

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Relevan

Penelitian mengenai Remotly Operated Vehicle (ROV) ini telah berkembang sangat cepat dalam bidang teknologi eksplorasi bawah air, dan pemantauan lingkungan perairan. Banyak studi telah dilakukan untuk meningkatkan performa manuver, kestabilan dan kemampuan akuisisi data maupun parameter lingkungan. Namun demikian, Sebagian besar penelitian masih mengembangkan sistem secara tidak menyeluruh dan belum mengintegrasikan seluruh subsistem dalam satu arsitektur monitoring berkelanjutan.

Penelitian tentang *“Rancang Bangun Sistem dan Mekanisme Prototype Underwater Rov (Remotely Operated Vehicle) Berbasis Arduino”* mengembangkan prototipe ROV berbasis Arduino dengan sensor suhu, tekanan, dan kamera sebagai perangkat observasi. Sistem ini mampu mentransmisikan data secara langsung tanpa jeda waktu yang signifikan ke permukaan. Meskipun demikian, sistem ini masih mengandalkan sepenuhnya Kendali manual tanpa sistem stabilisasi otomatis berbasis *Close-loop control*. Selain itu juga, penelitian ini belum membahas efisiensi daya dari perangkat eksternal dalam mendukung operasi yang lebih lama.[1]

Penelitian tentang *“Low-cost communication system for explorer-class underwater remotely operated vehicle”* mengembangkan sistem komunikasi berbiaya rendah pada *Explorer-Class Remotely Operated Vehicle* (ROV) menggunakan komunikasi serial RS-232 dan RS-485. Pengujian dilakukan dengan membandingkan kualitas transmisi data berdasarkan parameter *delay*, *packet loss*, dan *throughput*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komunikasi RS-485 memberikan performa yang lebih baik dibandingkan RS-232 dalam menjaga kestabilan transmisi data pada sistem ROV. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa RS-485 memiliki keandalan yang baik sebagai media komunikasi serial pada sistem kendali ROV. Namun, komunikasi yang digunakan masih terbatas pada media serial, sedangkan penelitian ini mengembangkan sistem komunikasi hybrid yang mengintegrasikan komunikasi frekuensi FrSky dengan

komunikasi serial RS-485 melalui solar powered *surface boat* sebagai relay komunikasi antara operator dan ROV. [2]

Penelitian tentang “***Development of Water-Surface Robotic Vehicle to Assist Communication Between Remotely Operated Vehicle Underwater Robot and Control Station***” mengembangkan *water-surface robotic vehicle* sebagai media penghubung komunikasi antara *control station* dan Remotely Operated Vehicle (ROV) bawah air. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan *water-surface vehicle* sebagai *repeater* untuk memperluas jangkauan komunikasi sekaligus membawa panel surya sebagai sumber energi selama proses pengoperasian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu meneruskan komunikasi antara operator dan ROV dengan baik sehingga meningkatkan fleksibilitas pengoperasian dibandingkan sistem komunikasi konvensional. Penelitian tersebut membuktikan bahwa penggunaan wahana permukaan sebagai relay komunikasi merupakan solusi yang efektif pada sistem ROV. Namun, komunikasi yang digunakan masih berfokus pada mekanisme *relay* konvensional, sedangkan penelitian ini mengembangkan sistem komunikasi hybrid yang mengintegrasikan komunikasi frekuensi menggunakan FrSky dengan komunikasi serial RS-485 melalui solar powered *surface boat* sebagai media relay sekaligus penyedia catu daya bagi ROV.[3]

Penelitian tentang “***ROVs Utilized in Communication and Remote Control Integration Technologies for Smart Ocean Aquaculture Monitoring Systems***” membahas perkembangan teknologi komunikasi dan kendali jarak jauh pada Remotely Operated Vehicle (ROV) untuk sistem pemantauan budidaya laut cerdas (*smart ocean aquaculture monitoring*). Kajian ini menunjukkan bahwa sistem komunikasi yang andal dan terintegrasi sangat penting untuk mendukung pengoperasian ROV di lingkungan perairan. Selain itu, penggunaan wahana permukaan sebagai pendukung komunikasi dinilai dapat memperluas jangkauan operasi dan meningkatkan keandalan sistem. Namun, penelitian tersebut masih berupa kajian teknologi dan belum menerapkan sistem komunikasi hybrid yang menggabungkan komunikasi frekuensi dan komunikasi serial. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan *solar powered surface boat* sebagai relay komunikasi yang mengintegrasikan komunikasi FrSky dan RS-485 sekaligus sebagai sumber catu daya bagi ROV.[4]

