

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Anggur (*Vitis vinifera*)

2.1.1 Sejarah Tanaman Anggur

Tanaman anggur (*Vitis vinifera*) merupakan salah satu tanaman hortikultura yang memiliki nilai ekonomi sangat tinggi dan telah dibudidayakan selama ribuan tahun oleh peradaban manusia. Berdasarkan kajian arkeologi dan analisis genetika mutakhir, domestikasi tanaman anggur bermula dari kawasan Levant (Asia Barat Daya) dan Kaukasus. Artefak paling tua berupa biji dan arang tanaman anggur ditemukan di situs Tell Brak dengan rentang waktu antara 4000 hingga 3600 sebelum masehi (Deckers et al., 2024). Tanaman anggur kemudian menyebar ke seluruh kawasan Mediterania, Eropa, dan akhirnya ke berbagai belahan dunia termasuk Asia Tenggara dan Indonesia, seiring dengan perkembangan jalur perdagangan dan kolonisasi.

Di Indonesia, budidaya tanaman anggur berkembang secara signifikan di beberapa daerah seperti Bali, Jawa Timur, dan Nusa Tenggara Timur. Kondisi iklim tropis Indonesia dengan intensitas cahaya matahari yang tinggi sepanjang tahun memberikan keuntungan tersendiri bagi produktivitas tanaman anggur, meskipun diperlukan manajemen nutrisi dan air yang cermat untuk mengoptimalkan kualitas hasil panen. Varietas anggur yang umum dibudidayakan di Indonesia antara lain Prabu Bestari, Cardinal, dan Black Prince yang telah beradaptasi dengan kondisi iklim lokal.

2.1.2 Kebutuhan Nutrisi Tanaman Anggur Pada Fase Benih

Pada fase pembibitan, tanaman anggur memerlukan ketersediaan unsur hara yang cukup dan seimbang untuk mendukung pembentukan sistem perakaran, pertumbuhan tunas, serta perkembangan daun muda. Unsur nitrogen berperan dalam pembentukan jaringan vegetatif, fosfor berfungsi dalam pertumbuhan akar, sedangkan kalium berperan dalam proses metabolisme dan pengaturan keseimbangan air. Selain itu, unsur kalsium, magnesium, dan boron juga diperlukan untuk mendukung pembelahan sel, pembentukan klorofil, serta pertumbuhan jaringan tanaman secara optimal (Widowati et al., 2025).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pada fase benih tanaman anggur, kondisi larutan nutrisi yang optimal mensyaratkan nilai pH dalam rentang 5,5 hingga 6,5. Nilai pH ini merupakan kondisi optimal yang memungkinkan penyerapan unsur hara secara maksimal oleh akar tanaman. Apabila nilai pH berada di luar rentang tersebut, ketersediaan unsur hara tertentu akan terganggu sehingga menghambat pertumbuhan tanaman secara signifikan.

Adapun konsentrasi larutan nutrisi yang dinyatakan dalam satuan *Total Dissolved Solids* (TDS) atau *Parts Per Million* (PPM) pada fase benih tanaman anggur berada dalam rentang 800 hingga 1.200 mg/L. Nilai TDS yang terlalu rendah menyebabkan defisiensi nutrisi, sedangkan nilai TDS yang terlalu tinggi dapat menyebabkan toksisitas dan kerusakan osmotik pada sistem perakaran.

2.2 Nutrisi Utama Pada Sistem Pencampuran Nutrisi Anggur

2.2.1 Boron

Boron (B) merupakan unsur hara mikro esensial yang berperan dalam pembentukan dinding sel, pembelahan sel, transportasi hasil fotosintesis, serta perkembangan jaringan meristem tanaman. Kekurangan boron dapat menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tunas, akar, dan organ reproduktif tanaman (Alpandari et al., 2025).

Pada tanaman anggur, kebutuhan boron sangat kritis pada fase pembungaan dan pembentukan buah. Kekurangan boron (defisiensi boron) menyebabkan gangguan serius pada pertumbuhan pucuk dan akar, kegagalan penyerbukan, serta penurunan kualitas buah secara signifikan. Gejala klinis defisiensi boron pada tanaman anggur ditandai dengan nekrosis (kematian jaringan) pada daun muda, pertumbuhan tunas yang terhenti, serta kerontokan bunga sebelum penyerbukan berlangsung. Dalam larutan nutrisi untuk sistem fertigasi, boron umumnya ditambahkan dalam bentuk asam borat (H_3BO_3) atau boraks ($Na_2B_4O_7$) dengan konsentrasi yang disesuaikan dengan fase pertumbuhan tanaman.

2.2.1 Kalsium Nitrat

Menurut Ardiansyah (2025), Kalsium Nitrat ($Ca(NO_3)_2$) merupakan pupuk anorganik yang mengandung dua unsur hara esensial sekaligus, yaitu kalsium (Ca) dan nitrogen (N) dalam bentuk nitrat (NO_3^-). Senyawa ini memiliki karakteristik



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

mudah larut dalam air sehingga sangat efisien digunakan dalam sistem fertisasi dan hidroponik. Ketika dilarutkan, kalsium nitrat menghasilkan larutan dengan nilai pH yang cenderung netral sehingga tidak menyebabkan peningkatan keasaman larutan nutrisi secara signifikan.

Nitrogen dalam bentuk nitrat pada kalsium nitrat diserap lebih cepat oleh tanaman dibandingkan nitrogen dalam bentuk amonium, karena tidak memerlukan proses nitrifikasi terlebih dahulu di dalam media tanam. Unsur kalsium yang terkandung di dalamnya berperan penting dalam pembentukan dinding sel yang kuat, memperkuat jaringan tanaman, serta meningkatkan ketahanan terhadap serangan penyakit dan gangguan fisiologis. Kalsium berperan dalam pembentukan dan penguatan dinding sel, menjaga stabilitas membran sel, serta mendukung pertumbuhan jaringan muda tanaman. Ketersediaan kalsium yang cukup dapat meningkatkan kualitas pertumbuhan vegetatif dan ketahanan tanaman terhadap gangguan fisiologis (Rahhutami et al., 2023). Pada tanaman anggur, kekurangan kalsium mengakibatkan gangguan fisiologis seperti pembusukan ujung akar dan kelemahan struktural jaringan buah yang secara langsung menurunkan kualitas hasil panen.

Dalam konteks sistem pencampuran nutrisi otomatis yang dikembangkan pada penelitian ini, kalsium nitrat merupakan salah satu dari tiga komponen nutrisi utama yang dicampurkan ke dalam tangki larutan nutrisi melalui kontrol *solenoid valve* secara otomatis. Konsentrasi kalsium nitrat dalam larutan nutrisi dipantau secara tidak langsung melalui nilai TDS yang terukur oleh sensor, mengingat setiap penambahan kalsium nitrat akan meningkatkan nilai TDS larutan secara proporsional.

2.2.3 Magnesium

Magnesium (Mg) merupakan unsur hara makro sekunder yang berperan sebagai atom pusat molekul klorofil dan berfungsi dalam proses fotosintesis, aktivasi enzim, serta metabolisme energi tanaman. Kekurangan magnesium dapat menyebabkan penurunan pembentukan klorofil dan menghambat pertumbuhan tanaman (Novita et al., 2022). Secara biokimia, magnesium merupakan atom pusat dalam molekul klorofil sehingga keberadaannya sangat menentukan efektivitas proses fotosintesis. Magnesium juga berperan sebagai kofaktor pada lebih dari 300



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

reaksi enzimatik dalam tanaman, termasuk reaksi-reaksi yang terlibat dalam sintesis karbohidrat, lemak, dan protein. Selain itu, magnesium berfungsi sebagai sistem transportasi fosfat di dalam tanaman, yang sangat penting untuk transfer energi dalam bentuk adenosin trifosfat (ATP).

Dalam larutan nutrisi untuk fertigasi tanaman anggur, magnesium umumnya ditambahkan dalam bentuk magnesium sulfat ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) atau magnesium nitrat ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$). Defisiensi magnesium pada tanaman anggur ditandai dengan gejala *klorosis interveinal* (menguningnya jaringan daun di antara tulang daun) yang dimulai dari daun-daun tua dan secara bertahap menyebar ke daun-daun yang lebih muda. Kondisi ini terjadi karena magnesium merupakan unsur yang bersifat mobil dalam floem sehingga dapat ditranslokasi dari daun tua menuju jaringan yang lebih muda ketika terjadi kekurangan. Dampak defisiensi magnesium pada produksi anggur meliputi penurunan bobot buah, penurunan kandungan gula buah, serta penurunan kualitas warna dan kenampakan buah secara keseluruhan.

2.3 Sistem Otomatis Berbasis IoT

Sistem otomatis dalam konteks pertanian presisi merupakan suatu sistem terpadu yang mampu melaksanakan fungsi monitoring, pengambilan keputusan, dan pengendalian aktuator secara mandiri tanpa memerlukan intervensi operator secara berkelanjutan. Sistem fertigasi otomatis berbasis IoT (*Internet of Things*) telah terbukti mampu meningkatkan presisi pemberian nutrisi dan mengurangi ketergantungan pada tenaga manual secara signifikan (Idris et al., 2024). Komponen utama dalam sistem otomatis fertigasi meliputi mikrokontroler sebagai pusat kendali, sensor sebagai perangkat akuisisi data, aktuator sebagai perangkat eksekusi, dan platform komunikasi data sebagai sarana transmisi informasi.

Sistem Otomatis Pencampuran Nutrisi pada penelitian ini dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor pH, sensor TDS, dan sensor kekeruhan, serta dikendalikan melalui *solenoid valve* dan motor



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

pompa. Sistem ini mampu menjaga parameter larutan nutrisi dalam rentang yang optimal secara otomatis berdasarkan pembacaan sensor yang kontinu.

2.3.1 Waktu Operasi Pompa dan Kualitas Larutan Nutrisi

Waktu operasi pompa merupakan salah satu parameter kritis dalam sistem fertigasi otomatis yang secara langsung mempengaruhi kualitas larutan nutrisi yang dihasilkan. Ketika pompa beroperasi, larutan nutrisi dari tangki konsentrat dialirkan ke tangki pencampuran melalui *solenoid valve* yang terbuka, sehingga terjadi proses pencampuran yang mengubah nilai pH dan konsentrasi TDS larutan secara bertahap. Proses pencampuran ini bersifat dinamis dan dipengaruhi oleh laju aliran pompa, volume tangki, serta konsentrasi awal masing-masing komponen nutrisi.

Monitoring nilai pH dan TDS secara simultan terhadap waktu menggunakan sensor yang terintegrasi dengan ESP32 memungkinkan karakterisasi profil pencampuran nutrisi yang akurat. Peningkatan TDS yang terjadi secara linear selama periode operasi pompa mencerminkan kondisi normal proses pencampuran nutrisi yang berlangsung di dalam tangki. Integrasi sensor pH dan TDS pada sistem monitoring nutrisi berbasis mikrokontroler memungkinkan pengukuran kualitas larutan dilakukan secara *real-time* sehingga parameter nutrisi dapat dipantau secara berkelanjutan dan lebih akurat (Syahfiqri et al., 2023).

2.4 Mikrokontroler ESP32 30 Pin

ESP32 merupakan mikrokontroler generasi lanjutan yang dikembangkan oleh *Espressif Systems* sebagai penerus dari ESP8266. Mikrokontroler ini memiliki arsitektur prosesor *dual-core* Xtensa LX6 yang berjalan pada frekuensi hingga 240 MHz, serta dilengkapi dengan modul WiFi dan *Bluetooth* 4.0 yang terintegrasi langsung dalam chip prosesor, sehingga sangat mendukung pengembangan aplikasi IoT (Hurairah, M., Pratama, A.E., 2024). Memori ESP32 terdiri dari 448 kB ROM, 520 kB SRAM, dua buah 8 kB RTC *memory*, dan *flash memory* eksternal 4 MB.

