

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Teori Penunjang

1. Rancang Bangun

Rancang bangun merupakan proses merencanakan dan mewujudkan suatu rancangan menjadi sistem yang dapat digunakan sesuai tujuan. Aska dkk menjelaskan bahwa rancang bangun mencakup kegiatan penggambaran, perencanaan, dan pengaturan beberapa elemen menjadi satu kesatuan sistem yang utuh. Sejalan dengan itu, Ulandari dkk menyatakan bahwa rancang bangun dapat dipahami sebagai proses menerjemahkan hasil analisis ke dalam bentuk sistem yang dapat dibangun atau dikembangkan untuk memperbaiki sistem sebelumnya (Aska dkk., 2025; Ulandari dkk., 2023).

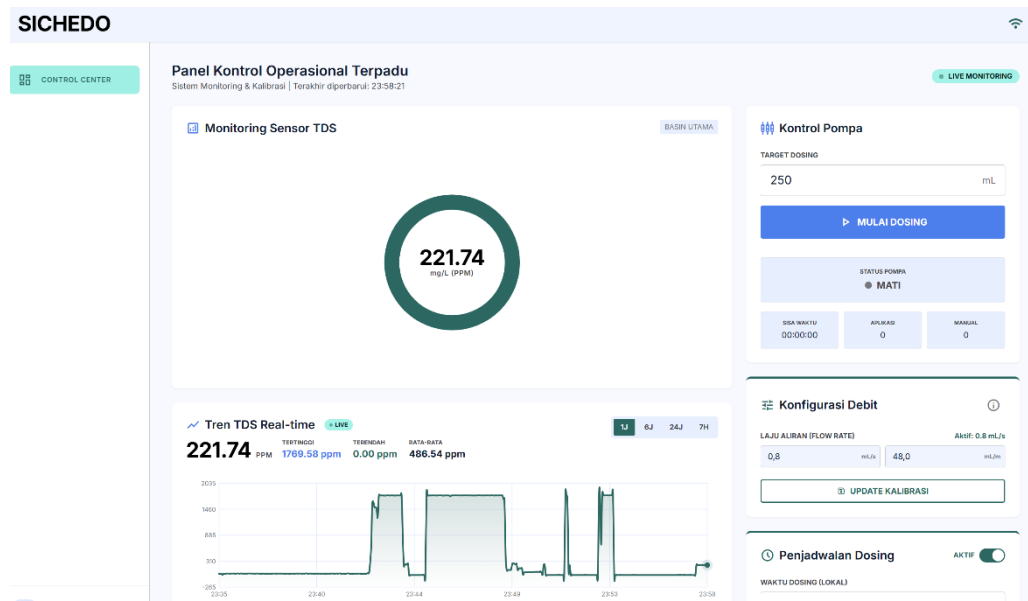
Dalam penelitian ini, rancang bangun dimaknai sebagai proses pembuatan *prototype* SICHEDO yang menggabungkan sensor *Total Dissolved Solids*, ESP32, tampilan pemantauan, dan pompa peristaltik dalam satu sistem kerja. Sistem tersebut dirancang untuk memantau perubahan nilai *Total Dissolved Solids* secara *real-time* dan melakukan *chemical dosing* otomatis berdasarkan *input* target volume *chemical* pada media uji air pendingin skala laboratorium. Dengan demikian, penelitian ini termasuk rancang bangun karena menghasilkan *prototype* yang memiliki fungsi pemantauan data dan injeksi *chemical* secara terukur.

2. Sistem Otomatisasi, Pemantauan, dan Kontrol

Sistem otomatisasi digunakan untuk membantu suatu proses berjalan lebih teratur, konsisten, dan mengurangi ketergantungan terhadap pengoperasian manual. Dalam sistem otomatis, sensor berfungsi membaca kondisi, mikrokontroler mengolah data, dan aktuator menjalankan perintah berdasarkan

logika yang telah ditentukan. Dengan susunan tersebut, sistem dapat membaca data, memproses informasi, dan mengendalikan perangkat secara lebih terukur.

Pemantauan atau *monitoring* merupakan bagian dari otomatisasi yang berfungsi menampilkan kondisi suatu parameter agar perubahan yang terjadi dapat diketahui secara langsung. Pada sistem berbasis mikrokontroler, data dari sensor dapat diolah menjadi informasi digital dan ditampilkan melalui *display* atau *dashboard*. Kurnianto dkk mengembangkan sistem *monitoring Total Dissolved Solids* pada *lower basin cooling tower* berbasis sensor dan internet di lingkungan bandar udara, sehingga nilai TDS dapat dipantau secara *real-time* oleh personel operasional (Kurnianto dkk., 2023).



Gambar II. 1 Sistem Monitoring SICHEDO

(Sumber : Penulis, 2026)

Selain pemantauan, sistem otomatis juga memerlukan fungsi kontrol. Kontrol digunakan untuk mengatur kerja perangkat, baik dalam bentuk ON/OFF sederhana maupun metode yang lebih kompleks seperti *Fuzzy PID* atau *adaptive control*. Chen dkk menunjukkan bahwa pengendalian kualitas air *cooling tower* dapat dilakukan dengan pendekatan *Fuzzy PID*, sedangkan Lu dkk dan Ding

dkk membahas penggunaan sistem *chemical dosing* cerdas yang memanfaatkan data dan kontrol otomatis pada proses pengolahan air (Chen dkk., 2024; Ding dkk., 2024; Lu dkk., 2024).

