Perancangan Perangkat Keras Sistem Monitoring Kualitas Air Berbasis Internet of Things Menggunakan Desain PCB dan 3D Printing

1st Agung Rizki Pangestu
departemen of Computer Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
broagung@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Yaddast Nur Qomariyah
departemen of Computer Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
yaddastnurq@student.telkomuniversity.ac.id

3rd Ihsan Mutashim
departemen of Computer Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
ihsanm@student.telkomuniversity.ac.id

***Abstrak* — Kualitas air merupakan faktor penting dalam mendukung produktivitas pertanian sehingga diperlukan perangkat monitoring yang andal dan mudah diterapkan di lapangan. Penelitian ini bertujuan merancang perangkat keras sistem monitoring kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT) melalui pengembangan *Printed Circuit Board* (PCB) dan casing menggunakan teknologi *3D printing*. Perancangan PCB dilakukan menggunakan EasyEDA untuk mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 dengan sensor pH, suhu, dan *Total Dissolved Solids* (TDS) dalam satu papan sirkuit yang ringkas. Selanjutnya, desain mekanik casing dikembangkan menggunakan Autodesk Fusion 360 dengan mempertimbangkan penempatan komponen, kemudahan perakitan, serta perlindungan perangkat terhadap lingkungan operasional. Casing kemudian diproduksi menggunakan teknologi *Fused Deposition Modeling* (FDM) berbahan PLA. Hasil implementasi menunjukkan bahwa PCB yang dirancang mampu mengintegrasikan seluruh komponen secara optimal dengan tata letak yang lebih rapi dan sistem pengkabelan yang lebih sederhana. Selain itu, casing hasil *3D printing* memberikan kemudahan instalasi, perawatan, serta meningkatkan perlindungan perangkat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi desain PCB dan teknologi *3D printing* menghasilkan perangkat keras yang kompak, modular, dan siap diimplementasikan sebagai node monitoring kualitas air berbasis IoT untuk mendukung sektor pertanian.**

Kata kunci— *Internet of Things*, PCB, EasyEDA, Autodesk Fusion 360, ESP32, 3D Printing.

I. PENDAHULUAN

Isi Kualitas air merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi produktivitas pertanian, terutama pada lahan yang memanfaatkan sungai atau saluran irigasi sebagai sumber air utama. Parameter seperti derajat keasaman (pH), suhu, dan *Total Dissolved Solids* (TDS) menjadi indikator utama dalam menentukan kelayakan air untuk kegiatan irigasi. Menurut Ayers dan Westcot (1985), kualitas air irigasi harus memenuhi persyaratan tertentu untuk menghindari dampak negatif terhadap pertumbuhan tanaman, kondisi tanah, dan produktivitas pertanian. Oleh karena itu, pemantauan kualitas air secara berkala menjadi salah satu langkah penting dalam mendukung pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah mendorong berbagai penelitian dalam pengembangan sistem monitoring kualitas air yang mampu melakukan pengukuran secara *real-time*. Berbagai penelitian memanfaatkan mikrokontroler ESP32 yang dipadukan dengan sensor pH, suhu, dan TDS untuk memperoleh data kualitas air secara otomatis dan mengirimkannya melalui jaringan internet (Khanna & Kaur, 2020). Selain itu, penerapan teknologi manufaktur aditif (*additive manufacturing*) menggunakan *3D printing* semakin banyak digunakan dalam pengembangan perangkat IoT karena mampu menghasilkan *enclosure* yang ringan, mudah dimodifikasi, dan memiliki biaya produksi yang relatif rendah (Gibson et al., 2021). Di sisi lain, penggunaan *Printed Circuit Board* (PCB) kustom juga berperan penting dalam meningkatkan keandalan perangkat melalui tata letak komponen yang lebih terstruktur, pengurangan kompleksitas *wiring*, serta kemudahan proses perakitan (Coombs & Holden, 2016).

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada pengembangan perangkat lunak, komunikasi data, dan visualisasi hasil monitoring, sedangkan pembahasan mengenai perancangan perangkat keras belum menjadi fokus utama. Padahal, kualitas desain PCB dan *enclosure* memiliki pengaruh terhadap keandalan sistem, efisiensi ruang, kemudahan pemeliharaan, serta kesiapan perangkat untuk diimplementasikan pada lingkungan pertanian. Keterbatasan tersebut menunjukkan bahwa masih diperlukan penelitian yang secara khusus membahas proses perancangan perangkat keras sebagai fondasi dalam pengembangan sistem monitoring kualitas air berbasis IoT.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan merancang perangkat keras sistem monitoring kualitas air berbasis IoT melalui pengembangan PCB menggunakan **EasyEDA** dan desain *enclosure* menggunakan **Autodesk Fusion 360**. PCB dirancang untuk mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 dengan sensor pH, suhu, dan TDS dalam satu papan sirkuit yang kompak,

sedangkan *enclosure* dirancang menggunakan teknologi *Fused Deposition Modeling* (FDM) berbahan PLA dengan mempertimbangkan penempatan komponen, kemudahan perakitan, serta perlindungan perangkat terhadap lingkungan operasional. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan perangkat keras sistem monitoring kualitas air yang lebih ringkas, modular, dan mudah diimplementasikan pada sektor pertanian.