Chip ini memiliki 18 pin ADC (12-bit), empat unit SPI, dan dua unit I2C yang memungkinkan konektivitas dengan berbagai jenis sensor dan perangkat perifer. Varian ESP32 DevKit-V1 DOIT 30 Pin yang digunakan dalam penelitian ini memiliki total 30 pin *input/output* digital yang terdistribusi dalam konfigurasi *dual inline package*. Kelebihan utama mikrokontroler ini adalah harganya yang relatif

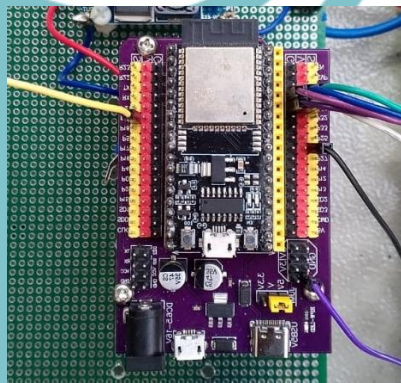


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

terjangkau, kemudahan pemrograman menggunakan Arduino IDE maupun *framework* ESP-IDF, serta jumlah pin I/O yang memadai untuk mengoperasikan berbagai sensor dan aktuator secara simultan. Konsumsi daya yang rendah dengan teknologi TSMC *ultra-low-power* 40 nm menjadikan ESP32 sebagai pilihan yang sangat sesuai untuk aplikasi pemantauan dan pengendalian jangka panjang pada sistem fertisasi otomatis.

Pada sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini, modul sensor pH dan sensor *turbidity* dihubungkan ke pin *analog input* ESP32. ESP32 berperan sebagai pusat pengolahan data yang menerima sinyal dari semua sensor, menjalankan algoritma kontrol untuk mengaktifkan pompa dan *solenoid valve* melalui modul relay, serta mengirimkan data ke *Google Sheets* melalui koneksi WiFi dan menampilkannya pada LCD TFT Nexion melalui komunikasi serial. Gambar ESP32 30 Pin dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 ESP32 30 Pin

2.5 Sensor Gravity pH Meter V2.0 DFRobot

Sensor *Gravity Analog pH Meter V2.0* yang diproduksi oleh DFRobot merupakan sensor pH analog generasi terbaru yang dirancang khusus untuk mengukur keasaman atau kebasaan larutan dalam berbagai aplikasi termasuk akuaponik, akuakultur, dan pengujian kualitas air lingkungan. Sensor pH tipe *Gravity* banyak digunakan pada sistem monitoring kualitas air berbasis mikrokontroler karena memiliki sensitivitas yang baik, mudah dikalibrasi, serta mampu menghasilkan pembacaan pH secara kontinu dan real-time (Kusumaningtyas, et al 2024). Chip regulator tegangan yang terintegrasi pada board sensor



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

mendukung catu daya lebar 3,3 V hingga 5,5 V, sehingga kompatibel dengan berbagai *platform* mikrokontroler termasuk Arduino dan ESP32.

Sensor pH yang digunakan adalah *Gravity Analog pH Meter V2.0* tipe industrial seperti pada Gambar 2.2 yang dilengkapi dengan *Gravity* konektor dan BNC konektor serta memiliki rentang pengukuran 0.00-14.00 pH. Sensor ini dihubungkan dengan modul sinyal pH *Conversion Board V2* DFRobot dengan tegangan 3.3~5.5V dengan rentang pengukuran pH 0.00-14.00 dan *outputnya* adalah pin analog.



Gambar 2.2 Modul Sensor pH

2.6 Sensor TDS Sunho-230 Monitor

Sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) tipe Sunho-230 merupakan sensor panel monitor tipe *reverse osmosis* yang digunakan untuk mengukur konsentrasi total zat-zat terlarut dalam larutan nutrisi. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip konduktivitas elektrik, di mana konsentrasi ion-ion terlarut dalam larutan berbanding lurus dengan konduktivitas listrik yang terukur antara dua elektroda sensor. Nilai konduktivitas kemudian dikonversi menjadi nilai TDS dalam satuan *mg/L* atau ppm melalui faktor konversi yang telah dikalibrasi pada pabrik.

Sistem monitoring kualitas air berbasis IoT dengan sensor TDS dan ESP32 mampu menampilkan data secara *real-time* dengan tingkat kesalahan pengukuran TDS sebesar 3,11% (Syahfiqri et al., 2023). Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip pengukuran konduktivitas listrik larutan. Padatan terlarut dalam air akan meningkatkan konduktivitas listrik. Tingkat konduktivitas meningkat seiring dengan jumlah padatan yang terlarut didalam air. Pengukuran TDS dilakukan berdasarkan nilai konduktivitas listrik larutan. Semakin tinggi konsentrasi ion terlarut, semakin tinggi pula konduktivitas yang terukur dan selanjutnya dikonversi



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

menjadi nilai TDS dalam satuan ppm (Syahfiqri et al., 2023). Sensor TDS Sunho-230 Monitor dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Sensor TDS

2.7 Sensor *Turbidity*

Pada penelitian ini, sensor kekeruhan (*turbidity sensor*) yang digunakan adalah DFRobot SEN0189, sensor *turbidity* DFRobot SEN0189 merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan suatu cairan berdasarkan jumlah partikel tersuspensi yang terdapat di dalamnya. Sensor ini bekerja menggunakan metode optik, yaitu dengan memancarkan cahaya inframerah melalui larutan dan mengukur intensitas cahaya yang diterima oleh fototransistor pada sisi penerima. Semakin tinggi konsentrasi partikel tersuspensi di dalam cairan, semakin besar hamburan cahaya yang terjadi sehingga intensitas cahaya yang diterima sensor akan semakin kecil.

Tingkat kekeruhan umumnya dinyatakan dalam satuan *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU). Nilai NTU yang tinggi menunjukkan bahwa larutan mengandung lebih banyak partikel tersuspensi, sedangkan nilai NTU yang rendah menunjukkan kondisi larutan yang lebih jernih. Pada sistem monitoring kualitas air dan larutan nutrisi, parameter kekeruhan dapat digunakan sebagai indikator kualitas fisik larutan serta sebagai informasi tambahan untuk mendeteksi adanya endapan atau pencampuran yang belum homogen (Delwizar et al., 2021).

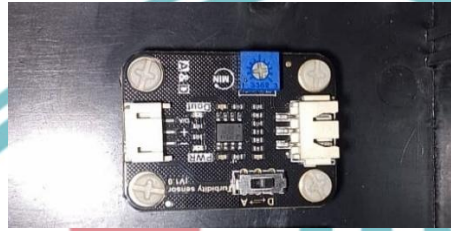
Sensor DFRobot SEN0189 memiliki keluaran berupa sinyal analog yang dapat langsung dihubungkan ke pin *Analog to Digital Converter* (ADC) pada mikrokontroler ESP32. Tegangan keluaran sensor akan berubah sesuai dengan tingkat kekeruhan cairan yang terukur. Nilai tegangan tersebut kemudian dikonversi oleh mikrokontroler menjadi nilai NTU menggunakan persamaan kalibrasi yang telah ditentukan.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

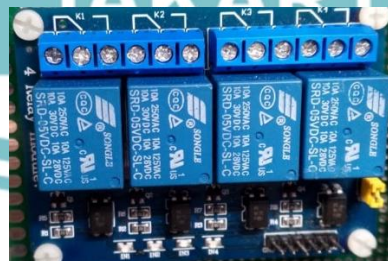
Pada penelitian ini, sensor DFRobot SEN0189 digunakan untuk memantau kondisi fisik larutan nutrisi selama proses pencampuran. Penggunaan sensor kekeruhan bertujuan untuk memastikan bahwa larutan nutrisi yang dihasilkan memiliki tingkat homogenitas yang baik serta tidak mengandung partikel yang dapat mengganggu proses distribusi nutrisi pada tanaman anggur. Sensor *turbidity* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Modul Sensor *Turbidity*

2.8 Modul Relay 4 Channel

Modul relay 4 channel merupakan perangkat elektromekanik yang berfungsi sebagai sakelar elektronik untuk menghubungkan atau memutuskan beban listrik menggunakan sinyal kontrol dari mikrokontroler. Modul ini terdiri atas empat buah relay yang dapat dikendalikan secara independen sehingga memungkinkan pengoperasian beberapa perangkat keluaran secara bersamaan dalam satu sistem kontrol. Relay banyak digunakan pada sistem otomasi untuk mengendalikan beban seperti motor pompa, *solenoid valve*, dan peralatan listrik lainnya (Samsudin et al., 2025). Gambar modul relay 4 Channel ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Modul Relay 4 Channel

Pada penelitian ini, modul relay 4 channel digunakan sebagai antarmuka antara ESP32 dan aktuator, seperti motor pompa dan *solenoid valve*. Penggunaan relay memungkinkan mikrokontroler mengendalikan beban listrik secara otomatis sesuai dengan logika program yang telah dirancang.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.9 Sensor Pelampung

Sensor pelampung (*float switch*) merupakan sensor level cairan yang bekerja berdasarkan perubahan posisi pelampung akibat perubahan ketinggian permukaan cairan. Sensor pelampung banyak digunakan pada sistem kontrol level cairan karena mampu mendeteksi kondisi batas minimum dan maksimum secara sederhana serta memiliki tingkat keandalan yang baik pada aplikasi tangki penyimpanan air (Ardiansyah et al., 2021).

Prinsip kerja sensor pelampung didasarkan pada mekanisme sakelar yang diaktifkan oleh gerakan pelampung. Ketika permukaan cairan naik hingga mencapai batas tertentu, pelampung akan bergerak mengikuti permukaan cairan dan mengubah kondisi kontak sakelar dari terbuka menjadi tertutup atau sebaliknya. Perubahan kondisi kontak tersebut selanjutnya digunakan sebagai sinyal masukan bagi sistem kontrol.

Pada penelitian ini, sensor pelampung digunakan untuk mengontrol ketersediaan air bersih pada toren pencampuran nutrisi. Ketika volume air pada toren telah mencapai kapasitas yang ditentukan, yaitu sekitar 35 liter, sensor pelampung akan memberikan sinyal kepada sistem untuk menghentikan operasi motor pompa sehingga proses pengisian air berhenti. Sebaliknya, ketika volume air dalam toren berkurang hingga mencapai batas minimum, sensor pelampung akan memberikan sinyal untuk mengaktifkan motor pompa sehingga air kembali dialirkan ke toren pencampuran. Penggunaan sensor pelampung memungkinkan proses pengisian air berlangsung secara otomatis tanpa memerlukan pengawasan operator secara terus-menerus. Gambar sensor pelampung dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Sensor Pelampung



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.10 Motor Pompa

Motor pompa merupakan perangkat elektromekanik yang berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk menghasilkan aliran fluida. Motor pompa digunakan untuk memindahkan dan mensirkulasikan fluida dalam suatu sistem sehingga distribusi cairan dapat berlangsung secara kontinu sesuai kebutuhan proses (Kusmianto et al., 2025).

Dalam penelitian ini, motor pompa memiliki dua fungsi utama. Fungsi pertama adalah mengalirkan air bersih menuju toren pencampuran nutrisi ketika volume air berada di bawah batas minimum yang ditentukan. Fungsi kedua adalah melakukan proses resirkulasi larutan nutrisi di dalam toren pencampuran agar seluruh unsur hara yang ditambahkan dapat tercampur secara homogen. Proses resirkulasi larutan nutrisi sangat berpengaruh terhadap kualitas larutan yang dihasilkan. Semakin baik proses pencampuran yang terjadi, maka distribusi unsur hara dalam larutan akan semakin merata sehingga nilai pH dan TDS cenderung lebih stabil. Gambar motor pompa ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Motor Pompa

Berdasarkan prinsip kerjanya, pompa dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama, yaitu pompa perpindahan positif (*positive displacement pump*) dan pompa dinamis (*dynamic pump*). Pompa perpindahan positif bekerja dengan memindahkan sejumlah volume fluida pada setiap siklus kerja, sedangkan pompa dinamis bekerja dengan memberikan energi kinetik kepada fluida menggunakan impeller yang berputar.