Penelitian tentang “*An electrical power control system for explorer-class remotely operated underwater vehicle (ROV)*” mengembangkan sistem distribusi daya listrik pada *Explorer-Class Remotely Operated Vehicle (ROV)* untuk meningkatkan efisiensi penyaluran energi ke seluruh komponen kelistrikan. Sistem yang dirancang memanfaatkan kabel *tether* sebagai media transmisi daya, *DC-DC converter* sebagai pengatur tegangan, serta mikrokontroler untuk mengendalikan distribusi daya ke motor DC. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menyalurkan daya dengan *voltagedrop* yang rendah sehingga mendukung pengoperasian ROV secara aman dan efisien. Namun, penelitian tersebut masih berfokus pada sistem distribusi daya ROV dan belum mengintegrasikan sumber energi terbarukan maupun sistem komunikasi. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan solar powered *surface boat* yang tidak hanya berfungsi sebagai penyedia catu daya melalui panel surya dan baterai, tetapi juga sebagai relay komunikasi hybrid antara operator dan ROV.[5]

Penelitian tentang “*An Open-Source Supervisory Control and Data Acquisition Architecture for Photovoltaic System Monitoring Using ESP32, Banana Pi M4, and Node-RED*” mengembangkan arsitektur Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) berbasis *open-source* untuk memantau sistem fotovoltaik menggunakan ESP32, Banana Pi M4, dan Node-RED. Sistem yang dikembangkan mampu mengakuisisi data tegangan, arus, serta parameter kelistrikan lainnya secara *real-time* dan menampilkannya melalui antarmuka pemantauan berbasis IoT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arsitektur yang diusulkan dapat mendukung proses monitoring sistem fotovoltaik secara efektif dengan biaya yang relatif rendah. Namun, penelitian tersebut hanya berfokus pada sistem monitoring panel surya dan belum diterapkan pada sistem ROV. Oleh karena itu, penelitian ini mengimplementasikan konsep monitoring serupa untuk memantau parameter kelistrikan pada *solar powered surface boat* yang berfungsi sebagai penyedia catu daya sekaligus relay komunikasi bagi ROV.[6]

Penelitian tentang “*Pengembangan Sistem Monitoring Distribusi Power Berbasis Flask Dan Node-Red Menggunakan Protokol Komunikasi Serial Rs-485 Dan Tcp/Ip*” mengembangkan sistem monitoring distribusi daya berbasis Flask dan Node-RED dengan memanfaatkan komunikasi serial RS-485 dan protokol TCP/IP. Sistem yang

dikembangkan mampu menampilkan data pemantauan secara *real-time*, seperti *dashboard*, grafik, serta riwayat data yang tersimpan dalam basis data. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi RS-485 dengan Node-RED dapat mendukung proses monitoring secara efektif dan mempermudah pengawasan distribusi daya. Namun, penelitian tersebut diterapkan pada sistem kelistrikan industri dan belum diimplementasikan pada sistem ROV. Oleh karena itu, penelitian ini mengadopsi konsep komunikasi RS-485 dan monitoring berbasis Node-RED untuk memantau parameter kelistrikan pada solar powered *surface boat* sekaligus mendukung komunikasi hybrid antara operator dan ROV.[7]