Pada penelitian ini, konsep otomatisasi, pemantauan, dan kontrol diterapkan pada *prototype* Sistem *Chemical Dosing* Otomatis (SICHEDO). Sensor *Total Dissolved Solids* digunakan untuk membaca kondisi zat terlarut pada media uji air pendingin skala laboratorium secara *real-time*, kemudian data diproses oleh ESP32 dan ditampilkan melalui OLED atau *dashboard*. Nilai *Total Dissolved Solids* tidak digunakan sebagai pemicu langsung pompa, melainkan sebagai parameter pemantauan. Proses *chemical dosing* dilakukan berdasarkan input target volume *chemical* yang dimasukkan ke dalam sistem. Setelah target volume dimasukkan, pompa peristaltik bekerja otomatis berdasarkan debit pompa hasil kalibrasi agar volume *chemical* yang keluar sesuai dengan target input. Hernández-Baño dkk. menekankan bahwa pengukuran dan pencatatan data sensor yang akurat dapat mendukung analisis operasi serta pengendalian dosis *chemical treatment* pada sistem yang melibatkan *cooling tower* (Hernández-Baño dkk., 2024).

3. AC Sentral

AC sentral merupakan sistem pengondisian udara yang digunakan untuk melayani kebutuhan pendinginan pada bangunan berskala besar, seperti terminal bandar udara, gedung perkantoran, hotel, pusat perbelanjaan, dan fasilitas industri. Pada sistem AC sentral berbasis *water cooled chiller*, proses pendinginan tidak dilakukan oleh unit AC kecil yang berdiri sendiri, tetapi melalui sistem terpusat yang terdiri dari *chiller*, *Air Handling Unit* (AHU), *Fan Coil Unit* (FCU), pompa sirkulasi, jaringan pipa, sistem kontrol, dan *cooling tower*. Sistem ini bekerja dengan mendistribusikan air dingin dari *chiller* menuju AHU atau FCU untuk menyerap panas dari udara ruangan. (Nyoman Suamir dkk., 2021)



Gambar II. 2 Chiller AC Sentral Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali

(Sumber : Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali, 2025)

Prinsip kerja AC sentral berbasis *chilled water system* dimulai dari proses pendinginan air pada evaporator *chiller*. Air dingin yang dihasilkan kemudian dialirkan oleh pompa menuju AHU atau FCU. Pada AHU atau FCU, udara ruangan dihembuskan melewati koil pendingin yang berisi air dingin, sehingga panas dari udara berpindah ke air. Air yang temperaturnya meningkat kemudian kembali menuju *chiller* untuk didinginkan ulang. Sistem ini bekerja secara berulang selama proses pendinginan berlangsung agar temperatur ruangan tetap sesuai kebutuhan (Nyoman Suamir dkk., 2021; Zulkafli dkk., 2023).

Pada sistem *water cooled chiller*, panas yang diserap oleh refrigeran tidak langsung dibuang ke udara luar, tetapi dipindahkan terlebih dahulu ke air kondensor. Air kondensor yang telah menyerap panas dari kondensor *chiller* kemudian dialirkan menuju *cooling tower*. Di dalam *cooling tower*, panas dari air kondensor dibuang ke atmosfer melalui proses kontak antara air dan udara, sehingga air kondensor dapat digunakan kembali dalam siklus pendinginan. Dengan demikian, *cooling tower* menjadi komponen penting dalam sistem AC sentral karena berperan sebagai pelepas panas dari sistem pendingin ke lingkungan (Nyoman Suamir dkk., 2021).

Kinerja AC sentral sangat dipengaruhi oleh kesesuaian kerja antara *chiller*, AHU, FCU, pompa, sistem kontrol, dan *cooling tower*. Pengaturan beban pendinginan dan efisiensi energi pada sistem *chiller*-AHU perlu diperhatikan karena perubahan beban ruangan akan memengaruhi kerja sistem pendinginan secara keseluruhan. Apabila salah satu komponen mengalami penurunan performa, maka proses pendinginan ruangan dapat terganggu, konsumsi energi meningkat, dan beban kerja peralatan menjadi lebih berat (Zulkaflī dkk., 2023).

4. *Cooling Tower*

Cooling tower atau menara pendingin merupakan komponen pada sistem AC sentral berbasis air dingin atau *water cooled system* yang berfungsi membuang panas dari air kondensor ke atmosfer. Air kondensor yang telah menyerap panas dari *chiller* dialirkan menuju *cooling tower* untuk diturunkan temperaturnya melalui proses perpindahan panas dan penguapan, sehingga air dapat digunakan kembali dalam siklus pendinginan.

Prinsip kerja *cooling tower* dimulai ketika air panas dari kondensor *chiller* dialirkan menuju bagian atas menara pendingin. Air tersebut kemudian didistribusikan melalui *nozzle* atau sistem penyemprot agar jatuh merata ke media pengisi atau *fill*. Pada saat air mengalir turun melewati *fill*, udara dialirkan secara alami atau dibantu oleh kipas. Kontak langsung antara air dan udara menyebabkan sebagian kecil air menguap. Proses penguapan inilah yang mengambil panas dari air, sehingga temperatur air menurun. Air yang telah lebih dingin kemudian tertampung pada bagian *basin* dan dialirkan kembali menuju kondensor *chiller*.

Kinerja *cooling tower* dipengaruhi oleh temperatur air masuk, temperatur air keluar, temperatur *wet bulb*, kelembapan udara, serta laju aliran air dan udara. Parameter tersebut digunakan untuk menilai performa pendinginan melalui nilai *range*, *approach*, dan efisiensi. Ahluriza & Sinaga menunjukkan bahwa perubahan temperatur air masuk dan kondisi operasional dapat memengaruhi

efektivitas pendinginan. Panjaitan dkk. juga menggunakan parameter *range*, *approach*, dan efisiensi untuk mengevaluasi pengaruh temperatur *ambient* terhadap kinerja *cooling tower* (Ahluriza & Sinaga, 2021; Panjaitan dkk., 2025).