2.11 Power Meter

Power meter digunakan untuk memantau parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, energi listrik, dan faktor daya secara *real-time* sehingga



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

kondisi konsumsi energi suatu sistem dapat dianalisis dengan lebih akurat (Muslihi, 2025).

Pada penelitian ini digunakan *power meter AX9L-x Smart Energy* produksi Renatta. Perangkat ini digunakan untuk memonitor konsumsi energi listrik pada sistem secara *real-time*. Data hasil pengukuran digunakan untuk mengetahui karakteristik kelistrikan dari semua beban. Gambar power meter dapat dilihat pada Gambar 2.8.

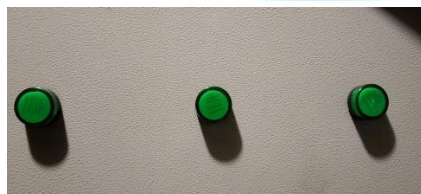


Gambar 2.8 Power Meter

2.12 Pilot Lamp

Pilot lamp merupakan indikator visual yang digunakan untuk menunjukkan kondisi operasi suatu sistem kontrol sehingga memudahkan operator dalam melakukan pemantauan status peralatan listrik (Felycia et al., 2022). *Pilot lamp* bekerja dengan mengubah energi listrik menjadi cahaya ketika diberikan tegangan. Warna lampu yang digunakan umumnya memiliki fungsi tertentu, seperti warna merah untuk kondisi gangguan, warna hijau untuk kondisi sistem aktif, dan warna kuning untuk kondisi siaga atau proses berlangsung.

Pada penelitian ini, *pilot lamp* dipasang pada pintu panel sebagai indikator kondisi operasi sistem. Penggunaan *pilot lamp* bertujuan untuk mempermudah proses monitoring kondisi sistem secara visual dan meningkatkan keselamatan pengguna. Gambar *pilot lamp* dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Pilot Lamp



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.13 *Miniature Circuit Breaker (MCB)*

MCB merupakan perangkat proteksi yang berfungsi memutus aliran listrik secara otomatis ketika terjadi beban lebih atau hubung singkat sehingga dapat melindungi peralatan listrik dari kerusakan (Ath-Thaariq et al., 2025). *MCB* bekerja berdasarkan prinsip termal dan elektromagnetik. Mekanisme termal digunakan untuk mendeteksi kondisi beban lebih yang berlangsung dalam jangka waktu tertentu, sedangkan mekanisme elektromagnetik digunakan untuk mendeteksi arus hubung singkat yang terjadi secara tiba-tiba.

Pada penelitian ini, *MCB* digunakan sebagai perangkat proteksi utama yang melindungi seluruh komponen panel dari kerusakan akibat gangguan kelistrikan. Dengan adanya *MCB*, risiko kerusakan peralatan dan bahaya kebakaran akibat gangguan arus listrik dapat diminimalkan. Gambar *MCB* dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 *Miniature Circuit Breaker*

2.14 *Fuse*

Fuse atau sekering merupakan komponen proteksi yang bekerja dengan memutus rangkaian listrik ketika arus yang mengalir melebihi nilai nominalnya sehingga kerusakan pada peralatan dapat diminimalkan (Kiswantono, 2025). *Fuse* bekerja menggunakan elemen logam yang memiliki titik leleh tertentu. Ketika arus yang mengalir melebihi nilai nominal *fuse*, elemen tersebut akan meleleh sehingga rangkaian listrik terputus dan peralatan terlindungi dari kerusakan.

Pada penelitian ini, *fuse* digunakan sebagai proteksi tambahan pada beberapa rangkaian kontrol dan rangkaian daya di dalam panel. Penggunaan *fuse* bertujuan untuk meningkatkan keandalan sistem serta memberikan perlindungan terhadap



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

komponen elektronik yang sensitif terhadap lonjakan arus listrik. Gambar *fuse* ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Fuse

2.15 LCD TFT Nextion 7 Inchi

LCD TFT Nextion merupakan *Human Machine Interface* (HMI) yang digunakan untuk menampilkan informasi sistem secara lokal. Modul ini memiliki prosesor internal sehingga sebagian besar proses tampilan dapat dilakukan secara mandiri tanpa membebani mikrokontroler utama (Hurairah, M., Pratama, A.E., 2024). Komunikasi antara LCD Nextion dan ESP32 dilakukan menggunakan komunikasi serial UART. Data yang diterima dari ESP32 kemudian ditampilkan dalam bentuk angka, indikator status, maupun grafik yang memudahkan pengguna dalam memantau kondisi sistem secara langsung. Gambar LCD TFT Nextion 7 Inchi dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 LCD TFT Nextion 7 Inchi

2.16 Google Sheets

Google Sheets merupakan layanan *spreadsheet* berbasis *cloud* yang dapat digunakan sebagai media penyimpanan data hasil monitoring secara *real-time*. Data yang dikirimkan oleh ESP32 melalui jaringan internet dapat disimpan secara otomatis dan diakses dari berbagai perangkat yang terhubung ke internet (Pardani et al., 2026). Penggunaan *Google Sheets* memberikan kemudahan dalam proses



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

pencatatan, pengolahan, visualisasi, dan analisis data tanpa memerlukan server khusus. Tampilan dari *google sheets* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.13.

	A	B	C	D	E	F	G
236	7/7/2026 14:42:4	14:42:47	6.4	20.6	NUTRIENT_FILL		
237	7/7/2026 14:43:4	14:43:49	6.35	27	WAIT_SETTLE		
238	7/7/2026 14:44:4	14:44:52	6.34	24	RECIRCULATION		
239	7/7/2026 14:45:4	14:45:51	6.33	27.1	MONITORING		
240	7/7/2026 14:46:4	14:46:53	6.34	27	MONITORING		
241	7/7/2026 14:47:4	14:47:57	6.37	27	MONITORING		
242	7/7/2026 14:48:4	14:48:57	6.38	26.6	MONITORING		
243	7/7/2026 14:49:4	14:49:56	6.37	26.9	MONITORING		
244	7/7/2026 14:50:4	14:50:57	6.36	26.9	MONITORING		
245							
246							
247							
248							

Gambar 2.13 Google Sheets Sebagai Database

2.17 Solenoid Valve 2 Way Normally Closed (NC)

Solenoid valve tipe *Normally Closed* (NC) berada pada kondisi tertutup ketika tidak memperoleh suplai tegangan listrik. Katup akan terbuka ketika kumparan solenoid diberi arus listrik sehingga memungkinkan fluida mengalir melalui saluran yang dikendalikan (Arifin et al., 2024). Ketika kumparan *solenoid* diberi tegangan, medan magnet yang dihasilkan akan menarik plunger sehingga jalur aliran terbuka.

Sebaliknya, ketika tegangan dihentikan, pegas pengembali akan mengembalikan *plunger* ke posisi awal sehingga katup kembali menutup. Pada penelitian ini, *solenoid valve* digunakan untuk mengatur aliran nutrisi dari masing-masing tangki nutrisi A, B, dan C menuju tangki pencampuran secara otomatis sesuai perintah yang diberikan oleh sistem kontrol. Gambar *solenoid valve* dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Solenoid Valve



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.18 Power Supply Direct Current (DC)

Power supply merupakan perangkat elektronika yang berfungsi untuk mengubah energi listrik dari sumber tegangan masukan menjadi tegangan keluaran yang sesuai dengan kebutuhan peralatan elektronik. Pada sistem otomasi dan kontrol, *power supply* berperan sebagai sumber energi utama yang menjamin seluruh komponen dapat beroperasi secara stabil dan aman (Hurairah, M., Pratama, A.E., 2024).

Dalam penelitian ini digunakan dua jenis catu daya, yaitu *power supply* 24 VDC dan *power supply* 5 VDC. *Power supply* 24 VDC digunakan untuk menyuplai daya pada perangkat yang memerlukan tegangan kerja 24 volt, seperti relay, *solenoid valve*, dan beberapa perangkat kontrol yang terdapat pada panel. Tegangan 24 VDC banyak digunakan pada sistem otomasi industri karena memiliki tingkat keamanan yang lebih baik dibandingkan tegangan AC serta mampu mengurangi risiko gangguan elektromagnetik pada sistem kontrol. Gambar *power supply* ditunjukkan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Power Supply DC

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB III PERANCANGAN DAN REALISASI

3.1 Rancangan Alat

Sistem otomatis pencampuran nutrisi dirancang untuk mengotomatisasi proses pencampuran nutrisi serta melakukan monitoring kualitas larutan nutrisi secara *real-time*. Sistem ini bertujuan untuk menghasilkan larutan nutrisi yang homogen dengan parameter kualitas yang dapat dipantau secara berkelanjutan, sehingga dapat mendukung pertumbuhan bibit tanaman anggur secara optimal. Pada Gambar 3.1 merupakan gambar perancangan sistem perpipaan.



Gambar 3.1 Rancangan Sistem Perpipaan

Komponen utama yang digunakan dalam perancangan sistem ini adalah mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali yang terhubung dengan sensor pH untuk memantau atau mengukur tingkat keasaman larutan nutrisi, sensor *turbidity* untuk memantau tingkat kekeruhan larutan nutrisi. Data yang terbaca oleh sensor akan dikirim secara *real-time* ke LCD HMI dan juga *dashboard website*, serta disimpan secara otomatis pada *Google Sheets*, sehingga memungkinkan untuk memantau sistem dari jarak jauh. Sistem ini diimplementasi dan diuji di Kobong *Farm Nursery Farmers Group*.

3.1.2 Deskripsi Alat

- | | |
|---------------|--|
| Nama Sistem | : Sistem Otomatis Pencampuran Nutrisi Kebun Anggur Berbasis IoT di Kobong <i>Farm Nursery Farmers Group</i> . |
| Fungsi Sistem | : Sistem Otomatis Pencampuran Nutrisi untuk Kebun Anggur dirancang untuk mengotomatisasi proses pencampuran nutrisi serta melakukan monitoring kualitas larutan nutrisi berbasis IoT secara <i>real-time</i> |



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

meliputi pengukuran kadar pH, kadar nutrisi (TDS), dan kekeruhan untuk menghasilkan larutan nutrisi yang homogen.

- Nama Sub Sistem : Analisis Pompa Resirkulasi Terhadap Kualitas Larutan Nutrisi.
- Fungsi Sub Sistem : Untuk mengukur dan menampilkan data pH, kekeruhan secara *real-time* melalui LCD HMI, *dashboard website*, dan *Google Sheets*, serta menampilkan data zat terlarut (TDS) di layar monitor pada panel.

3.1.2 Cara Kerja Alat

Cara kerja sistem diawali dengan penyediaan sumber energi listrik dari jaringan PLN yang kemudian disalurkan ke *power supply*. *Power supply* berfungsi mengonversi tegangan arus bolak-balik (AC) menjadi tegangan arus searah (DC) yang digunakan untuk menyuplai daya ke seluruh komponen sistem, seperti ESP32, sensor, modul relay, motor pompa, dan *solenoid valve*.