Penelitian tentang “***Multi-Channel Power Data Acquisition System for Solar Panel Monitoring***” mengembangkan sistem akuisisi data daya panel surya multi-kanal berbasis ESP32 dan beberapa sensor INA219 untuk memantau parameter kelistrikan secara *real-time*. Sistem yang dikembangkan mampu mengukur tegangan, arus, dan daya dari beberapa panel surya secara bersamaan, kemudian menampilkan hasil pemantauan melalui platform ThingSpeak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan mampu beroperasi secara stabil dalam proses monitoring. Namun, penelitian tersebut hanya berfokus pada pemantauan kinerja panel surya dan belum diterapkan pada sistem ROV. Oleh karena itu, penelitian ini mengimplementasikan sensor INA219 untuk memantau parameter kelistrikan pada solar powered *surface boat* yang berfungsi sebagai penyedia catu daya sekaligus mendukung sistem komunikasi hybrid antara operator dan ROV.[8]

Penelitian tentang “***Monitoring State Of Charge (Soc) Baterai Lithium Ion Berbasis Web Web-Based Monitoring Of The State Of Charge (Soc) Of Lithium-Ion Batteries***” mengembangkan sistem monitoring State of Charge (SoC) baterai lithium-ion berbasis web menggunakan ESP32. Sistem yang dirancang memanfaatkan sensor INA219, ACS758, serta sensor suhu untuk memantau kondisi baterai secara *real-time*, kemudian menampilkan hasil pengukuran melalui *dashboard* berbasis web. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memonitor parameter baterai dengan baik dan mengirimkan data secara stabil melalui jaringan Wi-Fi. Namun, penelitian tersebut berfokus pada pemantauan kondisi baterai dan belum diterapkan pada sistem ROV. Oleh karena itu, penelitian ini mengadopsi penggunaan INA219 dan ACS758 untuk memantau

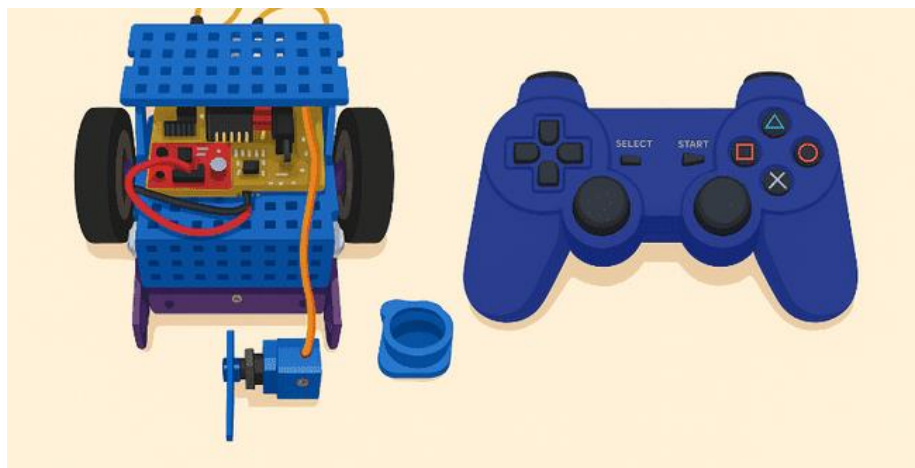
parameter kelistrikan pada solar powered *surface boat*, sehingga kondisi sumber daya dapat dipantau selama mendukung operasi dan komunikasi hybrid ROV.[9]

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Konsep Dasar Robotika

Robotika merupakan cabang ilmu Teknik yang mempelajari perancangan, konstruksi, operasi, dan aplikasi robot. Perkembangan teknologi robot saat ini dipengaruhi oleh kemajuan elektronika, sistem kendali, dan teknologi pemrograman. Secara umum sistem robot terdiri dari beberapa komponen utama yang terintegrasi seperti sistem mekanik, kendali, sensor, dan aktuator. [10].