Gambar II. 3 Cooling Tower di Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali

(Sumber : Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali, 2025)

Selain parameter termal, performa *cooling tower* juga berkaitan dengan pengelolaan air pendingin. Purba & Syaputri menjelaskan bahwa performa *cooling tower* tipe *induced draft* dapat dianalisis melalui parameter *range*, *approach*, efektivitas pendinginan, *evaporation loss*, *make-up water*, dan kapasitas pendinginan. Sementara itu, Müller, Chapanova, Diekow, Kaiser, Hitsov, dkk. menekankan pentingnya pengelolaan *cooling tower blowdown* dan *make-up water treatment* dalam menekan konsumsi air pada sistem pendingin (Müller, Chapanova, Diekow, Kaiser, Hitsov, dkk., 2024; Purba & Syaputri, 2025).

5. Kualitas Air Cooling Tower

Kualitas air menjadi faktor penting dalam pengoperasian *cooling tower* karena air sirkulasi terus mengalami proses penguapan. Pada proses tersebut, sebagian air menguap, sedangkan mineral dan zat terlarut tetap tertinggal di

dalam air. Jika tidak dikendalikan melalui *blowdown* dan *chemical treatment*, konsentrasi zat terlarut dapat meningkat. Parameter yang umum diperhatikan dalam kualitas air *cooling tower* meliputi *Total Dissolved Solids*, pH, konduktivitas, alkalinitas, kesadahan, dan kandungan mineral lainnya.

Kualitas air yang tidak terkontrol dapat memicu *scaling*, korosi, dan *biofouling*. *Scaling* terjadi akibat endapan mineral pada permukaan perpindahan panas, korosi dapat merusak material sistem, sedangkan *biofouling* berkaitan dengan pertumbuhan mikroorganisme seperti lumut, alga, bakteri, dan *biofilm* pada area yang kontak dengan air. Permasalahan tersebut dapat mengganggu efektivitas pendinginan dan meningkatkan kebutuhan perawatan.

Hernández-Baño dkk. menekankan bahwa pengukuran dan pencatatan data yang akurat pada sistem berbasis *cooling tower* diperlukan untuk mendukung efisiensi operasi serta pengendalian dosis *chemical treatment*. Müller, Chapanova, Diekow, Kaiser, Hitsov, dkk. juga menjelaskan bahwa pengelolaan *cooling tower blowdown* dan *make-up water treatment* berperan dalam menekan konsumsi air pada sistem pendingin. Oleh karena itu, pengendalian kualitas air perlu didukung oleh pemantauan parameter air dan proses *chemical dosing* yang terukur agar kondisi air sirkulasi lebih mudah dikelola (Hernández-Baño dkk., 2024; Müller, Chapanova, Diekow, Kaiser, Hitsov, dkk., 2024).

6. *Total Dissolved Solids* (TDS)

Total Dissolved Solids merupakan parameter kualitas air yang menunjukkan jumlah zat padat terlarut di dalam air, seperti mineral, garam, ion, dan senyawa organik berukuran kecil. Adjovu dkk. menjelaskan bahwa *Total Dissolved Solids* menjadi salah satu parameter penting dalam penilaian kualitas air karena dapat memengaruhi kesesuaian air untuk berbagai kebutuhan, termasuk penggunaan industri dan sistem pendingin. Nilai *Total Dissolved Solids* dapat diperoleh melalui pengukuran laboratorium atau diperkirakan berdasarkan hubungan dengan *electrical conductivity* (Adjovu dkk., 2023).

Pada *cooling tower*, nilai *Total Dissolved Solids* perlu diperhatikan karena proses penguapan menyebabkan volume air berkurang, sedangkan mineral dan zat terlarut tetap berada di dalam air sirkulasi. Akibatnya, konsentrasi zat terlarut pada air *cooling tower* dapat meningkat dibandingkan air *make-up*. Kurnianto dkk. menjelaskan bahwa kualitas air pendingin pada *cooling tower* dapat memengaruhi efisiensi operasional dan umur peralatan, sehingga diperlukan sistem *monitoring* yang akurat dan *real-time* untuk memantau nilai *Total Dissolved Solids* pada air pendingin.

Dalam penelitian ini, *Total Dissolved Solids* digunakan sebagai indikator kondisi zat terlarut pada media uji air pendingin skala laboratorium. Nilai tersebut dibaca menggunakan sensor TDS, kemudian ditampilkan melalui OLED atau *dashboard* sebagai bagian dari sistem pemantauan SICHEDO. Namun, nilai *Total Dissolved Solids* tidak digunakan sebagai pengendali langsung pompa *dosing*. Proses *chemical dosing* dilakukan berdasarkan input target volume *chemical*, sedangkan sensor TDS berfungsi untuk membantu pengguna memantau perubahan kualitas air secara *real-time*.

7. Cycles of Concentration

Cycles of Concentration merupakan perbandingan antara konsentrasi zat terlarut pada air sirkulasi *cooling tower* dengan air *make-up*. Parameter ini digunakan untuk mengetahui tingkat pemekatan mineral akibat proses penguapan. Ketika air menguap, mineral dan zat terlarut tetap tertinggal di dalam air sirkulasi sehingga nilainya dapat meningkat. Environmental Protection Agency dalam dokumen *WaterSense at Work* menjelaskan bahwa peningkatan zat terlarut pada *cooling tower* dapat dikendalikan melalui proses *bleed-off* atau *blowdown*, yaitu pembuangan sebagian air sirkulasi dan penggantian dengan air *make-up* baru.