II. KAJIAN TEORI

A. Sistem Monitoring Kualitas Air

A.1 Pengertian Sistem Monitoring Kualitas Air

Sistem monitoring kualitas air merupakan suatu

sistem yang digunakan untuk mengamati, mengukur, dan mengevaluasi kondisi kualitas air secara berkala melalui pengukuran beberapa parameter tertentu. Sistem ini bertujuan memperoleh informasi kondisi air secara cepat sehingga dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan. Seiring berkembangnya teknologi IoT, sistem monitoring tidak lagi dilakukan secara manual, tetapi menggunakan sensor yang mampu mengirimkan data secara real-time.

A.2 Parameter Kualitas Air

Kualitas air merupakan salah satu faktor yang memengaruhi keberhasilan sistem irigasi dan produktivitas pertanian. Penilaian kualitas air dilakukan melalui pengukuran beberapa parameter fisika dan kimia yang mencerminkan kondisi air. Dalam penelitian ini, parameter yang digunakan meliputi derajat keasaman (*potential of Hydrogen* atau pH), suhu, dan *Total Dissolved Solids* (TDS). Ketiga parameter tersebut dipilih karena memiliki pengaruh terhadap kelayakan air untuk irigasi serta dapat diukur secara langsung menggunakan sensor yang terintegrasi dengan sistem monitoring.

Derajat keasaman (pH) merupakan parameter yang menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan air dengan rentang nilai 0–14. Nilai pH 7 menunjukkan kondisi netral, sedangkan nilai di bawah 7 bersifat asam dan di atas 7 bersifat basa. Nilai pH yang tidak sesuai dapat memengaruhi ketersediaan unsur hara, aktivitas mikroorganisme, dan kemampuan tanaman dalam menyerap nutrisi. Oleh karena itu, pengukuran pH diperlukan untuk memastikan bahwa kualitas air masih memenuhi persyaratan sebagai sumber irigasi (Ayers & Westcot, 1985).

Suhu merupakan parameter fisik yang menggambarkan tingkat panas atau dinginnya air. Perubahan suhu dapat memengaruhi sifat fisik dan kimia air, seperti kadar oksigen terlarut, laju reaksi kimia, serta aktivitas mikroorganisme. Selain itu, perubahan suhu juga dapat memengaruhi performa beberapa sensor sehingga pengukurannya diperlukan untuk mendukung interpretasi hasil pemantauan kualitas air.

Total Dissolved Solids (TDS) adalah parameter yang menunjukkan jumlah zat padat terlarut dalam air, seperti garam mineral, ion, dan senyawa organik. Nilai TDS umumnya dinyatakan dalam satuan *milligrams per liter* (mg/L) atau *parts per million* (ppm). Kandungan TDS yang terlalu tinggi dapat meningkatkan salinitas air sehingga menghambat penyerapan air dan unsur hara oleh tanaman. Oleh sebab itu, pengukuran TDS diperlukan untuk mengetahui tingkat kandungan mineral terlarut dan

memastikan air masih layak digunakan untuk irigasi (Ayers & Westcot, 1985).

Berdasarkan ketiga parameter tersebut, sistem monitoring pada penelitian ini dirancang untuk mengukur nilai pH, suhu, dan TDS secara *real-time* menggunakan sensor yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32. Data yang diperoleh digunakan sebagai indikator kondisi kualitas air untuk mendukung proses pemantauan secara berkelanjutan.

B. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang menghubungkan berbagai perangkat fisik melalui jaringan internet sehingga mampu bertukar data dan berkomunikasi secara otomatis tanpa memerlukan interaksi manusia secara langsung. Sistem IoT umumnya terdiri atas sensor sebagai pengumpul data, mikrokontroler sebagai pengolah informasi, jaringan komunikasi sebagai media transmisi data, serta platform pemantauan sebagai antarmuka pengguna. Integrasi komponen tersebut memungkinkan proses akuisisi, pengiriman, dan penyajian data dilakukan secara *real-time*, sehingga informasi dapat diakses dari berbagai lokasi melalui jaringan internet (Khanna & Kaur, 2020).