Perkembangan teknologi robotika telah mendorong pemanfaatannya di berbagai bidang, seperti industri manufaktur, kesehatan, pertanian, pertahanan, hingga eksplorasi bawah air. Pada bidang kelautan, robot banyak digunakan untuk membantu proses inspeksi, pemantauan, penelitian, dan eksplorasi pada lingkungan yang sulit dijangkau atau memiliki tingkat risiko tinggi bagi manusia. Salah satu penerapan teknologi tersebut adalah *Remotely Operated Vehicle* (ROV), yaitu robot bawah air yang dikendalikan oleh operator dari permukaan untuk melaksanakan berbagai misi di lingkungan perairan.[4]



Gambar 2. 1 Konsep Robotika

2.2.2 Remotly Operated Vehicle (ROV)

Remotely Operated Vehicle (ROV) merupakan kendaraan bawah air tanpa awak (*unmanned underwater vehicle*) yang dioperasikan dari permukaan oleh seorang operator melalui sistem komunikasi. ROV dirancang untuk melakukan berbagai tugas di lingkungan bawah air, seperti inspeksi, observasi, eksplorasi, pemantauan, serta pekerjaan pemeliharaan pada area yang sulit dijangkau atau memiliki risiko tinggi bagi penyelam. Pengoperasian ROV dilakukan secara *real-time*, sehingga operator dapat mengendalikan pergerakan kendaraan serta memantau kondisi bawah air melalui sistem kendali dan kamera yang terpasang pada ROV. [4],

Secara umum, sebuah ROV terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu rangka (*frame*), thruster sebagai sistem penggerak, *Electronic Speed Controller (ESC)*, mikrokontroler sebagai pengendali, sistem komunikasi, kamera, sensor, serta sumber daya. Seluruh komponen tersebut bekerja secara terintegrasi untuk menerima perintah dari operator, mengolah data kendali, kemudian menggerakkan thruster sesuai dengan manuver yang diinginkan[4]

Pada penelitian ini, ROV dikendalikan menggunakan sistem komunikasi *hybrid* yang mengintegrasikan komunikasi frekuensi melalui protokol SBUS dan komunikasi serial RS-485. Selain itu, kebutuhan daya ROV dipenuhi oleh *solar powered surface boat*, sehingga wahana permukaan tidak hanya berfungsi sebagai penyedia energi, tetapi juga sebagai relay komunikasi antara operator dan ROV.



Gambar 2. 2 ROV Underwater

2.2.3 Sistem Penggerak ROV

Sistem penggerak merupakan bagian utama pada *Remotely Operated Vehicle (ROV)* yang berfungsi menghasilkan gaya dorong sehingga ROV dapat bergerak dan bermanuver di bawah air. Sistem ini umumnya terdiri atas *thruster*, *Electronic Speed Controller (ESC)*, dan mikrokontroler yang bekerja secara terintegrasi. Thruster berfungsi menghasilkan gaya dorong melalui putaran baling-baling, sedangkan ESC mengatur kecepatan dan arah putaran motor berdasarkan sinyal kendali yang diterima dari mikrokontroler. Kombinasi ketiga komponen tersebut memungkinkan ROV melakukan berbagai manuver, seperti bergerak maju, mundur, naik, turun, serta berbelok sesuai perintah operator. [11], [4].

Jumlah dan penempatan thruster pada ROV disesuaikan dengan kebutuhan manuver yang diinginkan. Semakin banyak thruster yang digunakan, semakin baik kemampuan ROV dalam menjaga stabilitas dan melakukan pergerakan pada berbagai arah. Pada penelitian ini, sistem penggerak menggunakan enam buah thruster yang dikendalikan oleh ESP32 melalui modul PCA9685 sebagai pembangkit sinyal PWM, kemudian diteruskan ke *ESC* untuk mengatur putaran masing-masing motor. Konfigurasi tersebut memungkinkan setiap thruster dikendalikan secara independen sehingga pergerakan ROV menjadi lebih stabil dan responsif selama proses pengoperasian.



Gambar 2. 3 Thruster Underwater

2.2.4 Sistem Kendali ROV

Sistem kendali merupakan bagian yang berfungsi mengatur dan mengendalikan seluruh pergerakan *Remotely Operated Vehicle (ROV)* berdasarkan perintah yang diberikan oleh operator. Sistem ini terdiri atas perangkat masukan (*input*), pengendali (*controller*), dan perangkat keluaran (*output*) yang bekerja secara terintegrasi sehingga setiap perintah dapat diterjemahkan menjadi gerakan ROV secara *real-time*. Kinerja sistem kendali yang baik akan menghasilkan respons yang cepat, stabil, dan sesuai dengan perintah operator [12].

Pada sistem ROV, perintah kendali umumnya dikirim melalui remote control, kemudian diterima oleh receiver untuk diproses oleh mikrokontroler. Selanjutnya, mikrokontroler menghasilkan sinyal kendali yang diteruskan ke sistem penggerak sehingga thruster dapat berputar sesuai arah dan kecepatan yang diinginkan. Mekanisme tersebut memungkinkan operator mengendalikan berbagai manuver ROV, seperti bergerak maju, mundur, naik, turun, maupun berbelok secara langsung selama proses pengoperasian.

Pada penelitian ini, sistem kendali menggunakan *remote control* FrSky sebagai perangkat masukan dan ESP32 sebagai pengendali utama. Perintah yang diterima dari *receiver* diproses oleh ESP32 sebelum diteruskan ke sistem komunikasi *hybrid* untuk mengendalikan pergerakan ROV.



Gambar 2. 4 (a) Remote Frekuensi, (b) Komunikasi Serial RS485

2.2.5 Sistem Komunikasi *Hybrid* pada ROV

Sistem komunikasi hybrid merupakan metode komunikasi yang menggabungkan dua atau lebih teknologi komunikasi dalam satu sistem untuk memperoleh keunggulan dari masing-masing media komunikasi. Pendekatan ini banyak diterapkan pada sistem robotika dan kendaraan bawah air untuk meningkatkan fleksibilitas, jangkauan, serta keandalan proses transmisi data. Dengan memanfaatkan lebih dari satu media komunikasi, sistem dapat menyesuaikan metode pengiriman data sesuai kebutuhan operasional sehingga komunikasi tetap berlangsung secara stabil[4],[2].

Pada sistem *Remotely Operated Vehicle* (ROV), komunikasi hybrid memungkinkan data kendali dari operator dikirim melalui komunikasi nirkabel menuju perangkat penerima di permukaan, kemudian diteruskan menggunakan komunikasi kabel menuju ROV. Konsep tersebut menggabungkan keunggulan komunikasi radio yang memberikan fleksibilitas bagi operator dengan komunikasi kabel yang memiliki tingkat kestabilan transmisi data lebih baik pada lingkungan operasional ROV[4].

Pada penelitian ini, sistem komunikasi hybrid mengintegrasikan komunikasi radio menggunakan FrSky dengan protokol SBUS dan komunikasi serial RS-485. Data kendali dari operator diterima oleh *receiver* FrSky yang berada pada *panel box*, kemudian diproses oleh ESP32 *Master* sebelum dikirim melalui komunikasi RS-485 menuju ESP32 *Slave* yang berada pada ROV. Konfigurasi ini memungkinkan *solar powered surface boat* tidak hanya berfungsi sebagai penyedia catu daya, tetapi juga sebagai relay komunikasi yang menghubungkan operator dengan ROV secara lebih fleksibel.

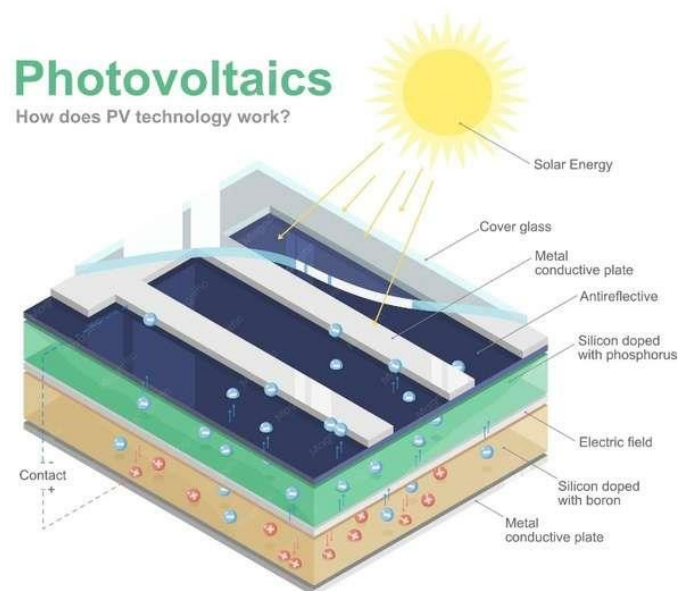
2.2.6 Komunikasi RS-485

Komunikasi RS-485 merupakan standar komunikasi serial yang banyak digunakan pada sistem industri karena mampu mentransmisikan data secara stabil pada jarak yang relatif jauh dan tahan terhadap gangguan (*noise*). RS-485 menggunakan metode transmisi diferensial (*differential signaling*), yaitu mengirimkan data melalui dua jalur sinyal yang memiliki perbedaan tegangan. Metode ini membuat komunikasi lebih andal dibandingkan komunikasi serial biasa, terutama pada lingkungan yang memiliki interferensi elektromagnetik[7],

2.2.7 Energi Surya (*PhotoVoltaic*)

Panel surya fotovoltaik adalah teknologi yang berfungsi mengonversi energi matahari menjadi energi listrik melalui efek *PhotoVoltaic*. Istilah *PhotoVoltaic* ini diturunkan dari kata *Photo* (Cahaya) dan *Volta* (Tegangan Listrik). Proses ini terjadi ketika *foton* dari radiasi matahari mengenai material semikonduktor, sehingga menyebabkan electron terlepas dan menghasilkan arus Listrik searah (DC) [13]

PLTS menggunakan sel *PhotoVoltaic* sebagai komponen utama dalam mengkonversi energi matahari menjadi Listrik. Dalam penelitian ini dijelaskan bahwa kinerja panel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain intensitas radiasi matahari, temperatur lingkungan, serta sudut kemiringan panel terhadap arah sinar matahari. [14]



Gambar 2. 5 Photovoltaics

2.2.8 Energy Storage (Life PO4)

Sistem penyimpanan energi menjadi salah satu komponen utama dalam sistem pembangkit energi surya, karena berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi yang dihasilkan oleh panel surya tersebut. Sehingga energi yang sudah di hasilkan oleh panel surya dapat dimanfaatkan ketika sumber energi matahari tidak tersedia.



Gambar 2. 6 Baterai LiFe PO4

Baterai merupakan perangkat penyimpanan energi listrik yang berfungsi menyimpan energi dari sumber pembangkit untuk digunakan kembali saat dibutuhkan. Pada sistem pembangkit listrik *hybrid*, baterai berperan menjaga kontinuitas suplai daya sehingga sistem tetap dapat beroperasi meskipun energi dari panel surya tidak mencukupi. Dengan adanya baterai, pemanfaatan energi menjadi lebih efisien dan keandalan sistem dapat ditingkatkan[15].

Pada sistem PLTS, baterai ini digunakan sebagai tempat penyimpanan energi Listrik dalam bentuk arus DC (arus searah). Kemudian energi ini akan disimpan pada baterai melalui sistem pengatur pengisian (*Charge Controller*) sebelum digunakan oleh beban[16].

Kapasitas penyimpanan energi ini dinyatakan dalam bentuk *Ampere-Hour* (AH). Nilai ini menunjukan jumlah arus yang dapat di isi ke baterai. Namun dalam penggunaanya, baterai tidak dianjurkan untuk dikosongkan karena dapat memperpendek umur baterai, sehingga digunakan lah parameter *Depth of Discharge* (DoD). Untuk menentukan batas aman pengosongan baterai.[16]

2.2.9 Solar Charge Controller pada Distribusi Daya

solar charge controller berperan sebagai komponen utama dalam proses distribusi energi dari solar panel menuju baterai, dan juga berfungsi sebagai pengatur proses distribusi energi dari baterai menuju beban. Komponen ini berfungsi untuk mengatur dan menstabilkan tegangan serta arus yang dialirkan ke baterai sehingga proses berjalan aman dan efisien.[17].

Sistem distribusi energi pada pembangkit Listrik tenaga surya (PLTS) berfungsi sebagai penyalur energi Listrik dari panel surya menuju beban melalui beberapa komponen utama yaitu *Solar Charge Controller* (SCC), baterai dan inverter. Dengan adanya sistem distribusi ini, suplai daya diterima oleh beban menjadi lebih stabil dan terkontrol meskipun adanya fluktuasi intensitas radiasi matahari.[18]



Gambar 2. 7 SCC PWM

2.2.10 Sistem Monitoring Kelistrikan

Sistem monitoring kelistrikan merupakan sistem yang digunakan untuk memantau kondisi kelistrikan secara *real-time* melalui pengukuran beberapa parameter, seperti tegangan, arus, daya, dan energi listrik. Informasi tersebut diperlukan untuk mengetahui kondisi kerja suatu sistem, mendeteksi perubahan parameter listrik, serta menjadi dasar dalam proses evaluasi dan pengambilan keputusan. Dengan adanya sistem monitoring, performa sistem dapat diamati secara lebih mudah dan akurat[19]

Pada penelitian ini, sistem monitoring digunakan untuk mengukur tegangan, arus, dan daya pada panel surya serta beban ROV. Data hasil pengukuran diperoleh menggunakan sensor INA219, ACS712 dan ACS758, kemudian diolah oleh ESP32 untuk mengetahui kinerja sistem catu daya selama proses pengoperasian. Melalui monitoring

tersebut, kondisi penyaluran daya dari *solar powered surface boat* menuju ROV dapat diamati secara *real-time* sehingga memudahkan analisis terhadap performa sistem.

2.2.11 Sistem Pengaman Kelistrikan

Sistem pengaman pada instalasi solar panel merupakan bagian paling penting dalam menjaga keandalan dan keamanan sistem kelistrikan. Sistem pengaman ini berfungsi untuk melindungi setiap komponen PLTS dari gangguan arus berlebih, *short-circuit*, dan lonjakan tegangan[20].

Dalam instalasi PLTS, sistem pengaman dipasang di sisi arus searah dan arus bolak-balik. Perangkat Proteksi yang umum digunakan adalah fuse, *Miniature Circuit Breaker* (MCB). Komponen ini lah yang berfungsi dalam menjaga sistem dari gangguan arus



Gambar 2. 8 Miniature Circuit Breaker (MCB)

berlebih, *short circuit*, dan lonjakan tegangan Dengan adanya sistem pengaman pada instalasi pengkabelan PLTS, komponen penting dalam sistem PLTS dapat terlindungi dari kerusakan sistem. Oleh karena itu, sistem pengaman PLTS menjadi aspek penting dalam menjaga sistem tetap aman dan andal.[21]

2.3 Kerangka Pemikiran

Pemantauan kondisi lingkungan perairan memiliki peran penting untuk mengetahui kualitas ekosistem, namun pemantauan langsung ke lokasi perairan tersebut sering menghadapi keterbatasan, dari resiko keselamatan, jangkauan lokasi yang terbatas, sampai kepada durasi pemantauan yang terbatas. Teknologi yang dapat mengatasi masalah ini adalah *Remotely Operated Vehicle* (ROV), yaitu kendaraan bawah air yang

dikendalikan dari permukaan oleh operator. Meskipun demikian, pemantauan dengan ROV masih mengalami keterbatasan durasi dalam pemantauan, karena masih menggunakan sumber daya energi yang bergantung pada baterai.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem ROV dengan mengintegrasikan solar panel pada unit permukaan sebagai energi tambahan untuk meningkatkan efisiensi energi khususnya pada durasi operasional ROV di lingkungan bawah air. Selain itu juga, penelitian ini juga menerapkan sistem komunikasi *hybrid*, yaitu dengan menggabungkan komunikasi *Radio frekuensi* (RF) dengan komunikasi kabel berbasis protokol RS485. Komunikasi ini dirancang untuk dapat berkomunikasi antara operator, unit permukaan dan ROV. Integrasi sistem energi solar panel dan komunikasi *hybrid* diharapkan dapat menghasilkan sistem ROV yang mampu beroperasi lebih lama serta komunikasi yang stabil untuk mendukung pemantauan lingkungan bawah air.