Secara umum, *Cycles of Concentration* dapat dihitung menggunakan perbandingan nilai *Total Dissolved Solids* atau konduktivitas antara air *cooling tower* dan air *make-up*. Nilai yang terlalu rendah dapat menunjukkan penggunaan air yang kurang efisien karena *blowdown* terlalu sering dilakukan, sedangkan nilai yang terlalu tinggi dapat meningkatkan risiko *scaling*, korosi, dan penurunan performa perpindahan panas apabila tidak dikendalikan melalui *blowdown* dan *chemical treatment*. Müller, Chapanova, Diekow, Kaiser, Hitsov, dkk. menjelaskan bahwa air *blowdown* pada sistem pendingin menunjukkan adanya pemekatan zat terlarut dari air sirkulasi (Müller, Chapanova, Diekow, Kaiser, Hitsov, dkk., 2024).

Rumus yang digunakan untuk menghitung *Cycles of Concentration* adalah sebagai berikut:

$$\text{Cycles of Concentration} = \text{TDS Cooling Tower} / \text{TDS Make-up Water}$$

Dalam penelitian ini, *Cycles of Concentration* digunakan sebagai teori pendukung untuk menjelaskan perbedaan nilai *Total Dissolved Solids* antara air *cooling tower* dan air *make-up*. Nilai ini tidak digunakan sebagai pengendali langsung pompa *dosing*, melainkan sebagai dasar untuk memahami pentingnya pemantauan *Total Dissolved Solids*. Pada SICHEDO, sensor TDS berfungsi sebagai pemantauan kondisi zat terlarut, sedangkan proses *chemical dosing* dilakukan berdasarkan input target volume *chemical* yang dimasukkan ke dalam sistem.

8. Kerak, Korosi, Mikroorganisme

Kerak atau *scaling* merupakan pembentukan endapan mineral pada permukaan sistem air pendingin akibat tingginya konsentrasi zat terlarut, kesadahan, alkalinitas, pH, temperatur, dan proses penguapan pada *cooling tower*. Endapan tersebut dapat menempel pada pipa, *filler*, *nozzle*, maupun permukaan perpindahan panas. Sangeetha dkk. menjelaskan bahwa kerak dan korosi menjadi permasalahan utama pada sistem air pendingin karena dapat

menurunkan kemampuan perpindahan panas, merusak permukaan logam, dan mengganggu kinerja sistem (Sangeetha dkk., 2019).



Gambar II. 4 Biofouling Pada Cooling Tower di Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali
(Sumber : Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali, 2025)

Korosi merupakan kerusakan material logam akibat reaksi kimia atau elektrokimia antara permukaan logam dengan lingkungan air sirkulasi. Pada *cooling tower*, korosi dapat dipengaruhi oleh pH, kandungan oksigen terlarut, ion agresif, temperatur, serta aktivitas mikroorganisme. AlSalhi dkk. menjelaskan bahwa korosi menjadi ancaman serius pada lingkungan industri karena dapat menurunkan kekuatan material melalui proses oksidasi dan reduksi (AlSalhi dkk., 2023).

Mikroorganisme seperti bakteri, alga, jamur, dan lumut dapat tumbuh pada area yang lembap dan kontak langsung dengan air. Pada *cooling tower*, pertumbuhan mikroorganisme dapat membentuk *biofilm* dan menyebabkan *biofouling* pada permukaan *basin*, *filler*, maupun jalur aliran air. Chien dkk. menempatkan korosi, kerak, dan *biofouling* sebagai proses penting dalam pengelolaan air *cooling tower* yang perlu dikendalikan agar kinerja sistem tetap terjaga (Chien dkk., 2012).

Dalam penelitian ini, pembahasan kerak, korosi, dan mikroorganisme digunakan sebagai dasar pentingnya pemantauan kualitas air dan *chemical*

treatment. Nilai *Total Dissolved Solids* digunakan sebagai indikator zat terlarut yang berkaitan dengan potensi kerak, sedangkan pengendalian korosi dan mikroorganisme didukung melalui penggunaan bahan kimia seperti *corrosion inhibitor*, *scale inhibitor*, *biocide*, dan *bio dispersant*.

9. Chemical Treatment



Gambar II. 5 Proses Chemical Dosing Manual Pada Cooling Tower
(Sumber : PT. Bramasta Cipta Sempurna, 2025)

Chemical treatment pada *cooling tower* merupakan proses pengelolaan air sirkulasi menggunakan bahan kimia untuk membantu mengendalikan kerak, korosi, dan pertumbuhan mikroorganisme. Gu dkk. menjelaskan bahwa permasalahan kerak, korosi, dan pertumbuhan alga pada sistem air pendingin berkaitan dengan kualitas air, sehingga diperlukan pemantauan dan pengendalian yang tepat, termasuk penggunaan *scale inhibitor* dan *corrosion inhibitor* (Gu dkk., 2024).

Bahan kimia yang umum digunakan pada *cooling tower* meliputi *corrosion inhibitor*, *scale inhibitor*, *biocide*, dan *bio dispersant*. *Corrosion inhibitor* membantu menghambat korosi pada permukaan logam, *scale inhibitor* mengurangi potensi pembentukan kerak mineral, *biocide* mengendalikan pertumbuhan mikroorganisme, sedangkan *bio dispersant* membantu menguraikan kotoran biologis. Mohammed dkk. menyatakan bahwa *biofouling* pada sistem air pendingin terbuka dapat menurunkan performa, meningkatkan

konsumsi energi, dan mengurangi efisiensi perpindahan panas (Mohammed dkk., 2021).