Penerapan IoT telah berkembang pada berbagai bidang, seperti industri, kesehatan, transportasi, dan pertanian. Dalam sektor pertanian, teknologi IoT dimanfaatkan untuk mendukung sistem *smart farming* melalui pemantauan kondisi lingkungan secara otomatis. Berbagai parameter, seperti kelembapan tanah, suhu, kelembapan udara, serta kualitas air dapat dipantau secara berkelanjutan menggunakan sensor yang terhubung ke jaringan internet. Pemanfaatan IoT memungkinkan proses pengambilan keputusan dilakukan lebih cepat berdasarkan data yang diperoleh secara langsung dari lapangan.

Secara umum, arsitektur IoT terdiri atas empat lapisan, yaitu *perception layer*, *network layer*, *service layer*, dan *application layer* (Al-Fuqaha et al., 2015). *Perception layer* berfungsi mengakuisisi data dari sensor, *network layer* bertugas mengirimkan data melalui media komunikasi, *service layer* melakukan pengolahan dan penyimpanan data, sedangkan *application layer* menyediakan antarmuka bagi pengguna untuk memantau informasi.

Pada penelitian ini, konsep IoT diterapkan untuk mendukung sistem monitoring kualitas air dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali. Data dari sensor pH, suhu, dan *Total Dissolved Solids* (TDS) diproses kemudian dikirimkan melalui jaringan internet sehingga kondisi kualitas air dapat dipantau secara *real-time*. Pendekatan ini meningkatkan efisiensi pemantauan serta mendukung pengelolaan kualitas air yang lebih efektif.

B.1 Pengertian Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang menghubungkan berbagai perangkat fisik melalui jaringan internet sehingga mampu mengumpulkan, mengirimkan, dan bertukar data secara otomatis tanpa memerlukan interaksi manusia secara langsung. Perangkat-perangkat tersebut dilengkapi dengan sensor, aktuator, mikrokontroler, serta modul komunikasi yang memungkinkan proses akuisisi dan pertukaran data dilakukan secara berkelanjutan. Melalui konsep ini, objek fisik tidak hanya berfungsi sebagai perangkat elektronik, tetapi juga mampu memberikan informasi mengenai kondisi lingkungan secara *real-time* (Khanna & Kaur, 2020).

Konsep IoT pertama kali diperkenalkan oleh Kevin Ashton pada tahun 1999 sebagai gagasan untuk menghubungkan objek fisik ke jaringan internet menggunakan teknologi identifikasi otomatis. Seiring perkembangan teknologi sensor, jaringan komunikasi, dan komputasi awan (*cloud computing*), IoT berkembang menjadi salah satu teknologi utama dalam berbagai bidang, seperti industri, kesehatan, transportasi, energi, dan pertanian. Kemampuan IoT dalam menyediakan data secara cepat dan berkelanjutan menjadikannya solusi yang efektif untuk mendukung proses pemantauan serta pengambilan keputusan berbasis data (Al-Fuqaha et al., 2015).

Pada bidang pertanian, IoT banyak dimanfaatkan untuk membangun sistem *smart farming*, seperti

pemantauan kelembapan tanah, suhu lingkungan, kondisi cuaca, dan kualitas air. Dalam penelitian ini, konsep IoT digunakan sebagai dasar pengembangan sistem monitoring kualitas air, di mana data yang diperoleh dari sensor diproses oleh mikrokontroler ESP32 dan dikirimkan melalui jaringan internet sehingga informasi kondisi air dapat dipantau secara *real-time*.

B.2 Arsitektur Internet of Things

Arsitektur *Internet of Things* (IoT) merupakan kerangka kerja yang menggambarkan proses pengumpulan, pengiriman, pengolahan, hingga penyajian data dalam suatu sistem berbasis IoT. Secara umum, arsitektur IoT terdiri atas empat lapisan, yaitu *Perception Layer*, *Network Layer*, *Service Layer*, dan *Application Layer*. Setiap lapisan memiliki fungsi yang saling terintegrasi sehingga memungkinkan perangkat melakukan komunikasi dan pertukaran data secara *real-time* (Al-Fuqaha et al., 2015).

Perception Layer merupakan lapisan pertama yang berfungsi mengakuisisi data dari lingkungan menggunakan sensor. Pada penelitian ini, lapisan tersebut terdiri atas sensor pH, sensor suhu, dan sensor *Total Dissolved Solids* (TDS) yang digunakan untuk mengukur parameter kualitas air. Data hasil pengukuran kemudian diteruskan ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses.