Setelah sistem memperoleh catu daya, ESP32 melakukan proses inisialisasi terhadap seluruh perangkat yang terhubung. Selanjutnya, mikrokontroler membaca kondisi sensor pelampung yang terpasang pada tangki pencampuran untuk mengetahui ketinggian air. Apabila level air berada di bawah batas maksimum yang telah ditentukan, ESP32 akan mengaktifkan motor pompa air bersih dan membuka *solenoid valve* air bersih sehingga air dapat dialirkan menuju tangki pencampuran. Proses pengisian berlangsung hingga sensor pelampung mendeteksi bahwa level air telah mencapai batas maksimum. Setelah kondisi tersebut tercapai, motor pompa dan *solenoid valve* air bersih akan dinonaktifkan secara otomatis.

Tahap berikutnya adalah proses penambahan larutan nutrisi. ESP32 mengaktifkan motor pompa nutrisi dan membuka *solenoid valve* NPK, Kalsium Nitrat, serta Magnesium secara bersamaan selama waktu yang telah ditentukan, yaitu satu menit. Larutan nutrisi dari masing-masing tangki kemudian dialirkan menuju tangki pencampuran dan bercampur dengan air bersih yang telah tersedia sebelumnya.

Setelah seluruh larutan nutrisi ditransfer ke dalam tangki pencampuran, sistem memberikan waktu tunda selama 60 detik. Waktu tunda ini bertujuan untuk



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

memastikan seluruh larutan nutrisi yang masih berada di dalam jaringan perpipaan dapat mengalir sepenuhnya ke dalam tangki pencampuran sehingga tidak terjadi kehilangan nutrisi selama proses *transfer*.

Selanjutnya sistem melakukan proses resirkulasi awal dengan mengaktifkan motor pompa nutrisi dan *solenoid valve* resirkulasi selama satu menit. Proses resirkulasi bertujuan untuk meningkatkan homogenitas larutan nutrisi sehingga distribusi unsur hara di dalam tangki pencampuran menjadi lebih merata.

Setelah proses resirkulasi selesai, sistem memasuki tahap monitoring kualitas larutan nutrisi. Pada tahap ini, sensor pH digunakan untuk mengukur tingkat keasaman larutan, sedangkan sensor kekeruhan (*turbidity sensor*) digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan larutan. Data hasil pengukuran diproses oleh ESP32 dan ditampilkan secara *real-time* pada LCD TFT Nextion serta *dashboard website*. Selain itu, data juga dapat disimpan sebagai bahan monitoring dan analisis kinerja sistem.

Untuk menjaga kualitas dan homogenitas larutan nutrisi selama penyimpanan, sistem secara otomatis menjalankan proses resirkulasi berkala pada pukul 06.00 WIB. Pada waktu tersebut, motor pompa dan *solenoid valve* resirkulasi diaktifkan selama dua menit sehingga larutan nutrisi tetap tercampur secara merata dan mengurangi kemungkinan terjadinya pengendapan unsur hara di dalam tangki pencampuran.

Dengan mekanisme kerja tersebut, sistem mampu melakukan proses pengisian air, pencampuran nutrisi, homogenisasi larutan, serta monitoring kualitas larutan nutrisi secara otomatis dan terintegrasi. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan nutrisi serta menghasilkan larutan nutrisi yang lebih konsisten untuk mendukung proses pembibitan tanaman anggur.

3.1.3 Diagram Blok

Diagram blok pada Gambar 3.2 menunjukkan rancangan sistem pencampuran nutrisi otomatis berbasis IoT yang digunakan untuk mengontrol proses pencampuran nutrisi serta melakukan monitoring kualitas larutan nutrisi secara *real-time*. Sistem terdiri atas tiga bagian utama, yaitu bagian masukan (*input*), bagian pengolah data (proses), dan bagian keluaran (*output*).

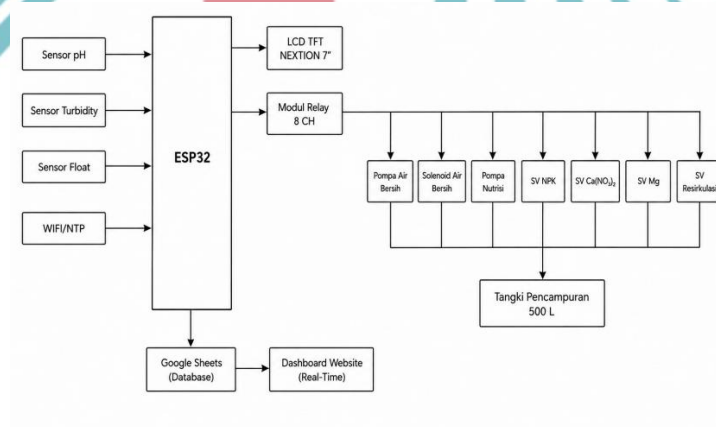


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pada bagian masukan, sistem menerima data dari beberapa perangkat, yaitu sensor pH, sensor *turbidity*, sensor *float*, serta modul WiFi/NTP. Sensor pH berfungsi untuk mengukur tingkat keasaman larutan nutrisi yang berada di dalam tangki pencampuran. Sensor *turbidity* digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan larutan sebagai indikator kondisi fisik larutan nutrisi. Sensor *float* berfungsi untuk mendeteksi ketinggian air pada tangki pencampuran sehingga proses pengisian air dapat dilakukan secara otomatis sesuai kebutuhan sistem. Sementara itu, modul WiFi/NTP digunakan untuk memperoleh informasi waktu melalui jaringan internet yang berfungsi sebagai acuan jadwal pencampuran dan resirkulasi larutan nutrisi.



Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem

Seluruh data dari perangkat masukan diproses oleh mikrokontroler ESP32 yang berperan sebagai pusat kendali sistem. ESP32 bertugas membaca data sensor, melakukan pengolahan data, menjalankan logika kontrol, serta mengirimkan perintah kepada perangkat keluaran sesuai dengan kondisi yang telah diprogram. Pada bagian keluaran, ESP32 terhubung dengan LCD TFT Nexion 7 inci yang digunakan sebagai media monitoring lokal. LCD menampilkan informasi parameter sistem seperti nilai pH, tingkat kekeruhan, status pompa, dan status *solenoid valve* sehingga kondisi sistem dapat dipantau secara langsung oleh pengguna.

Selain itu, ESP32 mengendalikan Modul Relay 8 Channel yang berfungsi sebagai sakelar elektronik untuk mengoperasikan aktuator sistem. Relay digunakan untuk mengontrol pompa air bersih, *solenoid valve* air bersih, pompa nutrisi, *solenoid valve* nutrisi NPK, *solenoid valve* kalsium nitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), *solenoid*



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

valve magnesium (Mg), dan *solenoid valve* resirkulasi. Penggunaan relay memungkinkan mikrokontroler mengendalikan perangkat ber-tegangan dan ber-arus lebih tinggi tanpa terhubung langsung ke rangkaian daya.

Pompa air bersih dan *solenoid valve* air bersih berfungsi untuk mengisi tangki pencampuran dengan air hingga mencapai level yang ditentukan. Selanjutnya pompa nutrisi bersama *solenoid valve* NPK, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, dan Mg digunakan untuk mengalirkan larutan nutrisi dari masing-masing tangki menuju tangki pencampuran. Setelah seluruh nutrisi masuk ke dalam tangki, *solenoid valve* resirkulasi dan pompa nutrisi diaktifkan untuk melakukan proses sirkulasi sehingga larutan nutrisi menjadi lebih homogen.

Tangki pencampuran berkapasitas 500 liter berfungsi sebagai tempat berlangsungnya proses pencampuran antara air dan larutan nutrisi. Di dalam tangki inilah parameter kualitas larutan seperti pH dan kekeruhan dipantau oleh sensor untuk memastikan kualitas larutan sesuai dengan kebutuhan pembibitan tanaman anggur. Untuk kebutuhan monitoring jarak jauh, ESP32 mengirimkan data hasil pengukuran ke *Google Sheets* yang berfungsi sebagai basis data berbasis *cloud*. Data yang tersimpan pada *Google Sheets* kemudian ditampilkan pada *dashboard website* secara *real-time* sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem dari lokasi yang berbeda melalui jaringan internet.

3.1.4 Flowchart Sistem

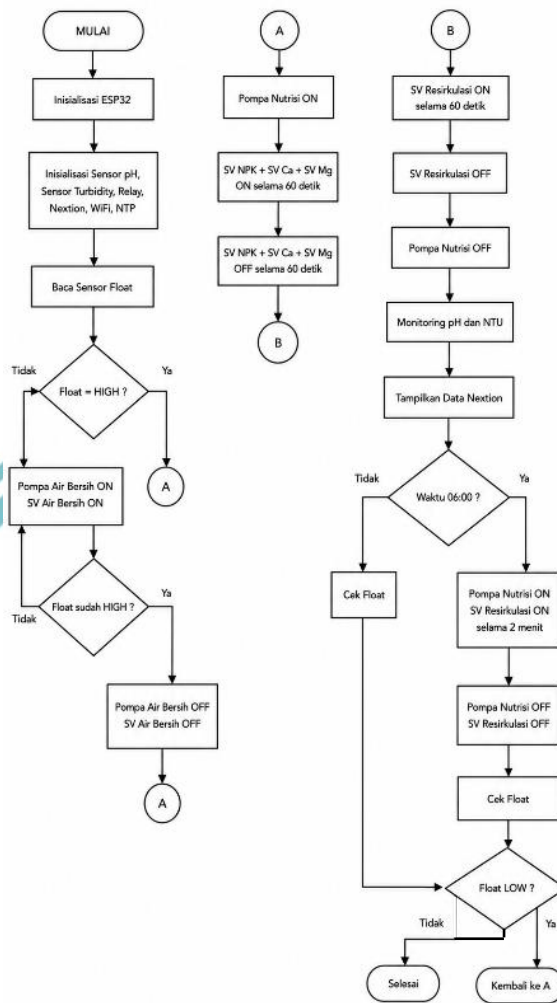
Flowchart pada Gambar 3.3 menunjukkan alur kerja program pada Sistem Pencampuran Nutrisi Otomatis berbasis IoT yang dirancang untuk melakukan proses pengisian air, pencampuran nutrisi, resirkulasi larutan, serta monitoring kualitas larutan nutrisi secara otomatis. *Flowchart* ini disusun untuk menggambarkan urutan operasi sistem mulai dari proses inisialisasi hingga proses monitoring dan pengendalian level larutan dalam tangki pencampuran.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3.3 Flowchart Sistem

Proses diawali dengan inisialisasi ESP32 dan seluruh perangkat yang terhubung, meliputi sensor pH, sensor kekeruhan (*turbidity*), modul relay, LCD TFT Nextion, serta komunikasi WiFi dan *Network Time Protocol* (NTP). Setelah proses inisialisasi selesai, ESP32 melakukan pembacaan kondisi sensor pelampung (*float switch*) yang digunakan untuk mendeteksi level air pada tangki pencampuran. Sistem menggunakan dua kondisi level air, yaitu *Float Low* dan *Float High*. Posisi sensor pelampung level rendah (*Float Low*) dipasang pada ketinggian 10 cm dari dasar tangki pencampuran. Kondisi ini digunakan sebagai batas minimum volume air yang diperbolehkan di dalam tangki. Sementara itu, jarak antara posisi *Float Low* dan *Float High* adalah 60 cm. Dengan demikian, ketika sensor pelampung



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

mencapai kondisi *Float High*, air pada tangki pencampuran telah mencapai level maksimum yang ditentukan dan siap digunakan untuk proses pencampuran nutrisi.

Apabila sensor pelampung belum mencapai kondisi *Float High*, ESP32 akan mengaktifkan pompa air bersih dan membuka *solenoid valve* air bersih sehingga air dialirkan ke dalam tangki pencampuran. Proses pengisian berlangsung hingga sensor pelampung mendeteksi bahwa level air telah mencapai batas maksimum (*Float High*). Setelah kondisi tersebut tercapai, pompa air bersih dan *solenoid valve* air bersih akan dimatikan secara otomatis.