Chemical dosing dapat dilakukan secara manual maupun otomatis. Cara manual tidak berarti dilakukan tanpa dasar, tetapi masih bergantung pada operator dalam proses pengukuran, pengisian, pelaksanaan, dan pencatatan. Oleh karena itu, sistem *chemical dosing* otomatis digunakan untuk membantu pemberian *chemical* menjadi lebih terukur dan terdokumentasi. Hernández-Baño dkk. menjelaskan bahwa data sensor yang akurat dapat mendukung pengendalian dosis *chemical treatment* dan menjaga kualitas air (Hernández-Baño dkk., 2024).

Dalam penelitian ini, SICHEDO tidak dirancang untuk menentukan jenis *chemical* baru, tetapi membantu proses pemberian *chemical* berdasarkan input target volume. Pompa peristaltik bekerja otomatis berdasarkan debit hasil kalibrasi agar volume *chemical* yang keluar sesuai dengan target input. Nilai *Total Dissolved Solids* digunakan sebagai parameter pemantauan kondisi zat terlarut, bukan sebagai pemicu langsung kerja pompa *dosing*.



Gambar II. 6 Chemical Cooling Tower di Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali

(Sumber : Penulis, 2025)

10. Kalibrasi Pompa dan Input Volume Chemical

Pada sistem SICHEDO, proses *chemical dosing* dilakukan berdasarkan input volume *chemical* yang dimasukkan oleh pengguna. Pengguna cukup menentukan jumlah *chemical* yang akan diinjeksi, kemudian sistem menjalankan pompa peristaltik secara otomatis agar volume yang keluar sesuai dengan target input. Dengan cara ini, pengguna tidak perlu menentukan durasi kerja pompa secara manual.

Agar volume *chemical* yang keluar sesuai dengan target, pompa peristaltik perlu dikalibrasi terlebih dahulu. Kalibrasi dilakukan dengan menjalankan pompa dalam waktu tertentu, kemudian volume cairan yang keluar diukur menggunakan gelas ukur. Wibowo & Endang Jayati menjelaskan bahwa kalibrasi *dosing pump* dapat dilakukan dengan mengaktifkan pompa selama satu menit untuk mengetahui laju keluaran larutan (Wibowo & Endang Jayati, 2026).

Hasil kalibrasi digunakan sebagai acuan dalam program untuk menjalankan pompa sesuai volume input. Dengan demikian, kalibrasi tidak dimaksudkan untuk menentukan kebutuhan *chemical*, tetapi untuk memastikan bahwa volume *chemical* yang diinjeksi oleh pompa sesuai dengan nilai yang dimasukkan pengguna. Nilai *Total Dissolved Solids* tetap digunakan sebagai parameter pemantauan kondisi air, bukan sebagai pemicu langsung kerja pompa *dosing*.

11. Human Error dengan SHELL Model

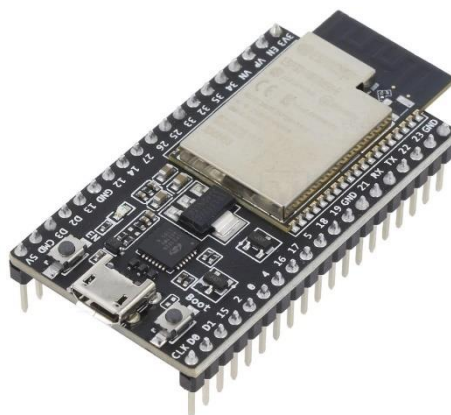
Human error merupakan ketidaksesuaian tindakan manusia dalam menjalankan pekerjaan yang dapat dipengaruhi oleh prosedur, peralatan, lingkungan kerja, kondisi individu, dan komunikasi antar personel. Dalam konteks perawatan penerbangan, Olaganathan menjelaskan bahwa *human error* dapat dipengaruhi oleh komunikasi, tekanan kerja, dokumentasi, prosedur, lingkungan, serta interaksi manusia dengan teknologi. Hal ini menunjukkan bahwa *human error* perlu dilihat sebagai bagian dari sistem kerja, bukan hanya sebagai kesalahan individu (Olaganathan, 2024).

SHELL Model digunakan untuk menganalisis hubungan manusia dengan elemen pendukung dalam sistem kerja, yaitu *Software*, *Hardware*, *Environment*, *Liveware*, dan *Liveware-Liveware*. Kansoy & Bakanoğlu menjelaskan bahwa *SHELL Model* digunakan dalam bidang penerbangan untuk memahami hubungan manusia dengan prosedur, peralatan, lingkungan, dan manusia lain. ICAO juga menyatakan bahwa *SHELL Model* dapat digunakan untuk membahas faktor manusia karena mencakup prosedur kerja, peralatan, lingkungan, dan personel yang terlibat dalam tugas teknis.(Kansoy & Bakanoğlu, 2021)

Dalam penelitian ini, *SHELL Model* digunakan untuk menjelaskan keterbatasan proses pemantauan nilai *Total Dissolved Solids* dan pemberian *chemical* yang masih dilakukan secara manual. Unsur *Software* berkaitan dengan prosedur dan pencatatan, *Hardware* dengan alat ukur dan peralatan *dosing*, *Environment* dengan kondisi area *cooling tower*, *Liveware* dengan ketelitian operator, serta *Liveware-Liveware* dengan komunikasi antar petugas. Dengan pendekatan ini, proses manual tidak dinilai sebagai kesalahan operator, tetapi sebagai sistem kerja yang berpotensi kurang konsisten apabila belum didukung oleh pemantauan *real-time* dan pemberian *chemical* yang terukur.