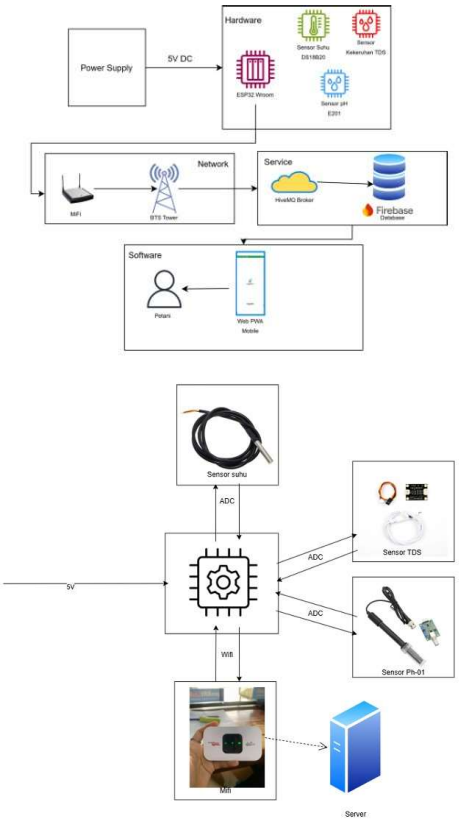
Network Layer berfungsi sebagai media komunikasi yang menghubungkan perangkat dengan server atau platform pemantauan. Pengiriman data dapat dilakukan melalui berbagai teknologi komunikasi, seperti Wi-Fi, Bluetooth, atau jaringan seluler. Pada penelitian ini, ESP32 memanfaatkan koneksi Wi-Fi untuk mengirimkan data hasil pembacaan sensor menuju platform monitoring.

Service Layer bertugas melakukan pengolahan, penyimpanan, dan pengelolaan data yang diterima dari perangkat IoT. Pada lapisan ini, data dapat disimpan dalam basis data, diproses untuk analisis, atau digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan. Selain itu, lapisan ini juga berperan dalam memastikan data yang diterima dapat diakses oleh pengguna secara aman dan efisien.

Application Layer merupakan lapisan yang berinteraksi langsung dengan pengguna melalui aplikasi atau *dashboard* monitoring. Informasi yang telah diproses ditampilkan dalam bentuk antarmuka sehingga pengguna dapat memantau kondisi kualitas air secara *real-time*. Dengan adanya lapisan ini, pengguna dapat memperoleh informasi mengenai kondisi

air dengan lebih cepat serta mendukung proses pengambilan keputusan dalam pengelolaan irigasi.

Berdasarkan arsitektur tersebut, sistem monitoring kualitas air pada penelitian ini menerapkan alur kerja mulai dari proses akuisisi data oleh sensor, pengiriman data melalui ESP32 menggunakan jaringan Wi-Fi, pengolahan data pada platform monitoring, hingga penyajian informasi kepada pengguna secara *real-time*.



GAMBAR 1
Arsitektur Perangkat Muka dan Periferal Unit Mikrokontroller

B.3 Implementasi Internet of Things Sistem Monitoring Kualitas Air

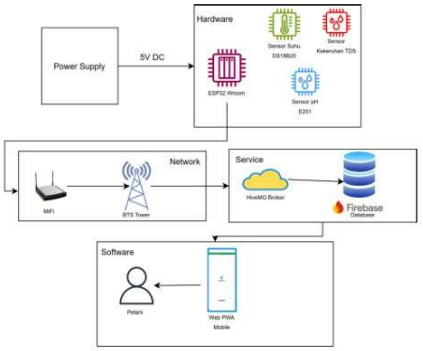
Teknologi *Internet of Things* (IoT) telah banyak diterapkan pada sistem monitoring lingkungan karena mampu menyediakan informasi secara *real-time* melalui jaringan internet. Pada sistem monitoring kualitas air, IoT memungkinkan proses pengukuran parameter air dilakukan secara otomatis menggunakan sensor, kemudian hasil pengukuran dikirim ke platform pemantauan sehingga dapat diakses dari berbagai lokasi tanpa harus melakukan pengukuran secara langsung (Khanna & Kaur, 2020).

Dalam penelitian ini, sistem monitoring memanfaatkan sensor pH, sensor suhu, dan sensor *Total Dissolved Solids* (TDS) sebagai perangkat akuisisi data. Ketiga sensor tersebut terhubung dengan mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat pengendali sekaligus modul komunikasi berbasis Wi-Fi. Data hasil pembacaan sensor diproses oleh ESP32 sebelum dikirimkan melalui jaringan internet menuju server atau platform monitoring. Selanjutnya, data disimpan dan ditampilkan pada antarmuka pengguna sehingga kondisi kualitas air dapat dipantau secara *real-time*.

Implementasi IoT pada sistem ini memberikan beberapa keuntungan, di antaranya meningkatkan efisiensi proses pemantauan, mengurangi kebutuhan pengukuran secara manual, serta mempercepat proses pengambilan keputusan berdasarkan data yang diperoleh. Selain itu, pemanfaatan IoT memungkinkan pengguna mengakses informasi kualitas air secara jarak jauh menggunakan perangkat yang terhubung ke internet, sehingga proses pengawasan menjadi lebih praktis dan fleksibel.

Penerapan konsep IoT pada penelitian ini mendukung terciptanya sistem monitoring kualitas air yang terintegrasi mulai dari proses akuisisi data, transmisi data, hingga penyajian informasi kepada pengguna.

Integrasi tersebut diharapkan mampu meningkatkan efektivitas pemantauan kualitas air sebagai salah satu upaya mendukung pengelolaan sumber daya air di sektor pertanian.



GAMBAR 1
Arsitektur Implementasi Sistem

Diagram menunjukkan alur data mulai dari pembacaan sensor, pemrosesan oleh ESP32, pengiriman melalui jaringan Wi-Fi, penyimpanan pada server, hingga penyajian informasi kepada pengguna.

III. METODE

Perancangan perangkat keras bertujuan mengembangkan sistem monitoring kualitas air yang mampu mengintegrasikan sensor pH, sensor suhu, dan sensor *Total Dissolved Solids* (TDS) dalam satu perangkat yang ringkas dan mudah diimplementasikan. Tahap awal dilakukan dengan menganalisis kebutuhan sistem serta menentukan komponen utama, yaitu mikrokontroler ESP32, sensor pH, sensor suhu, sensor TDS, modul catu daya, dan komponen pendukung lainnya.

Selanjutnya, dibuat diagram blok sistem untuk menggambarkan hubungan antar komponen. ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali yang menerima data dari seluruh sensor, memproses data, kemudian mengirimkannya melalui jaringan Wi-Fi menuju platform monitoring. Integrasi seluruh komponen dilakukan menggunakan *Printed Circuit Board* (PCB) yang dirancang dengan perangkat lunak **EasyEDA** agar menghasilkan tata letak yang lebih ringkas dan koneksi yang stabil.

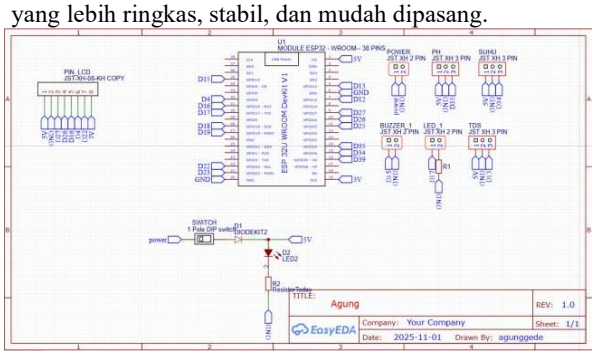
Selain itu, *enclosure* dirancang menggunakan **Autodesk Fusion 360** dengan mempertimbangkan dimensi PCB, posisi komponen, serta kemudahan proses perakitan. Desain kemudian diproduksi menggunakan teknologi *Fused Deposition Modeling* (FDM) berbahan PLA. Tahapan perancangan ini menghasilkan perangkat keras yang modular, mudah dirakit, serta mendukung proses monitoring kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT).

B. Perancangan Printed Circuit Board

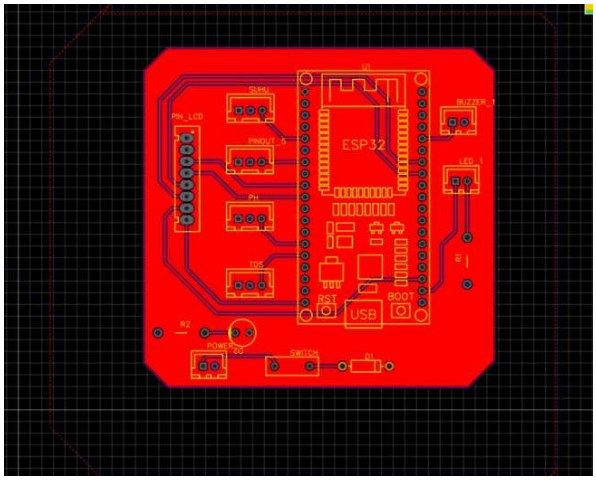
Perancangan *Printed Circuit Board* (PCB) dilakukan untuk mengintegrasikan seluruh komponen elektronik ke dalam satu papan sirkuit yang ringkas dan mudah dirakit. Proses perancangan menggunakan perangkat lunak **EasyEDA** yang menyediakan fitur pembuatan skematik, penempatan komponen, serta perancangan jalur PCB. Tahap awal dimulai dengan menyusun skematik rangkaian berdasarkan hubungan antar komponen, meliputi mikrokontroler ESP32, sensor pH, sensor suhu, sensor *Total Dissolved Solids* (TDS), modul catu daya, serta konektor pendukung.

Setelah skematik selesai, dilakukan penempatan komponen (*component placement*) dengan mempertimbangkan efisiensi ruang, kemudahan proses perakitan, serta panjang jalur antar komponen. Selanjutnya, proses *routing* dilakukan untuk menghubungkan seluruh komponen menggunakan jalur konduktor sesuai aturan desain PCB. Untuk memastikan desain memenuhi standar fabrikasi, dilakukan pemeriksaan menggunakan fitur *Design Rule Check* (DRC) sehingga potensi kesalahan seperti jalur yang terlalu dekat atau koneksi yang tidak sesuai dapat diminimalkan.

Tahap akhir perancangan menghasilkan tata letak PCB yang telah diverifikasi dan diekspor ke dalam format **Gerber** sebagai berkas standar untuk proses fabrikasi. PCB yang telah diproduksi kemudian digunakan sebagai media integrasi seluruh komponen pada sistem monitoring kualitas air sehingga menghasilkan perangkat yang lebih ringkas, stabil, dan mudah dipasang.



GAMBAR 2
Skematik PCB



GAMBAR 3
Desain Layout PCB

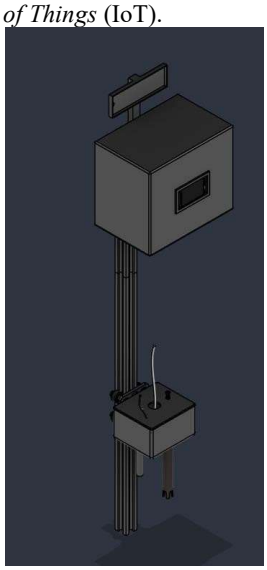
C. Perancangan Enclosure Menggunakan 3D Printing

Perancangan *enclosure* dilakukan untuk melindungi komponen elektronik sekaligus mempermudah proses pemasangan perangkat pada lingkungan operasional. Desain *enclosure* dibuat menggunakan perangkat lunak **Autodesk Fusion 360** dengan mempertimbangkan dimensi PCB, posisi sensor, jalur kabel, serta lokasi konektor dan lubang baut. Selain memberikan perlindungan terhadap komponen, desain juga disesuaikan agar memudahkan proses perakitan dan pemeliharaan perangkat.

Setelah proses pemodelan tiga dimensi selesai, desain diekspor ke dalam format **STL** sebagai berkas standar yang digunakan pada proses pencetakan. Selanjutnya, file STL diproses menggunakan perangkat lunak *slicer* untuk menghasilkan *G-code* yang akan dibaca oleh printer 3D. Proses pencetakan dilakukan menggunakan metode *Fused Deposition Modeling* (FDM) dengan material PLA karena memiliki kemudahan pencetakan, stabilitas dimensi yang baik, serta biaya

produksi yang relatif rendah.

Hasil pencetakan kemudian dievaluasi untuk memastikan dimensi *enclosure* sesuai dengan ukuran PCB dan seluruh komponen dapat dipasang dengan baik. Tahapan ini menghasilkan *enclosure* yang mampu mengintegrasikan perangkat elektronik secara lebih rapi, memberikan perlindungan terhadap komponen, serta mendukung implementasi sistem monitoring kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT).



GAMBAR 4
Desain 3D Sistem Monitoring



GAMBAR 5
Bentuk Sistem Monitoring

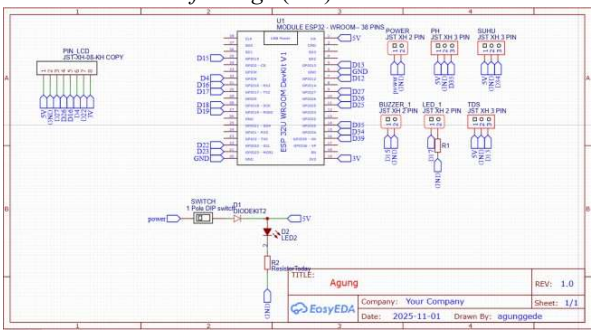
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil perancangan *Printed Circuit Board* (PCB)