Tahap berikutnya adalah proses pencampuran nutrisi. ESP32 mengaktifkan pompa nutrisi dan membuka *solenoid valve* NPK, Kalsium Nitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), dan Magnesium (Mg) secara bersamaan selama 60 detik. Larutan nutrisi dari masing-masing tangki dialirkan menuju tangki pencampuran sehingga bercampur dengan air bersih yang telah tersedia. Setelah proses transfer nutrisi selesai, seluruh *solenoid valve* nutrisi ditutup selama 60 detik untuk memberikan waktu agar sisa larutan yang masih berada di dalam pipa dapat masuk sepenuhnya ke tangki pencampuran. Selanjutnya sistem melakukan proses resirkulasi dengan membuka *solenoid valve* resirkulasi selama 60 detik. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan homogenitas larutan nutrisi sehingga distribusi unsur hara di dalam tangki menjadi lebih merata. Setelah proses resirkulasi selesai, *solenoid valve* resirkulasi dan pompa nutrisi dinonaktifkan.

Pada tahap monitoring, sensor pH digunakan untuk mengukur tingkat keasaman larutan nutrisi, sedangkan sensor *turbidity* digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan larutan. Data hasil pengukuran ditampilkan pada LCD TFT Nextion dan digunakan sebagai indikator kualitas larutan nutrisi yang dihasilkan.

Selain proses pencampuran utama, sistem juga dilengkapi dengan fungsi resirkulasi berkala yang dijalankan pada pukul 06:00. Pada waktu tersebut, pompa nutrisi dan *solenoid valve* resirkulasi diaktifkan selama 2 menit untuk menjaga homogenitas larutan nutrisi selama penyimpanan. Setelah proses resirkulasi berkala selesai, sistem kembali melakukan pemeriksaan kondisi sensor pelampung. Apabila sensor pelampung mendeteksi kondisi *Float Low*, yang menunjukkan bahwa level air telah turun hingga batas minimum pada ketinggian 10 cm dari dasar tangki, maka sistem akan kembali ke proses pengisian air dan pencampuran nutrisi.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Sebaliknya, apabila kondisi *Float Low* tidak terdeteksi, sistem akan tetap berada pada mode monitoring parameter kualitas larutan nutrisi.

3.1.5 Spesifikasi Alat

Alat sistem otomatis pencampuran nutrisi ini terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu bagian *input*, proses, *output*, aktuator, dan catu daya. Bagian input terdiri dari sensor pH, sensor TDS, dan sensor *turbidity* yang berfungsi membaca kondisi larutan nutrisi. Bagian proses menggunakan ESP32 sebagai pengolah data dari sensor sekaligus pengendali komunikasi dengan HMI dan aktuator. Bagian output menggunakan HMI Nextion 7 Inch *Intelligent Series* NX8048P070 untuk menampilkan data hasil monitoring secara *real-time*.

Bagian aktuator terdiri dari relay 24V, pompa, dan *solenoid valve*. Relay 24V digunakan sebagai saklar elektrik yang dikendalikan oleh ESP32 melalui rangkaian *driver* atau modul relay, sedangkan pompa dan *solenoid valve* digunakan untuk mengatur aliran air dan nutrisi menuju tangki pencampuran. Bagian catu daya menggunakan power supply 5V untuk mensuplai HMI dan beberapa rangkaian kontrol, serta power supply 24V untuk mensuplai relay, pompa, dan *solenoid valve* sesuai kebutuhan sistem. MCB dan *fuse* digunakan sebagai pengaman rangkaian supaya sistem lebih aman saat digunakan. Untuk lebih lengkapnya tentang spesifikasi alat dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi Alat

No.	Komponen	Spesifikasi atau Keterangan	Fungsi dalam Sistem
1	Mikrokontroler ESP32	30 pin input/output digital, SRAM 520 KB, flash eksternal 4 MB, WiFi & Bluetooth	Pusat kendali utama, memproses data sensor, kontrol aktuator, kirim data real-time
2	HMI Nextion 7 Inch	LCD TFT Nextion 7 inchi untuk tampilan lokal pada panel	Menampilkan data sensor pH, TDS, turbidity, dan status sistem



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3	Sensor pH <i>Gravity pH Meter</i> V2.0 DFRobot	Sensor analog untuk mengukur pH larutan nutrisi	Membaca nilai pH larutan nutrisi
4	Sensor TDS Panel RO	TDS monitor panel tipe Reverse Osmosis, mengukur zat terlarut (ppm/mg/L)	Mengukur zat terlarut dalam larutan nutrisi
5	Sensor <i>Turbidity</i> DFRobot	Sensor kekeruhan berbasis intensitas cahaya (NTU)	Mengukur tingkat kekeruhan larutan nutrisi
6	Sensor Pelampung	Sensor untuk mendeteksi jarak/ketinggian cairan	Memantau ketinggian cairan pada tangki
7	<i>Solenoid Valve</i>	Katup otomatis dikendalikan elektrik	Mengatur buka-tutup aliran nutrisi ke tangki pen-campur
8	Motor Pompa	Aktuator pengalir cairan	Mengalirkan larutan nutrisi atau air
9	Modul Relay	Modul pengendali beban listrik	Menghubungkan sinyal kontrol ESP32 ke pompa dan solenoid valve
10	<i>Micro SD Card</i>	Media penyimpanan data lokal (micro SD)	Menyimpan data HMI
11	<i>Google Sheets</i>	Database cloud untuk menyimpan data sensor via WiFi	Menyimpan data hasil monitoring cloud
12	<i>Dashboard Website</i>	Tampilan monitoring real-time berbasis website	Menampilkan data sensor secara real-time dari jarak jauh
13	Panel Kontrol	Panel tempat pemasangan HMI, relay, ESP32, power supply, dan proteksi	Melindungi dan merapikan seluruh perangkat kontrol



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

14	Power Supply 5V	Catu daya 5V DC untuk HMI dan beberapa modul sensor	Menyuplai tegangan rendah ke HMI dan sensor
15	Power Supply 24V	Catu daya 24V DC untuk relay, solenoid valve, dan aktuator 24V	Menyuplai tegangan tinggi ke aktuator 24V dan solenoid
16	MCB	Miniature Circuit Breaker untuk proteksi arus lebih	Proteksi arus lebih jalur utama
17	Fuse	Fuse sebagai pengaman lebur untuk komponen tertentu	Proteksi komponen dari arus berlebih
18	Tangki Pencampur	Tangki utama berukuran lebih besar untuk pencampuran	Tempat pencampuran air dan nutrisi
19	Tangki Nutrisi A, B, dan C	Tiga tangki/ tong nutrisi untuk masing-masing larutan nutrisi	Menampung masing-masing larutan nutrisi
20	Pipa PVC dan Fitting	Pipa PVC dan fitting untuk menyalurkan larutan ke tangki pencampur	Menyalurkan cairan dari tangki nutrisi ke tangki pencampur

3.1.6 Desain Alat

Desain alat dibuat dengan memperhatikan penempatan komponen supaya mudah digunakan, aman, dan mudah dirawat. Pada Gambar 3.4, Tangki pencampur ditempatkan sebagai pusat proses pencampuran larutan nutrisi. Sensor pH, sensor TDS, dan sensor *turbidity* dipasang pada bagian yang memungkinkan sensor



Hak Cipta :

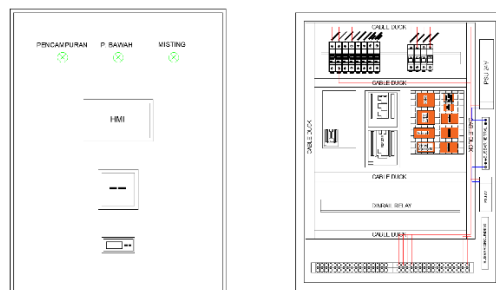
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

bersentuhan langsung dengan larutan agar hasil pembacaan dapat diperoleh dengan baik.



Gambar 3.4 Desain Alat

Pompa dan *solenoid valve* dipasang pada jalur aliran air dan larutan nutrisi menuju tangki pencampur. Jalur keluaran dari tangki pencampuran diarahkan menuju sistem fertigasi atau penampungan larutan nutrisi. Panel kontrol ditempatkan pada posisi yang mudah dijangkau oleh pengguna. Pada bagian depan panel dipasang HMI Nextion sebagai tampilan dan pusat kontrol. Komponen *electrical* seperti ESP32, *power supply*, relay, MCB, *fuse*, dan terminal kabel ditempatkan di dalam panel agar terlindung dari gangguan luar. Untuk *layout* panel dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Layout Panel

3.2 Realisasi Alat

Realisasi alat merupakan tahapan implementasi dari desain sistem otomatis pencampuran nutrisi berbasis IoT untuk kebun anggur yang telah dirancang sebelumnya. Pada tahap ini, seluruh komponen *input*, proses, *output*, aktuator, dan catu daya dirakit serta diintegrasikan menjadi satu sistem yang berfungsi secara menyeluruh.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Proses dimulai dengan penyambungan saluran distribusi nutrisi berupa instalasi pipa dari tangki nutrisi ke tangki pencampuran. Pompa dan *solenoid valve* dipasang pada jalur aliran air dan larutan nutrisi menuju tangki pencampur. Jalur keluaran dari tangki pencampuran diarahkan menuju sistem fertigasi atau penampungan larutan nutrisi. Proses pemasangan pipa dan *solenoid* dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Proses Pemasangan Pipa dan *Solenoid Valve*

Selain itu, dilakukan juga proses persiapan panel kontrol, yaitu pengeboran dan penataan posisi komponen, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7. Pengeboran dan penataan dilakukan berdasarkan rancangan alat yang telah ditentukan.



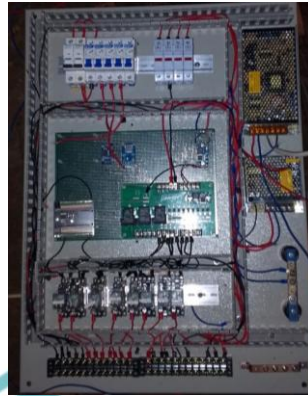
Gambar 3.7 Proses Peletakan Komponen Pada Panel

Setelah seluruh komponen terpasang sesuai dengan rancangan penataan, tahap berikutnya adalah proses *wiring*, yaitu penyambungan kabel antar komponen untuk jalur data dan catu daya seperti pada Gambar 3.8. Penyambungan dilakukan secara teratur dan rapi guna mencegah gangguan sistem serta memudahkan proses perawatan.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3.8 Proses Wiring Kontrol

3.2.1 Hasil Realisasi Alat

Hasil realisasi sistem ditunjukkan pada Gambar 3.9, yang menampilkan perangkat telah terpasang secara menyeluruh di lokasi implementasi, yaitu di area *Kobong Farm Nursery Farmers Group*, Meruyung, Depok. Panel kontrol dipasang didekat pintu masuk Kebun Anggur.



Gambar 3.9 Realisasi Alat

Seluruh komponen mekanik dan perpipaan berhasil diintegrasikan menjadi satu sistem pencampuran nutrisi otomatis yang mampu melakukan proses pengisian air, transfer nutrisi, resirkulasi larutan, serta monitoring kualitas larutan.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Sensor pH dan TDS Pada Posisi *Low*, *Mid*, dan *High*

4.1.1 Deskripsi Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk menganalisis karakteristik perubahan nilai pH dan *Total Dissolved Solids* (TDS) larutan nutrisi terhadap waktu operasi pompa pada Sistem Otomatis Pencampuran Nutrisi Kebun Anggur Berbasis IoT. Fokus pengujian adalah mengamati profil dinamis perubahan kedua parameter kualitas larutan secara simultan selama pompa beroperasi dan proses pencampuran nutrisi berlangsung. Sensor Gravity pH Meter V2.0 DFRobot dan sensor TDS Sunho-230 Monitor digunakan sebagai perangkat akuisisi data. Hasil pengujian ini menjadi acuan dalam menilai kinerja sistem secara keseluruhan, terutama terkait kemampuan sensor dalam merepresentasikan perubahan parameter kualitas larutan nutrisi secara *real-time*. Selain itu, data yang diperoleh juga digunakan untuk menganalisis korelasi antara durasi operasi pompa dengan tingkat homogenitas larutan nutrisi yang dicerminkan oleh perubahan nilai pH dan TDS.