12. Komponen Penyusunan SICHEDO

a. Mikrokontroler ESP32



Gambar II. 8 Mikrokontroler ESP32

(Sumber : 99Tech.com.au, diakses 1 juni 2026)

ESP32 merupakan mikrokontroler yang berfungsi sebagai pusat pengolah data dan pengendali kerja sistem. Komponen ini memiliki kemampuan pemrosesan data serta komunikasi nirkabel melalui Wi-Fi dan Bluetooth, sehingga banyak digunakan pada sistem berbasis *Internet of Things*. Dalam SICHEDO, ESP32 digunakan untuk membaca data sensor *Total Dissolved Solids*, menerima input dari *keypad* dan tombol, menampilkan informasi pada OLED, serta mengatur kerja pompa peristaltik melalui *relay module*. Kisworo dkk. menjelaskan bahwa ESP32 dapat digunakan pada sistem pemantauan kualitas air karena mampu mengintegrasikan pembacaan sensor, pengolahan data, dan pengiriman data secara *real-time* (Kisworo dkk., 2026).

b. Sensor Total Dissolved Solids (TDS)



Gambar II. 9 Sensor Total Dissolved Solids (TDS)
(Sumber : askElectronics.co.ke, diakses 1 juni 2026)

Sensor *Total Dissolved Solids* digunakan untuk membaca nilai zat terlarut dalam air. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip konduktivitas listrik, karena semakin tinggi kandungan zat terlarut, maka nilai konduktivitas air juga cenderung meningkat. Pada SICHEDO, sensor TDS digunakan sebagai parameter pemantauan kondisi air pada media uji air pendingin skala laboratorium. Nilai yang terbaca ditampilkan

melalui OLED atau *dashboard*, tetapi tidak digunakan sebagai pemicu langsung kerja pompa *dosing*. Kurnianto dkk. menjelaskan bahwa pemantauan TDS berbasis sensor dan internet dapat membantu personel operasional mengetahui kondisi kualitas air secara *real-time* (Kurnianto dkk., 2023).

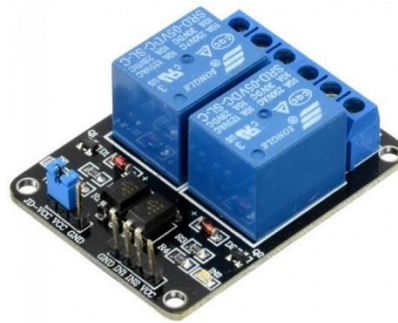
c. Pompa Peristaltik



Gambar II. 10 Pompa Dosing
(Sumber : intlabb.net, diakses 1 juni 2026)

Pompa peristaltik merupakan jenis pompa yang bekerja dengan menekan selang fleksibel menggunakan rol atau rotor sehingga cairan terdorong mengikuti arah putaran pompa. Prinsip kerja ini membuat cairan hanya bersentuhan dengan bagian dalam selang, sehingga cocok digunakan untuk pemindahan cairan dalam volume kecil. Zehetbauer dkk. menjelaskan bahwa pompa peristaltik bekerja melalui deformasi selang elastis untuk memindahkan fluida secara bertahap. Dalam SICHEDO, pompa peristaltik digunakan untuk menginjeksikan *chemical* berdasarkan target volume yang dimasukkan pengguna. Pompa perlu dikalibrasi terlebih dahulu agar volume *chemical* yang keluar sesuai dengan target input (Zehetbauer dkk., 2021)

d. *Relay module*



Gambar II. 11 Relay Module

(Sumber : components101.com, diakses 1 juni 2026)

Relay module merupakan saklar elektronik yang digunakan untuk menghubungkan atau memutus aliran listrik pada beban berdasarkan sinyal dari mikrokontroler. Komponen ini diperlukan karena ESP32 hanya menghasilkan sinyal kendali berdaya kecil, sedangkan pompa membutuhkan suplai daya yang lebih besar. Asiah dkk. menjelaskan bahwa *relay* dapat digunakan untuk mengendalikan arus yang lebih besar menggunakan sinyal listrik kecil. Pada SICHEDO, ESP32 memberikan sinyal ke *relay module*, kemudian *relay* mengatur ON/OFF pompa peristaltik sesuai perintah sistem.

e. *Oled Display*



Gambar II. 12 Oled Display

(Sumber : startingelectronics.org, diakses 1 juni 2026)

OLED display merupakan media tampilan yang digunakan untuk menampilkan informasi sistem secara langsung. Komponen ini memiliki ukuran kecil, konsumsi daya rendah, dan tampilan yang cukup jelas untuk menampilkan angka, teks, maupun status kerja alat. Jannah dkk. menunjukkan bahwa OLED dapat digunakan sebagai media tampilan pada sistem pemantauan berbasis sensor. Dalam SICHEDO, OLED digunakan untuk menampilkan nilai *Total Dissolved Solids*, status sistem, mode kerja, input volume *chemical*, dan status pompa. OLED berfungsi sebagai keluaran lokal agar pengguna dapat melihat kondisi alat tanpa harus membuka *dashboard*.