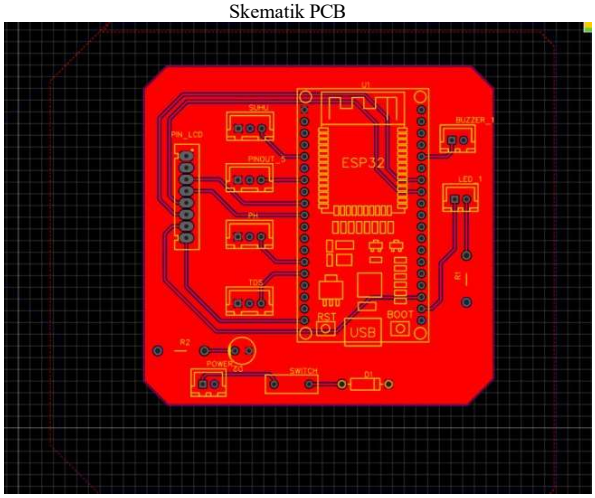
Hasil perancangan *Printed Circuit Board* (PCB) menunjukkan bahwa seluruh komponen utama sistem monitoring kualitas air berhasil diintegrasikan ke dalam satu papan sirkuit menggunakan perangkat lunak **EasyEDA**. PCB dirancang untuk menempatkan mikrokontroler ESP32, sensor pH, sensor suhu, sensor *Total Dissolved Solids* (TDS), rangkaian catu daya, serta konektor pendukung dengan tata letak yang ringkas dan terorganisasi. Penempatan komponen dilakukan dengan mempertimbangkan efisiensi ruang, kemudahan proses perakitan, serta jalur koneksi antar komponen agar menghasilkan distribusi jalur yang lebih optimal.

Hasil desain kemudian diverifikasi menggunakan fitur *Design Rule Check* (DRC) pada EasyEDA untuk memastikan tidak terdapat kesalahan pada jalur konduktor maupun jarak antar komponen. Setelah proses verifikasi selesai, desain diekspor dalam format **Gerber** dan dilanjutkan ke tahap fabrikasi PCB. PCB hasil fabrikasi menunjukkan bahwa seluruh jalur konduktor, *via*, dan pad komponen telah tercetak sesuai dengan rancangan sehingga proses penyolderan dapat dilakukan tanpa mengalami kendala.

Dibandingkan dengan penggunaan *breadboard* atau pengkabelan konvensional, penggunaan PCB memberikan tata letak yang lebih rapi, meningkatkan kestabilan koneksi antar komponen, serta mengurangi risiko kesalahan pemasangan kabel. Selain itu, integrasi seluruh komponen pada satu papan sirkuit mempermudah proses perakitan dan pemeliharaan perangkat, sehingga perangkat keras yang dihasilkan menjadi lebih kompak dan siap digunakan sebagai sistem monitoring kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT).



GAMBAR 6
Skematik PCB



GAMBAR 7
Desain Layout PCB

Berdasarkan hasil perancangan, tata letak komponen pada PCB telah memenuhi kebutuhan sistem dengan meminimalkan panjang jalur koneksi antar komponen. Hal ini membantu meningkatkan kestabilan sinyal dan mempermudah proses fabrikasi maupun perakitan. Selain itu, penggunaan PCB kustom menghasilkan perangkat yang lebih ringkas dibandingkan dengan penggunaan *breadboard*, sehingga lebih sesuai untuk implementasi pada sistem monitoring kualitas air di lapangan.

TABEL 1

Tabel Spesifikasi PCB	
Parameter	Nilai
Software Desain	EasyEDA
Jumlah layer	2 Layer
Material PCB	FR-4
Ketebalan Tembaga	0.4mm
Dimensi PCB	75mm * 75mm
Jumlah komponen	10 Buah

TABEL 2

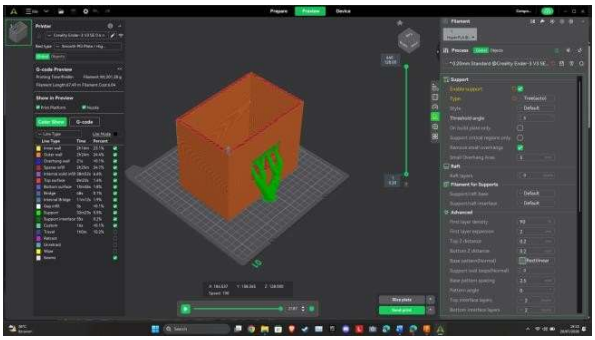
Tabel Spesifikasi Enclosure	
Software Desain	Autodesk Fusion 360
Teknologi Pencetakan	FDM
Material	PLA

Format File	STL
Tinggi layer	0,2mm
Infill	15%
Waktu Pencetakan	10 jam 39 menit

B. Hasil Perancangan Enclosure

Perancangan *enclosure* dilakukan menggunakan **Autodesk Fusion 360** untuk melindungi komponen elektronik serta mempermudah proses pemasangan perangkat. Desain disesuaikan dengan dimensi PCB sehingga ESP32, sensor, konektor, dan komponen pendukung dapat ditempatkan secara optimal. Selain itu, desain juga memperhatikan posisi lubang baut, jalur kabel, dan ventilasi guna memudahkan proses perakitan dan pemeliharaan.