4.1.2 Prosedur Pengujian

Pengujian analisis sensor pH dan TDS terhadap waktu dilakukan pada sistem yang telah terpasang secara lengkap di lokasi implementasi Kobong *Farm Nursery Farmers Group*, dengan seluruh komponen kelistrikan, perangkat kontrol, dan unit monitoring yang terintegrasi serta berfungsi sesuai dengan konfigurasi yang telah dirancang. Pengujian dilaksanakan dengan menempatkan sensor pH dan TDS pada posisi *low*, *mid*, dan *high* di tangki pencampuran dengan interval pencatatan data setiap satu menit dan diulang hingga tiga kali. Sensor pH dan sensor TDS yang terpasang pada tangki pencampuran membaca nilai parameter larutan secara kontinu. Langkah-langkah pengujian analisis sensor pH dan TDS berdasarkan posisi penempatannya adalah sebagai berikut:

- 1) Pastikan seluruh sistem telah terpasang dengan baik dan siap untuk dioperasikan, termasuk ESP32, sensor pH, sensor TDS, *solenoid valve*, dan motor pompa.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- 2) Pastikan tangki pencampuran telah terisi air bersih hingga level yang ditentukan (kondisi *Float High* tercapai).
- 3) Aktifkan sistem sehingga proses pencampuran nutrisi dimulai secara otomatis, yaitu *solenoid valve* NPK, Kalsium Nitrat, dan Magnesium terbuka bersamaan dengan motor pompa selama 60 detik.
- 4) Catat nilai pembacaan sensor pH dan sensor TDS secara bersamaan pada tiap posisi *low*, *mid*, dan *high*.
- 5) Analisis tren perubahan nilai pH dan TDS berdasarkan penempatan sensor pada tiap kondisi serta evaluasi konsistensi pembacaan sensor.

4.1.3 Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian diperoleh dengan mencatat pembacaan sensor pH dan sensor TDS secara bersamaan selama periode pengujian 9 menit dengan interval satu menit pada tiap posisi *low*, *mid*, dan *high*. Pengujian dilakukan dalam kondisi sistem beroperasi penuh, yaitu pompa aktif dan *solenoid valve* membuka aliran larutan nutrisi ke tangki pencampuran pada fase tertentu. Data hasil pengujian selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Pengujian Sensor pH dan TDS Pada Posisi *Low*, *Mid*, dan *High*

Menit ke	Posisi Sensor	Sensor pH	Sensor TDS (mg/L)
1	Low	6,37	131
2	Low	6,37	131
3	Low	6,38	131
4	Mid	6,4	131
5	Mid	6,47	131
6	Mid	6,47	132
7	High	6,48	132
8	High	6,49	132
9	High	6,5	132

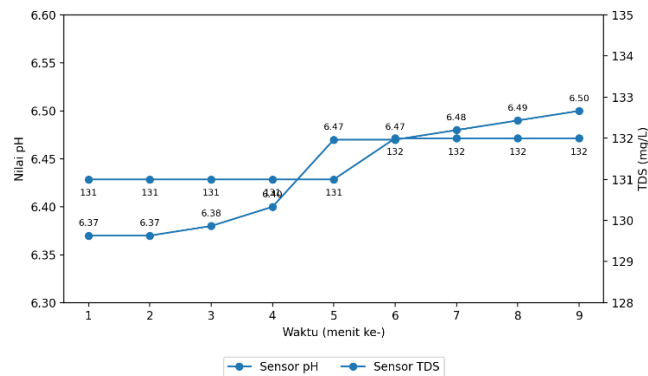
4.1.4 Analisis Data Pengujian

Berdasarkan Gambar 4.1, nilai pH dan TDS menunjukkan perubahan yang relatif kecil pada setiap perpindahan posisi sensor dari *Low*, *Mid*, hingga *High*. Perubahan tersebut menggambarkan kondisi larutan nutrisi di dalam tangki pencampuran yang semakin merata setelah proses sirkulasi berlangsung.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.1 Grafik Pengujian Sensor pH dan TDS Pada Posisi *Low*, *Mid*, dan *High*

Pada posisi *Low*, yang merupakan bagian bawah tangki, nilai pH yang diperoleh pada menit ke-1 hingga menit ke-3 berada pada rentang 6,37–6,38 pH. Nilai tersebut menunjukkan kondisi yang sangat stabil dengan selisih hanya 0,01 pH, sehingga dapat dikatakan bahwa larutan pada bagian bawah tangki telah memiliki tingkat pencampuran yang baik. Nilai TDS pada posisi ini juga tidak mengalami perubahan, yaitu tetap berada pada 131 mg/L, yang mengindikasikan konsentrasi zat terlarut masih seragam selama pengukuran dilakukan.

Ketika sensor dipindahkan ke posisi *Mid*, nilai pH mengalami sedikit peningkatan menjadi 6,40–6,47 pH. Kenaikan ini menunjukkan bahwa larutan pada bagian tengah tangki memiliki tingkat keasaman yang sedikit lebih tinggi dibandingkan bagian bawah. Meskipun demikian, perubahan tersebut masih berada pada rentang yang kecil sehingga tidak menunjukkan adanya perbedaan konsentrasi yang signifikan. Pada posisi yang sama, nilai TDS tetap berada pada 131 mg/L hingga menit ke-5 dan meningkat menjadi 132 mg/L pada menit ke-6. Perubahan sebesar 1 mg/L ini masih tergolong sangat kecil dan menunjukkan bahwa distribusi nutrisi di dalam tangki hampir merata.

Selanjutnya, pada posisi *High*, nilai pH kembali mengalami kenaikan secara bertahap hingga mencapai 6,50 pH pada menit ke-9. Jika dibandingkan dengan posisi *Low*, selisih maksimum nilai pH hanya sebesar 0,13, sehingga perbedaan tersebut masih dapat diterima sebagai variasi akibat posisi pengukuran di dalam tangki. Sementara itu, nilai TDS pada posisi *High* tetap konstan pada 132 mg/L,



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

sehingga menunjukkan bahwa konsentrasi zat terlarut di bagian atas tangki hampir sama dengan bagian tengah.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai pH mengalami kecenderungan meningkat secara bertahap dari bagian bawah menuju bagian atas tangki, sedangkan nilai TDS relatif konstan dengan perubahan hanya sebesar 1 mg/L. Perubahan yang relatif kecil tersebut mengindikasikan bahwa proses pencampuran larutan nutrisi telah menghasilkan distribusi yang cukup homogen di seluruh bagian tangki. Selain itu, pembacaan sensor pada setiap posisi juga menunjukkan pola yang konsisten tanpa adanya fluktuasi yang signifikan. Hal ini membuktikan bahwa sensor pH dan sensor TDS memiliki kemampuan pengukuran yang stabil serta mampu memberikan hasil yang *repeatable* pada kondisi pengujian yang sama.

4.2 Pengujian Validasi Sensor Total Dissolved Solids (TDS)

4.2.1 Deskripsi Pengujian

Pengujian validasi sensor TDS dilakukan untuk memastikan bahwa sensor TDS Sunho-230 Monitor yang terintegrasi pada Sistem Otomatis Pencampuran Nutrisi Kebun Anggur Berbasis IoT dapat berfungsi sesuai dengan tujuan perancangan. Fokus pengujian adalah mengevaluasi akurasi dan keandalan sensor TDS dalam memantau kadar zat terlarut pada larutan nutrisi yang digunakan untuk budidaya tanaman anggur. Selain itu, pengujian bertujuan untuk memastikan bahwa sensor mampu beroperasi secara akurat dalam kondisi penggunaan aktual di lapangan. Hasil pengujian validasi ini menjadi acuan dalam menilai kelayakan sensor TDS sebagai komponen monitoring pada sistem fertigasi otomatis, terutama terkait akurasi pembacaan data konsentrasi larutan nutrisi.

4.2.2 Prosedur Pengujian

Pengujian validasi sensor TDS bertujuan untuk mengukur tingkat akurasi sensor dalam membaca konsentrasi zat terlarut pada larutan nutrisi. Pengujian ini dilakukan pada sistem yang telah terpasang secara lengkap, dengan seluruh komponen kelistrikan, perangkat kontrol, dan unit monitoring yang terintegrasi serta berfungsi sesuai dengan konfigurasi yang telah dirancang. Selain menguji akurasi pembacaan, pengujian ini juga menjadi dasar evaluasi performa sensor TDS



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

dalam kondisi kerja sistem yang aktual. Hasil pembacaan sensor kemudian dibandingkan dengan nilai referensi dari TDS meter standar yang telah dikalibrasi, dan selisihnya dihitung sebagai deviasi. Analisis deviasi ini digunakan untuk mengetahui seberapa dekat hasil pembacaan sensor dengan nilai sebenarnya serta mengevaluasi kestabilan sistem. Langkah-langkah pengujian validasi sensor TDS adalah sebagai berikut:

- 1) Pastikan seluruh sistem telah terpasang dengan baik dan siap untuk dioperasikan.
- 2) Siapkan larutan nutrisi dari tangka pencampuran yang akan diuji.
- 3) Siapkan TDS meter standar yang telah dikalibrasi sebagai alat pembanding.
- 4) Masukkan sensor TDS Sunho-230 dan TDS meter standar secara bersamaan ke dalam wadah yang berisi larutan uji pada setiap konsentrasi yang telah ditentukan.
- 5) Catat hasil pembacaan dari sensor TDS Sunho-230 dan TDS meter standar untuk setiap larutan uji. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan untuk setiap kelompok konsentrasi larutan.
- 6) Hitung selisih hasil pembacaan antara sensor TDS Sunho-230 dengan TDS meter standar menggunakan persamaan *error* (%).
- 7) Evaluasi tingkat akurasi sensor berdasarkan hasil deviasi yang diperoleh dan tentukan kelayakan sensor berdasarkan toleransi $\pm 50 \text{ mg/L}$ untuk kebutuhan nutrisi tanaman anggur fase vegetatif.