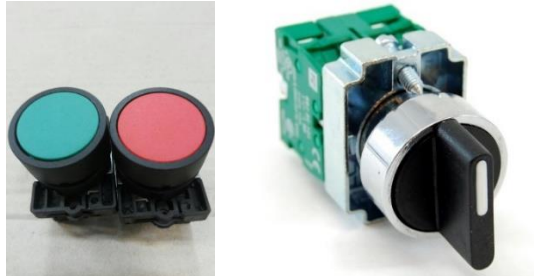
f. *Keypad 4x4*



Gambar II. 13 Keypad 4x4
(Sumber : digiwarestore.com, diakses 1 juni 2026)

Keypad 4x4 merupakan perangkat input yang terdiri dari 16 tombol dalam susunan 4 baris dan 4 kolom. Komponen ini digunakan untuk memasukkan angka, memilih menu, atau memberikan perintah sederhana pada sistem berbasis mikrokontroler. Rafif dkk. menjelaskan bahwa *keypad* dapat digunakan sebagai media input pengguna pada sistem berbasis mikrokontroler. Dalam SICHEDO, *keypad* digunakan untuk memasukkan target volume *chemical* dan parameter lain yang diperlukan. Data dari *keypad* kemudian diproses oleh ESP32 sebagai dasar pengoperasian pompa (Rafif dkk., 2025).

g. *Push Button dan Selector Switch*



Gambar II. 14 Push Button dan Selector Switch
(Sumber : sinar-gemilang.com dan shop.theelectricbrewery.com,
diakses 1 juni 2026)

Push button merupakan tombol tekan yang digunakan untuk memberikan perintah langsung seperti start, stop, atau reset. Sementara itu, *selector switch* digunakan untuk memilih mode kerja sistem, misalnya mode otomatis atau manual. Goeritno & Pratama menjelaskan bahwa *push button* dan *selector switch* umum digunakan sebagai perangkat input pada sistem kontrol. Pada SICHEDO, *push button* digunakan untuk menjalankan atau menghentikan proses, sedangkan *selector switch* digunakan untuk memilih mode kerja alat. Komponen ini membantu pengguna mengoperasikan sistem secara langsung dari panel kontrol (Goeritno & Pratama, 2020).

h. *Rocker Switch On Off*



Gambar II. 15. Rocker Switch On Off
(Sumber : mm.digikey.com, diakses 1 juni 2026)

Rocker switch on off merupakan saklar utama yang digunakan untuk menghubungkan dan memutus aliran listrik pada rangkaian alat. Pada

prototype SICHEDO, komponen ini berfungsi sebagai pengendali daya awal sebelum sistem dijalankan. Saat posisi saklar berada pada kondisi *ON*, arus listrik akan masuk ke rangkaian sehingga komponen seperti ESP32, OLED, sensor TDS, relay, dan pompa dapat bekerja. Sebaliknya, saat posisi *OFF*, aliran listrik ke sistem akan terputus sehingga alat berada dalam kondisi mati. Penggunaan *rocker switch* pada alat ini bertujuan agar proses menyalakan dan mematikan sistem lebih praktis, aman, dan mudah dikontrol oleh pengguna. Selain itu, saklar ini juga membantu mencegah alat menyala terus-menerus saat tidak digunakan.

i. Lampu Indikator

Lampu indikator merupakan komponen keluaran yang digunakan untuk memberikan tanda visual terhadap kondisi kerja alat. Pada prototype SICHEDO, lampu indikator berfungsi untuk membantu pengguna mengetahui status sistem tanpa harus selalu melihat tampilan OLED atau dashboard.



Gambar II. 16. Lampu Indikator Hijau dan Merah Dioda
(Sumber : ubuy.co.id, diakses 1 juni 2026)

Lampu indikator dapat digunakan untuk menunjukkan kondisi tertentu, seperti alat dalam keadaan aktif, mode sistem sedang digunakan, atau pompa sedang bekerja. Dengan adanya lampu indikator, pengguna dapat lebih mudah memantau kondisi alat secara langsung. Komponen ini penting karena memberikan informasi sederhana namun cepat, terutama saat alat sedang diuji atau dioperasikan di lapangan.

j. *Buzzer*



Gambar II. 17 Buzzer
(Sumber : betail.ng, diakses 1 juni 2026)

Buzzer merupakan komponen keluaran yang menghasilkan bunyi sebagai tanda atau indikator status sistem. Pada sistem elektronik, *buzzer* sering digunakan untuk memberikan peringatan ketika terjadi kondisi tertentu, seperti proses selesai, kesalahan input, atau status alat yang memerlukan perhatian pengguna. Dalam *SICHEDO*, *buzzer* digunakan sebagai indikator suara untuk memberi tanda saat proses *dosing* dimulai, dan selesai. Dengan adanya *buzzer*, pengguna dapat mengetahui status alat tidak hanya melalui tampilan OLED, tetapi juga melalui sinyal suara.

k. *Power Supply dan Step Down Converter*



Gambar II. 18 Power Supply dan Step Down Converter
(Sumber : rapidonline.com dan Robu.in, diakses 1 juni 2026)

Power supply berfungsi sebagai sumber daya utama untuk mengoperasikan rangkaian elektronik, sedangkan *step down converter*

l. Internet of Things



Internet of Things merupakan konsep yang menghubungkan perangkat fisik, sensor, mikrokontroler, dan jaringan internet agar data dapat dikirim serta dipantau secara daring. Ayu Syahfitri menjelaskan bahwa *Internet of Things* memungkinkan perangkat saling terhubung untuk mengirim dan menerima data. Dalam SICHEDO, konsep *Internet of Things* digunakan sebagai pendukung pemantauan nilai *Total Dissolved Solids* dan status sistem melalui *dashboard*. Penggunaan *Internet of Things* tidak mengubah prinsip kerja pompa, karena proses *chemical dosing* tetap dilakukan berdasarkan input target volume *chemical*.

Media uji air pendingin skala laboratorium merupakan wadah uji sederhana yang digunakan untuk menguji fungsi *monitoring* nilai *Total Dissolved Solids* dan proses *chemical dosing* pada *prototype* SICHEDO. Media ini tidak

dirancang untuk merepresentasikan keseluruhan proses kerja *cooling tower*, seperti perpindahan panas, kontak udara, penguapan, atau distribusi air melalui *fill pack*. Media uji hanya digunakan sebagai sarana pengujian terbatas agar sensor TDS, pompa dosing, dan sistem monitoring dapat diuji secara aman sebelum dikembangkan lebih lanjut.

Pada penelitian ini, media uji air pendingin dibuat menggunakan wadah plastik transparan berkapasitas 5 liter yang dilengkapi pompa sirkulasi kecil. Sensor *Total Dissolved Solids* ditempatkan pada sisi wadah sebagai titik pemantauan, sedangkan selang pompa *dosing* diarahkan ke titik injeksi *chemical*. Media ini digunakan untuk melihat kemampuan sistem dalam membaca perubahan nilai TDS dan menjalankan proses *dosing* berdasarkan input target volume serta durasi hasil kalibrasi pompa.

B. Kajian Penelitian Terdahulu yang Relevan

Penelitian ini mengacu pada beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pemantauan kualitas air *cooling tower*, penggunaan sensor, pengelolaan air pendingin, dan sistem *chemical dosing*. Kajian ini digunakan untuk melihat posisi penelitian SICHEDO terhadap penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

Tabel II. 1 Penelitian Terdahulu

No.	Nama Penulis, Tahun, dan Judul	Isi Singkat Penelitian	Persamaan Penelitian	Perbedaan Penelitian
1	Kurnianto dkk. (2023), “Sistem <i>Monitoring Total Dissolved Solid</i> (TDS) pada <i>Lower Basin Cooling Tower</i> Menggunakan Sensor	Merancang sistem pemantauan TDS secara <i>real-time</i> pada <i>lower basin cooling tower</i> di lingkungan bandar udara.	Sama-sama menggunakan sensor TDS untuk pemantauan kualitas air <i>cooling tower</i> dan memiliki konteks lingkungan bandar udara.	Penelitian Kurnianto dkk. berfokus pada pemantauan TDS, sedangkan penelitian ini mengembangkan SICHEDO yang menggabungkan pemantauan TDS dengan <i>chemical</i>

	Berbasis Internet di Bandar Udara Internasional Yogyakarta, Kulon Progo”			<i>dosing</i> otomatis berbasis input target volume <i>chemical</i> .
2	Novima dkk. (2021), “ <i>Monitoring Kualitas Air pada Cooling Tower untuk Mendukung Pengendalian Proses Blowdown berbasis Internet of Things</i> ”	Mengembangkan pemantauan kualitas air <i>cooling tower</i> berbasis <i>Internet of Things</i> dengan parameter pH, TDS, dan kekeruhan untuk mendukung pengendalian <i>blowdown</i> .	Sama-sama membahas pemantauan kualitas air <i>cooling tower</i> berbasis sensor dan menjadikan TDS sebagai salah satu parameter penting.	Novima dkk. berfokus pada pengendalian <i>blowdown</i> , sedangkan penelitian ini berfokus pada pemantauan TDS dan pemberian <i>chemical</i> otomatis pada media uji air pendingin skala laboratorium.
3	Nurrahman dkk. (2024), “Efisiensi Kinerja <i>Cooling Tower</i> di Unit Pengolahan Air di PT. X Sukowati”	Mengevaluasi efisiensi <i>cooling tower</i> dan menemukan adanya pertumbuhan lumut pada <i>cooling water pond</i> yang ditangani dengan pemberian bahan anti-alga.	Sama-sama membahas <i>cooling tower</i> , kondisi air pendingin, pertumbuhan biologis, dan pentingnya pemeliharaan.	Nurrahman dkk. berfokus pada evaluasi efisiensi dan tindakan pemeliharaan, sedangkan penelitian ini merancang <i>prototype</i> pemantauan TDS dan <i>chemical dosing</i> otomatis.
4	Müller dkk. (2024), “ <i>Comparison of Cooling Tower Blowdown and Enhanced Make-up Water Treatment to Minimize Cooling Water Footprint</i> ”	Membandingkan strategi pengolahan <i>blowdown</i> dan peningkatan kualitas <i>make-up water</i> untuk menekan penggunaan air pada sistem pendingin.	Sama-sama membahas pengelolaan air <i>cooling tower</i> , <i>blowdown</i> , <i>make-up water</i> , dan efisiensi penggunaan air.	Müller dkk. membahas strategi pengelolaan air secara luas, sedangkan penelitian ini mengembangkan <i>prototype</i> berbasis perangkat keras untuk pemantauan TDS dan

				pemberian <i>chemical</i> .
5	Hernández-Baño dkk. (2024), “Data-Monitoring Solution for Desalination Processes: Cooling Tower and Mechanical Vapor Compression Hybrid System”	Mengembangkan solusi pemantauan berbasis sensor pada sistem hibrida yang melibatkan <i>cooling tower</i> dan <i>mechanical vapor compression</i> , dengan akses data secara <i>real-time</i> .	Sama-sama menggunakan konsep pemantauan berbasis sensor pada sistem yang melibatkan <i>cooling tower</i> .	Hernández-Baño dkk. berfokus pada pemantauan proses desalinasi hibrida, sedangkan penelitian ini berfokus pada pemantauan TDS dan <i>chemical dosing</i> otomatis pada media uji air pendingin skala laboratorium.

Berdasarkan kajian tersebut, penelitian sebelumnya telah membahas pemantauan kualitas air berbasis sensor, pengelolaan *blowdown* dan *make-up water*, serta pengaruh kondisi air terhadap kinerja *cooling tower*. Namun, penelitian yang secara khusus menggabungkan pemantauan nilai *Total Dissolved Solids* dan *chemical dosing* otomatis berbasis input target volume *chemical* pada media uji air pendingin skala laboratorium masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini merancang SICHEDO sebagai *prototype* untuk membantu pemantauan TDS secara *real-time* dan pemberian *chemical* secara lebih terukur.