.0, Langkah Indonesia Menuju Era Digital dan Otomatisasi." Diakses: 24 Mei 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://indonesia.go.id/kategori/editorial/8441/making-indonesia-4-0-langkah-indonesia-menuju-era-digital-dan-otomatisasi?lang=1>
- [2] J.-P. Condomines, "Introduction to Aerial Robotics," *Nonlinear Kalman Filtering for Multi-Sensor Navigation of Unmanned Aerial Vehicles*, hlm. 1–21, Jan 2018, doi: 10.1016/B978-1-78548-285-4.50001-1.
- [3] Z. Chen *dkk.*, "MEMS gyroscopes in different operation modes: A review," *Measurement*, vol. 249, hlm. 116996, Mei 2025, doi: 10.1016/J.MEASUREMENT.2025.116996.
- [4] G. Manganaro dan D. Leenaerts, "Wireless Infrastructure," *Advances in Analog and RF IC Design for Wireless Communication Systems*, hlm. 1–6, Jan 2013, doi: 10.1016/B978-0-12-398326-8.00001-7.
- [5] G. P. Agrawal, "Fiber-optic communications," *Applications of Nonlinear Fiber Optics*, hlm. 309–368, Jan 2021, doi: 10.1016/B978-0-12-817040-3.00013-4.
- [6] X. Zhang *dkk.*, "A distributed fiber optic sensor-based approach for crack asphalt structure under freeze-thaw cycling tests," *Constr Build Mater*, vol. 476, hlm. 141262, Mei 2025, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2025.141262.

-
- [7] L. Liu, W. Qian, S. Liu, J. Tu, H. Ma, dan Z. Jin, "Development of the Resonant Fiber Optic Gyroscope Prototype," dalam *2021 19th International Conference on Optical Communications and Networks (ICOON)*, IEEE, Agu 2021, hlm. 1–3. doi: 10.1109/ICOON53177.2021.9563715.
 - [8] Fatkhurrohman, A. Sofwan, A. Furqon, Sugiarto, M. Putra, dan P. Wellyantama, "Tsunami Early Warning and Validation System Based on Sea Water Level Changes Using Automatic Water Level," dalam *2024 8th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE)*, IEEE, Agu 2024, hlm. 469–474. doi: 10.1109/ICITISEE63424.2024.10730201.
 - [9] J. T. Crum, J. R. Crum, C. Taylor, dan W. F. Schneider, "Characterization and analysis of ring topology of zeolite frameworks," *Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 351, hlm. 112466, Mar 2023, doi: 10.1016/j.micromeso.2023.112466.
 - [10] D. Barth, T. Mautor, A. de Moissac, D. Watel, dan M.-A. Weisser, "Optimisation of electrical network configuration: Complexity and algorithms for ring topologies," *Theor Comput Sci*, vol. 859, hlm. 162–173, Mar 2021, doi: 10.1016/j.tcs.2021.01.023.
 - [11] Y. Yang, K. Xie, Y. Ma, L. Hu, J. Chen, dan G. Wu, "Fiber-Optic Time Transfer Over a Ring Network with Data Transmission," dalam *2024 Asia Communications and Photonics Conference (ACP) and International Conference on Information Photonics and Optical Communications (IPOC)*, IEEE, Nov 2024, hlm. 1–4. doi: 10.1109/ACP/IPOC63121.2024.10809468.
 - [12] J. Mirza, W. A. Imtiaz, A. J. Aljohani, dan S. Ghafoor, "A high bit rate free space optics-based ring topology having carrier-less nodes," *IET Communications*, vol. 15, no. 11, hlm. 1530–1538, Jul 2021, doi: 10.1049/cmu2.12174.
 - [13] M. R. N. Mohd Alias, D. R. Mohd Dzaki, N. M. Din, S. N. M. Deros, R. Passarella, dan A. E. C. Amier Chaai, "IoT-Based Transmission Tower Monitoring Communications and Visualization Platform," dalam *2022 IEEE Symposium on Future Telecommunication Technologies (SOFTT)*, IEEE, Nov 2022, hlm. 125–129. doi: 10.1109/SOFTT56880.2022.10010295.
 - [14] V. R. S. M. K, R. Kumar, S. S, dan H. P. A, "IoT-Enabled Smart Waste Management System with Real-Time GPS Monitoring and User Notification," dalam *2025 8th International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*, IEEE, Apr 2025, hlm. 404–409. doi: 10.1109/ICOEI65986.2025.11013255.
 - [15] DFROBOT, "Serial 6 Axis Accelerometer SKU SEN0386." Diakses: 24 Mei 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://wiki.dfrobot.com/Serial_6_Axis_Accelerometer_SKU_SEN0386
 - [16] M. N. G. AZHAM, "Prototype Self Balancing Dengan Imu Sensor Menggunakan Metode Interpolasi Linear," Surabaya, Feb 2023.
 - [17] M. S. Moslan dkk., "A new potential polymeric cladding material for polycarbonate fibre optic core for high temperature use," *Optical Fiber Technology*, vol. 67, hlm. 102723, Des 2021, doi: 10.1016/J.YOFTE.2021.102723.
 - [18] PT Communication Cable Systems Indonesia Tbk, "Kabel ADSS, Standard CCSI." Diakses: 24 Mei 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.ccsi.co.id/produk/ccsi-standard-design-cables-3/>
 - [19] L. Tippe, L. Pilgrim, J. Froschl, dan H.-G. Herzog, "Modular Simulation of Zonal Architectures and Ring Topologies for Automotive Power Nets," dalam *2021 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, IEEE, Okt 2021, hlm. 1–5. doi: 10.1109/VPPC53923.2021.9699179.
 - [20] M. F. B. Azman, N. A. Bt. Hamid, dan A. B. Yahya, "Overview of Signal Integrity Simulation for SFP+ Interface Serial Links with Advanced Design System (ADS)," dalam *2020 IEEE 10th Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE)*, IEEE, Apr 2020, hlm. 68–72. doi: 10.1109/ISCAIE47305.2020.9108815.

-
- [21] C. Loapheang dan S. Sitjongsataporn, “Design of Small Form-factor Pluggable Reader using Arduino Board,” dalam *2020 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI)*, IEEE, Okt 2020, hlm. 209–212. doi: 10.1109/ICPEI49860.2020.9431389.