4.2.3 Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian diperoleh dengan mencelupkan sensor TDS Sunho-230 dan TDS meter standar secara bersamaan ke dalam larutan uji pada tiga kelompok konsentrasi yang berbeda. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan untuk setiap kelompok konsentrasi untuk membandingkan konsistensi dan keakuratan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur standar. Proses ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sensor dalam kondisi penggunaan sebenarnya serta menilai kestabilan dan keandalannya dalam mengukur konsentrasi zat terlarut pada



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

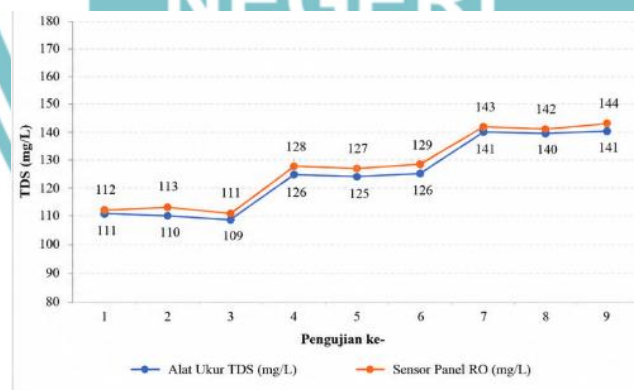
berbagai tingkat konsentrasi. Data hasil pengujian selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Pengujian Validasi Sensor Total Dissolved Solids (TDS)

No.	Larutan Uji	Alat Ukur TDS (mg/L)	Sensor Panel RO (mg/L)	Selisih (mg/L)	Error (%)
1	Larutan A	111	112	1	2,00%
2	Larutan A	110	113	3	1,40%
3	Larutan A	109	111	2	2,40%
4	Larutan B	126	128	2	1,80%
5	Larutan B	125	127	2	1,40%
6	Larutan B	126	129	3	1,50%
7	Larutan C	141	143	2	1,93%
8	Larutan C	140	142	2	1,47%
9	Larutan C	141	144	3	2,07%
Rata-rata				2,22 mg/L	1,77%

4.2.4 Analisis Data Pengujian

Berdasarkan Gambar 4.2 terlihat bahwa nilai pembacaan sensor TDS memiliki pola yang sangat mirip dengan hasil pengukuran alat ukur referensi. Pada seluruh sampel pengujian, nilai TDS yang dibaca sensor selalu berada sangat dekat dengan nilai yang diperoleh dari alat ukur standar. Hal ini menunjukkan bahwa sensor memiliki kemampuan yang baik dalam mengukur konsentrasi zat terlarut pada larutan nutrisi.



Gambar 4.1 Grafik Pengujian Validasi Sensor TDS

Selisih pengukuran yang diperoleh berada pada rentang 1–3 mg/L dengan rata-rata selisih sebesar 2,22 mg/L. Sementara itu, nilai rata-rata error pengukuran hanya sebesar 1,77%. Nilai error yang relatif kecil menunjukkan bahwa sensor TDS



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

yang digunakan memiliki tingkat akurasi yang baik dan layak digunakan sebagai perangkat monitoring konsentrasi nutrisi secara real-time. Selain itu, grafik menunjukkan bahwa ketika konsentrasi larutan meningkat dari sekitar 110 *mg/L* menjadi lebih dari 140 *mg/L*, sensor tetap mampu mengikuti perubahan nilai yang ditunjukkan oleh alat ukur referensi. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa sensor TDS memiliki performa yang stabil dan konsisten pada rentang pengukuran yang digunakan dalam penelitian ini.

4.3 Pengujian Validasi Sensor pH (potential of Hydrogen)

4.3.1 Deskripsi Pengujian

Pengujian validasi sensor pH dilakukan untuk memastikan bahwa sensor Gravity pH Meter V2.0 DFRobot yang terintegrasi pada Sistem Otomatis Pencampuran Nutrisi Kebun Anggur Berbasis IoT dapat berfungsi sesuai dengan tujuan perancangan. Fokus pengujian adalah mengevaluasi akurasi dan keandalan sensor pH dalam memantau tingkat keasaman larutan nutrisi yang sangat kritis bagi keberhasilan pertumbuhan tanaman anggur pada fase vegetatif. Pengujian bertujuan untuk memastikan bahwa sensor mampu memberikan pembacaan yang akurat dan konsisten pada berbagai rentang nilai pH yang mencakup rentang operasional sistem. Hasil pengujian validasi ini menjadi acuan dalam menilai kelayakan sensor pH sebagai komponen monitoring pada sistem fertigasi otomatis, terutama terkait akurasi dan kestabilan pembacaan data keasaman larutan nutrisi.

4.3.2 Prosedur Pengujian

Pengujian validasi sensor pH bertujuan untuk mengukur tingkat akurasi sensor Gravity pH Meter V2.0 DFRobot dalam membaca nilai keasaman larutan. Pengujian dilakukan pada sistem yang telah terpasang secara lengkap, dengan seluruh komponen kelistrikan, perangkat kontrol, dan unit monitoring yang terintegrasi. Metode validasi yang digunakan adalah dengan mengukur larutan nutrisi pada tangki pencampuran menggunakan alat pH meter standar dan sensor Gravity pH Meter V2.0 secara bersamaan. Hasil pembacaan sensor kemudian dibandingkan dengan nilai referensi dari pH meter standar, dan selisihnya dihitung sebagai deviasi untuk mengevaluasi kinerja dan kelayakan sensor. Langkah-langkah pengujian validasi sensor pH adalah sebagai berikut:



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- 1) Pastikan seluruh sistem telah terpasang dengan baik dan siap untuk dioperasikan.
- 2) Siapkan larutan nutrisi yang berasal dari tangki pencampuran.
- 3) Siapkan alat ukur pH meter standar yang telah dikalibrasi sebagai alat pembanding.
- 4) Bersihkan elektroda sensor pH dan elektroda pH meter standar menggunakan air destilasi, kemudian keringkan dengan tisu sebelum setiap pengukuran untuk mencegah kontaminasi antar larutan uji.
- 5) Celupkan elektroda sensor Gravity pH Meter V2.0 dan elektroda pH meter standar secara bersamaan ke dalam larutan nutrisi. Tunggu hingga pembacaan stabil, kemudian catat nilai yang ditampilkan oleh sensor dan pH meter standar.
- 6) Hitung selisih dan persentase *error* antara pembacaan sensor dengan nilai referensi pH meter standar menggunakan persamaan *error* (%).
- 7) Evaluasi tingkat akurasi sensor berdasarkan hasil deviasi yang diperoleh dan tentukan kelayakan sensor berdasarkan batas toleransi *error* yang ditetapkan.

4.3.3 Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian validasi sensor pH diperoleh dengan mengukur larutan nutrisi menggunakan sensor Gravity pH Meter V2.0 dan alat ukur pH meter standar secara bersamaan. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan guna menilai konsistensi dan keakuratan pembacaan sensor pada berbagai rentang nilai pH. Data hasil pengujian selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Pengujian Validasi Sensor pH

No.	Pembacaan Alat Ukur	Pembacaan Sensor	Selisih (pH)	Error (%)
1	6,98	7,00	0,02	0,29%
2	7,03	7,05	0,02	0,28%
3	7,08	7,10	0,02	0,28%
4	7,11	7,12	0,01	0,14%
5	7,09	7,10	0,01	0,14%
6	7,06	7,08	0,02	0,28%
7	7,00	7,02	0,02	0,29%
8	6,96	6,98	0,02	0,29%
9	7,10	7,12	0,02	0,28%

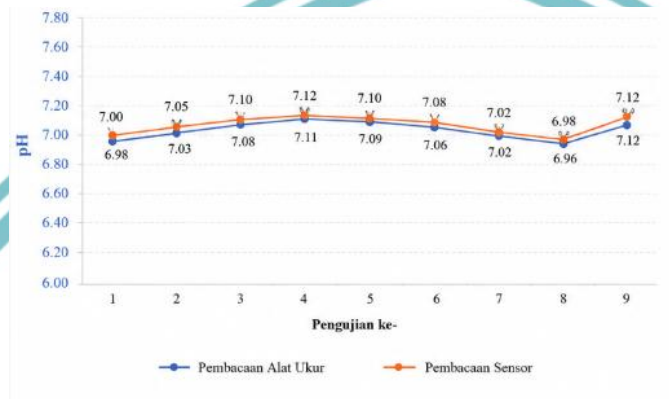


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.3.4 Analisis Data Pengujian

Pada Gambar 4.3, hasil pembacaan sensor pH menunjukkan kesesuaian yang sangat baik dengan alat ukur referensi. Seluruh titik pengukuran memperlihatkan pola yang hampir berhimpit antara nilai yang dibaca sensor dan nilai yang diperoleh dari alat ukur standar. Hal ini menunjukkan bahwa sensor mampu merepresentasikan kondisi keasaman larutan dengan baik.



Gambar 4.2 Grafik Pengujian Validasi Sensor pH

Selisih pengukuran yang diperoleh hanya berkisar antara 0,01 hingga 0,02 pH. Sementara itu, nilai error pengukuran berada pada rentang 0,14% hingga 0,29%. Nilai error yang rendah menunjukkan bahwa sensor pH memiliki tingkat ketelitian yang tinggi dan mampu memberikan hasil pengukuran yang konsisten. Berdasarkan hasil validasi tersebut, sensor pH dapat digunakan untuk memantau perubahan tingkat keasaman larutan nutrisi selama proses pencampuran dan resirkulasi. Akurasi sensor yang tinggi memungkinkan sistem melakukan monitoring kualitas larutan secara lebih andal dan berkelanjutan.

4.4 Analisis Tegangan, Arus, dan Daya Starting Pompa

4.4.1 Deskripsi Pengujian

Pengujian analisis tegangan, arus, daya *starting*, dan faktor daya pompa dilakukan untuk mengkarakterisasi performa kelistrikan motor pompa pendorong yang digunakan sebagai aktuator utama dalam Sistem Otomatis Pencampuran Nutrisi Kebun Anggur Berbasis IoT. Fokus pengujian adalah mengukur dan menganalisis besaran-besaran kelistrikan pompa pada kondisi *starting* (transien awal) dan pada kondisi *steady-state* (operasi normal), dengan menggunakan *power meter* AX9L-x *Smart Energy* produksi Renatta yang terpasang pada panel kontrol



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

sistem. Pemahaman terhadap karakteristik tegangan, arus, daya *starting*, dan faktor daya pompa sangat penting untuk memastikan integrasi pompa yang handal dalam sistem kontrol otomatis serta menentukan kapasitas perangkat proteksi yang sesuai seperti MCB dan fuse.

Hasil pengujian ini menjadi acuan evaluasi performa kelistrikan aktuatur pompa dalam sistem fertigasi otomatis, terutama terkait besar lonjakan arus *starting* (*inrush current*) yang merupakan karakteristik *inherent* dari motor listrik pada fase transien awal. Data yang diperoleh juga bermanfaat sebagai dasar perancangan sistem proteksi pompa yang lebih komprehensif pada pengembangan sistem selanjutnya.

4.4.2 Prosedur Pengujian

Pengujian karakteristik tegangan, arus, daya *starting*, dan faktor daya pompa dilakukan pada sistem yang telah terpasang secara lengkap di panel kontrol Kobong *Farm Nursery Farmers Group*. Parameter kelistrikan diukur menggunakan *power meter* yang sudah terintegrasi di dalam panel kontrol sistem. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan untuk setiap kondisi (*starting* dan *steady-state*) guna memperoleh data yang representatif dan dapat dievaluasi konsistensinya. Langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut:

- 1) Pastikan seluruh sistem telah terpasang dengan baik, panel kontrol dalam kondisi aktif, dan *power meter* AX9L-x telah berfungsi dan menampilkan pembacaan dengan benar.
- 2) Pastikan kondisi awal pompa dalam keadaan mati (*off*) dan jalur perpipaan dalam kondisi normal tanpa penyumbatan.
- 3) Aktifkan pompa melalui sistem kontrol ESP32 atau secara manual melalui panel kontrol.
- 4) Catat nilai tegangan (V), arus (A), dan daya (W) yang ditampilkan oleh *power meter* pada kondisi *starting*, yaitu pada saat pertama kali pompa dinyalakan sebelum mencapai kecepatan putaran nominal.
- 5) Catat nilai tegangan (V), arus (A), daya (W), dan faktor daya ($\cos \phi$) pada kondisi *steady-state*, yaitu setelah pompa beroperasi stabil dan arus telah menstabilkan diri menuju nilai operasi nominal.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- 6) Matikan pompa dan ulangi langkah 3 hingga 5 sebanyak tiga kali pengulangan untuk mendapatkan data yang representatif.
- 7) Hitung nilai rata-rata tegangan, arus, daya, dan faktor daya pada kondisi *starting* dan *steady-state*, kemudian analisis rasio arus *starting* terhadap arus *steady-state*.