Model tiga dimensi kemudian diekspor dalam format **STL** dan dicetak menggunakan printer 3D dengan metode *Fused Deposition Modeling* (FDM) berbahan PLA. Hasil pencetakan menunjukkan bahwa *enclosure* memiliki dimensi yang sesuai dengan rancangan sehingga seluruh komponen dapat dipasang dengan baik tanpa modifikasi tambahan. Penggunaan *enclosure* hasil *3D printing* memberikan perlindungan terhadap komponen elektronik, meningkatkan kerapian instalasi, serta memudahkan proses perawatan perangkat sehingga mendukung implementasi sistem monitoring kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT).



GABAR 8
Software Slicer CrealityPrint

D. Pembahasan

Penelitian menunjukkan bahwa perangkat keras yang dirancang telah mampu mengintegrasikan seluruh komponen sistem monitoring kualitas air ke dalam satu perangkat yang ringkas dan fungsional. Penggunaan PCB berhasil mengurangi kompleksitas pengkabelan dibandingkan dengan penggunaan *breadboard*, sehingga tata letak komponen menjadi lebih rapi, stabil, dan mempermudah proses perakitan. Selain itu, desain PCB yang disusun menggunakan EasyEDA menghasilkan jalur koneksi yang lebih terorganisir sehingga mendukung kestabilan distribusi daya dan komunikasi antar komponen.

Penerapan *enclosure* hasil *3D printing* juga memberikan perlindungan terhadap komponen elektronik sekaligus meningkatkan kemudahan proses instalasi. Desain yang disesuaikan dengan dimensi PCB memungkinkan seluruh komponen terpasang dengan baik tanpa memerlukan modifikasi tambahan. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan Autodesk Fusion 360 dan teknologi FDM mampu menghasilkan *enclosure* yang sesuai dengan kebutuhan sistem.

Berdasarkan hasil pengujian, seluruh sensor dan mikrokontroler ESP32 dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang diharapkan. Data hasil pengukuran berhasil diproses dan dikirim melalui jaringan Wi-Fi sehingga sistem mampu mendukung pemantauan kualitas air secara *real-time*. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi desain PCB dan *enclosure* berbasis *3D printing* dapat menghasilkan perangkat monitoring yang lebih kompak, mudah dirakit, dan mendukung implementasi sistem monitoring kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT).

B.KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang perangkat keras sistem monitoring kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan mengintegrasikan mikrokontroler ESP32, sensor pH, sensor suhu, dan sensor *Total Dissolved Solids* (TDS) ke dalam satu sistem menggunakan *Printed Circuit Board* (PCB). Perancangan PCB menggunakan EasyEDA menghasilkan tata letak komponen yang lebih ringkas, rapi, dan mempermudah proses perakitan dibandingkan dengan penggunaan pengkabelan konvensional. Selain itu, *enclosure* yang dirancang menggunakan Autodesk Fusion 360 dan diproduksi dengan teknologi *Fused Deposition Modeling* (FDM) berbahan PLA mampu melindungi komponen elektronik serta mendukung proses instalasi perangkat.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh komponen perangkat keras berfungsi sesuai dengan rancangan. Sensor mampu membaca parameter kualitas air, sedangkan ESP32 berhasil memproses dan mengirimkan data melalui jaringan Wi-Fi untuk mendukung pemantauan secara *real-time*. Dengan demikian, perangkat keras yang dikembangkan telah memenuhi tujuan penelitian sebagai sistem monitoring kualitas air yang ringkas, terintegrasi, dan mendukung implementasi teknologi IoT. Penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada pengembangan *enclosure* yang lebih tahan terhadap lingkungan luar serta optimalisasi desain PCB untuk meningkatkan keandalan dan fleksibilitas sistem.



GAMBAR 9
Output Pembacaan Sensor

REFERENSI

[1] R. S. Ayers and D. W. Westcot, *Water Quality for Agriculture*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization (FAO), 1985.

[2] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015.

[3] A. Khanna and S. Kaur, "Internet of Things (IoT), applications and challenges: A comprehensive review," *Wireless Personal Communications*, vol. 114, no. 2, pp. 1687–1762, 2020.

[4] T. D. Ngo, A. Kashani, G. Imbalzano, K. T. Q. Nguyen, and D. Hui, "Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges," *Composites Part B: Engineering*, vol.

143, pp. 172–196, 2018.
[5] A. R. Torrado Perez, D. A. Roberson, and R. B. Wicker, "Fracture surface analysis of 3D-printed tensile specimens of novel ABS-based materials," *Journal of Failure Analysis and Prevention*, vol. 14, no. 3, pp. 343–353, 2014.
[6] Espressif Systems, *ESP32 Series Datasheet*, Espressif Systems, Shanghai, China, 2023.
[7] EasyEDA, *EasyEDA Documentation*. [Online]. Available: https://easyeda.com. [Accessed: Jul. 18, 2026].
[8] Autodesk, *Fusion 360 Documentation*. [Online]. Available: https://help.autodesk.com. [Accessed: Jul. 18, 2026].