4.4.3 Data Hasil Pengujian

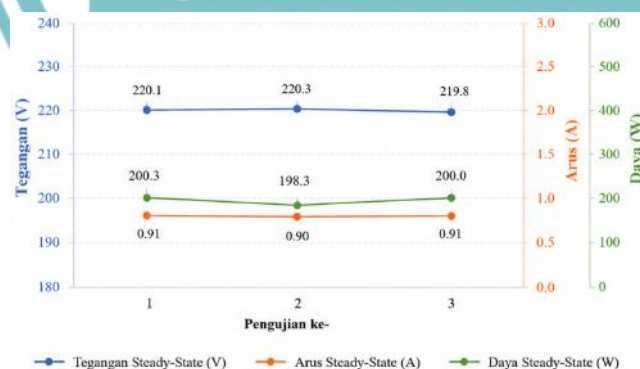
Data hasil pengujian diperoleh dengan mencatat pembacaan *power meter* pada kondisi *starting* dan kondisi *steady-state* pompa pendorong sebanyak tiga kali pengulangan. Data hasil pengujian selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Pengujian Tegangan, Arus, dan Daya Starting Pompa Pendorong

Pengujian ke-	Tegangan Starting (V)	Arus Start-ing (A)	Daya Start-ing (W)	Tegangan Steady-State (V)	Arus Steady-State (A)	Daya Steady-State (W)	Cos ϕ Steady-State
1	218,5	1,82	397,7	220,1	0,91	200,3	0,89
2	219,2	1,79	392,4	220,3	0,90	198,3	0,88
3	218,8	1,81	396,2	219,8	0,91	200,0	0,90
Rata-rata	218,8	1,81	395,4	220,1	0,91	199,5	0,89

4.4.4 Analisis Data Pengujian

Pada Gambar 4.4, nilai tegangan *steady-state* pompa berada pada kisaran 219,8–220,3 V dengan rata-rata sebesar 220,1 V. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sumber tegangan yang digunakan relatif stabil dan mampu menyuplai kebutuhan daya pompa selama pengoperasian.



Gambar 4.3 Grafik Pengujian Tegangan, Arus, dan Daya Starting Pompa



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Nilai arus *steady-state* yang terukur berada pada kisaran 0,90–0,91 A dengan rata-rata sebesar 0,91 A. Variasi arus yang sangat kecil menunjukkan bahwa beban kerja pompa selama pengujian relatif konstan dan tidak mengalami perubahan yang signifikan. Kondisi ini menandakan bahwa pompa bekerja secara normal tanpa adanya indikasi pembebanan berlebih.

Daya *steady-state* yang dihasilkan berada pada rentang 198,3–200,3 W dengan nilai rata-rata sebesar 199,5 W. Perbedaan nilai daya antar pengujian sangat kecil sehingga dapat disimpulkan bahwa performa pompa cukup stabil selama proses operasi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem distribusi nutrisi memiliki karakteristik kerja yang konsisten sehingga dapat mendukung proses pencampuran dan resirkulasi larutan nutrisi secara berkelanjutan.

Ketika kondisi motor *steady-state*, nilai $\cos \phi$ meningkat menjadi 0,88–0,90 dengan rata-rata 0,89. Peningkatan faktor daya ini menunjukkan bahwa motor telah bekerja pada kondisi yang lebih stabil dan efisien, sehingga pemanfaatan daya listrik menjadi lebih optimal. Hasil tersebut sesuai dengan karakteristik umum motor induksi, di mana faktor daya akan meningkat setelah motor mencapai putaran nominal.

Secara keseluruhan, hasil pengujian tegangan, arus, dan daya menunjukkan bahwa pompa pendorong mampu bekerja dengan stabil dan sesuai dengan kebutuhan sistem pencampuran nutrisi. Stabilitas parameter listrik tersebut menjadi faktor penting dalam menjaga kontinuitas proses pencampuran sehingga kualitas larutan nutrisi yang dihasilkan tetap terjaga.

4.5 Analisis Pompa Resirkulasi Terhadap Kualitas Larutan Nutrisi

4.5.1 Deskripsi Pengujian

Pengujian kualitas larutan nutrisi dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu operasi pompa resirkulasi terhadap homogenitas dan kestabilan larutan nutrisi yang dihasilkan pada sistem pencampuran otomatis. Parameter yang digunakan sebagai indikator kualitas larutan adalah nilai pH dan konsentrasi nutrisi yang direpresentasikan oleh nilai *Total Dissolved Solids* (TDS). Pengujian



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

dilakukan selama proses pencampuran dan resirkulasi berlangsung hingga diperoleh kondisi larutan yang stabil.

Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan waktu operasi pompa yang mampu menghasilkan larutan nutrisi dengan tingkat homogenitas terbaik. Selain itu, pengujian juga digunakan untuk mengetahui hubungan antara lama operasi pompa dengan perubahan kualitas larutan nutrisi di dalam tangki pencampuran.

4.5.2 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian kualitas larutan nutrisi dilakukan melalui tahapan sebagai berikut.

- 1) Sistem pencampuran nutrisi dioperasikan sesuai dengan program yang telah dirancang.
- 2) Tangki pencampuran diisi dengan air bersih hingga sensor pelampung mendeteksi kondisi level maksimum.
- 3) Nutrisi NPK, Kalsium Nitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), dan Magnesium (Mg) dialirkan ke dalam tangki pencampuran menggunakan pompa nutrisi dan *solenoid valve*.
- 4) Setelah seluruh nutrisi masuk ke dalam tangki, sistem melakukan proses resirkulasi untuk mencampurkan larutan secara merata.
- 5) Selama proses berlangsung dilakukan pengamatan terhadap nilai pH, TDS, dan kondisi sistem.
- 6) Data hasil pengamatan dicatat dan digunakan untuk menentukan tingkat homogenitas larutan pada setiap waktu operasi pompa.
- 7) Hasil pengamatan dianalisis untuk menentukan waktu operasi pompa optimum yang menghasilkan kualitas larutan nutrisi terbaik.

4.5.3 Data Hasil Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk membuktikan bahwa kualitas larutan nutrisi mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu operasi pompa. Data hasil pengujian selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Analisis Pompa Resirkulasi Terhadap Kualitas Larutan Nutrisi

Operasi Pompa	Nilai pH rata-	Nilai TDS	Kondisi Nutrisi	Tingkat
Resirkulasi	rata	(mg/L)		Homogenitas



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

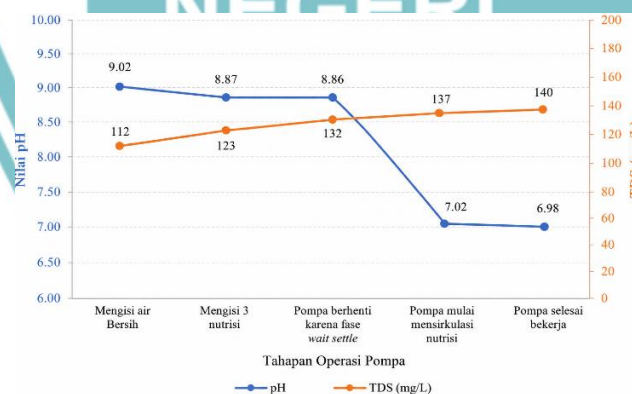
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Mengisi air Bersih	9.02	112	Nutrisi belum dimasukkan	Belum homogen
Mengisi 3 nutrisi	8.87	123	Nutrisi mulai dimasukkan	Belum homogen
Pompa berhenti karena fase <i>wait settle</i>	8.86	132	Ketiga nutrisi sudah masuk namun belum tercampur	Cukup homogen
Pompa mulai mensirkulasi nutrisi	7.02	137	Ketiga nutrisi mulai tercampur	Mendekati homogen
Pompa selesai bekerja	6.98	140	Ketiga nutrisi sudah tercampur	Homogen

4.5.4 Analisis Data Pengujian

Berdasarkan grafik perbandingan nilai pH dan TDS pada setiap tahapan operasi pompa, terlihat pada Gambar 4.5, bahwa proses pencampuran dan resirkulasi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kualitas larutan nutrisi. Parameter kualitas larutan ditunjukkan oleh perubahan nilai pH dan *Total Dissolved Solids* (TDS) selama proses berlangsung.



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Nilai pH dan TDS

Setiap Tahapan Operasi Pompa

Pada tahap mengisi air bersih, nilai pH tercatat sebesar 9,02 dengan nilai TDS sebesar 112 *mg/L*. Kondisi ini menunjukkan bahwa tangki pencampuran masih



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

didominasi oleh air bersih sehingga konsentrasi nutrisi di dalam larutan masih rendah. Nilai pH yang relatif tinggi mengindikasikan bahwa larutan belum memperoleh pengaruh dari penambahan nutrisi. Ketika sistem memasuki tahap mengisi tiga nutrisi, nilai TDS meningkat menjadi 123 mg/L yang menunjukkan bahwa unsur hara mulai terlarut ke dalam larutan. Pada tahap ini nilai pH menurun menjadi 8,87 akibat adanya penambahan larutan nutrisi yang mempengaruhi tingkat keasaman larutan. Meskipun demikian, larutan masih belum homogen karena proses pencampuran belum berlangsung secara optimal.

Pada tahap pompa berhenti karena fase *wait settle*, nilai pH relatif tidak mengalami perubahan yang signifikan, yaitu sebesar 8,86, sedangkan nilai TDS meningkat menjadi 132 mg/L . Kondisi ini menunjukkan bahwa seluruh nutrisi telah masuk ke dalam tangki pencampuran, namun distribusinya masih belum merata. Fase *wait settle* berfungsi untuk memberikan waktu agar sisa nutrisi yang masih berada di dalam pipa dapat masuk sepenuhnya ke dalam tangki sebelum proses resirkulasi dilakukan.

Perubahan paling signifikan terjadi pada tahap pompa mulai mensirkulasi nutrisi, di mana nilai pH turun secara drastis menjadi 7,02, sedangkan nilai TDS meningkat menjadi 137 mg/L . Penurunan pH yang mendekati kondisi netral menunjukkan bahwa proses resirkulasi berhasil mencampurkan nutrisi secara lebih merata ke seluruh bagian tangki. Pada saat yang sama, peningkatan nilai TDS menunjukkan bahwa konsentrasi nutrisi semakin homogen dan tersebar secara seragam di dalam larutan.

Setelah proses pencampuran selesai, nilai pH mencapai 6,98 dan nilai TDS sebesar 140 mg/L . Kondisi ini menunjukkan bahwa larutan telah mencapai tingkat homogenitas yang baik, ditandai dengan nilai pH yang stabil mendekati netral dan nilai TDS yang relatif konstan. Kenaikan nilai TDS dari 112 mg/L menjadi 140 mg/L mengindikasikan bahwa nutrisi telah terdistribusi secara merata, sedangkan penurunan nilai pH dari 9,02 menjadi 6,98 menunjukkan bahwa larutan telah mencapai kondisi yang lebih sesuai untuk digunakan sebagai larutan nutrisi tanaman.

Secara keseluruhan, grafik menunjukkan bahwa semakin lama proses operasi pompa berlangsung, khususnya pada tahap resirkulasi, maka tingkat



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

homogenitas larutan nutrisi semakin meningkat. Hal ini ditunjukkan oleh kecenderungan nilai TDS yang terus meningkat dan nilai pH yang bergerak menuju kondisi stabil. Dengan demikian, proses resirkulasi merupakan tahapan yang paling berpengaruh dalam menghasilkan larutan nutrisi yang homogen dan berkualitas. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa waktu operasi pompa yang mencakup proses pengisian nutrisi, *wait settle*, dan resirkulasi mampu menghasilkan kualitas larutan nutrisi terbaik pada akhir proses pencampuran.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta