Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Indikasi *Maintenance* AC *Split* Berdasarkan Performa Sisi Udara dan Konsumsi Daya Berbasis IOT

Ilham Purnama[1], Pratikto[2], Ismail Wellid[3]

[1]*Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung*
E-mail: ilham.purnama.tptu422@polban.ac.id
[2]*Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung*
E-mail : pratikto@polban.ac.id
[3]*Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung*
E-mail : ismail.wellid@polban.ac.id

ABSTRAK

Pemeliharaan AC *split* yang bersifat reaktif tanpa data kondisi operasional aktual menyebabkan penurunan performa tidak terdeteksi dan pemborosan energi. Penelitian ini merancang dan membangun sistem *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk indikasi *maintenance* AC *split* yang mengintegrasikan analisis performa sisi udara dan konsumsi daya secara real-time. Sistem menggunakan arsitektur dual ESP32 yang berkomunikasi melalui protokol ESP-NOW, dilengkapi sensor SHT31 (*outlet* evaporator), DHT22 (*inlet* evaporator dan ruangan), serta SCT-013 (arus listrik). *Cooling capacity* aktual dihitung melalui pendekatan psikrometrik entalpi udara, sedangkan hasil *monitoring* ditampilkan melalui aplikasi Blynk, Google *Spreadsheet*, SD *Card*, dan LCD I2C lokal dengan indikator LED dan *buzzer*. Diagnosis kondisi AC menggunakan algoritma *Decision Tree multi-parameter* berdasarkan selisih temperatur evaporator, konsumsi daya, temperatur, dan kelembaban ruangan, menghasilkan empat klasifikasi status. Hasil kalibrasi menunjukkan MAE sensor DHT22 sebesar 0,26°C, SHT31 sebesar 0,13°C, dan SCT-013 sebesar 0,02 A. Pengujian 60 menit pada set point 20°C menghasilkan *cooling capacity* aktual rata-rata 2,4 kW (8.260,8 BTU/h) dari kapasitas nominal 3,75 kW dengan *performance ratio* 58,4%. Distribusi status menunjukkan 58% data berstatus NORMAL, 29% PERLU OBSERVASI, dan 13% AC OFF, tanpa satu pun data berstatus kritis.

Kata Kunci:
AC *Split*, *Cooling Capacity*, *Decision Tree*, IoT, *Performance Ratio*

ABSTRACT

Reactive maintenance of split air conditioners without actual operating condition data leads to undetected performance degradation and energy waste. This study designs and develops an IoT-based maintenance-indication monitoring system for split air conditioners that integrates real-time air-side performance analysis and power-consumption monitoring. The system uses a dual-ESP32 architecture communicating via the ESP-NOW protocol, equipped with an SHT31 sensor (evaporator outlet), DHT22 sensors (evaporator inlet and room), and an SCT-013 current sensor. Actual cooling capacity is calculated through a psychrometric air-enthalpy approach, while monitoring results are displayed through the Blynk application, Google Spreadsheet, SD Card, and a local I2C LCD with LED and buzzer indicators. AC condition diagnosis uses a multi-parameter Decision Tree algorithm based on evaporator temperature difference, power consumption, room temperature, and room humidity, yielding four status classifications. Calibration results show a MAE of 0.26°C for DHT22, 0.13°C for SHT31, and 0.02 A for SCT-013. A 60-minute test at a 20°C set point yielded an average actual cooling capacity of 2.4 kW (8,260.8 BTU/h) against a nominal capacity of 3.75 kW, with an average performance ratio of 58.4%. Status distribution showed 58% NORMAL, 29% NEEDS OBSERVATION, and 13% AC OFF, with no data in critical status.

Keywords:
Air Conditioner, Cooling Capacity, Decision Tree, IoT, Performance Ratio

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi *Heating, Ventilation, and Air Conditioning* (HVAC), khususnya AC *split*, terus meningkat seiring tingginya kebutuhan kenyamanan termal pada bangunan komersial, pendidikan, dan rumah tangga di wilayah tropis seperti Indonesia. AC dilaporkan mengonsumsi energi hingga 63% dari total konsumsi energi bangunan komersial, sehingga pengelolaan energi AC menjadi prioritas dalam efisiensi energi dan pengurangan dampak lingkungan (1). Performa AC sangat dipengaruhi oleh kondisi komponen seperti evaporator, kondensor, filter udara, dan blower; penurunan kondisi komponen tersebut menyebabkan kapasitas pendinginan menurun dan konsumsi daya listrik meningkat.

Praktik pemeliharaan AC pada umumnya masih bersifat reaktif, yaitu perbaikan dilakukan setelah kerusakan terjadi, sehingga meningkatkan risiko kerusakan serius dan biaya perbaikan yang lebih tinggi (2). Pendekatan *Time-Based Maintenance* (TBM) yang umum diterapkan juga sering menyebabkan pemeliharaan terlalu dini atau terlambat, yang menurunkan efisiensi sistem dan meningkatkan biaya operasional (3). Pemeriksaan performa yang masih dilakukan secara manual menggunakan alat ukur terpisah membuat proses *monitoring* menjadi kurang praktis dan tidak dapat dilakukan secara *real-time*, sehingga penurunan performa AC sering terlambat diketahui.

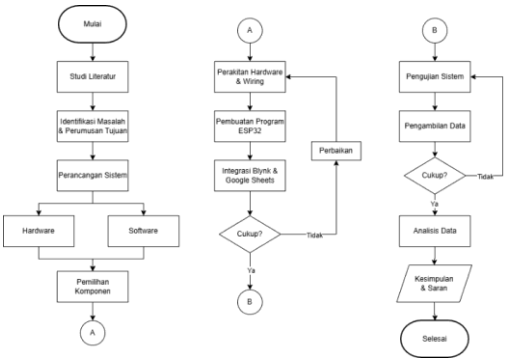
Parameter utama untuk mengetahui performa AC *split* dari sisi udara adalah *cooling capacity*, yaitu kemampuan AC menyerap kalor dari ruangan yang sebanding dengan laju aliran massa udara dan selisih entalpi udara masuk-keluar evaporator (4). Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan proses *monitoring* dilakukan secara *real-time* dan terintegrasi menggunakan mikrokontroler berbiaya rendah seperti ESP32 (5,6). Integrasi data ke platform seperti Blynk dan Google *Spreadsheet* juga telah terbukti berhasil dilakukan dengan pembaruan data yang periodik dan konsisten (7,8).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini merancang dan membangun sistem *monitoring* performa sisi udara dan konsumsi daya pada AC *split* berbasis IoT sebagai indikator kebutuhan *maintenance*. Sistem dirancang untuk memantau parameter temperatur, kelembaban, dan arus listrik secara *real-time*, menghitung *cooling capacity* menggunakan metode entalpi udara, serta mengevaluasi kondisi AC menggunakan algoritma *decision tree multi-parameter*, sehingga proses *maintenance* dapat dilakukan lebih efektif dan efisien.

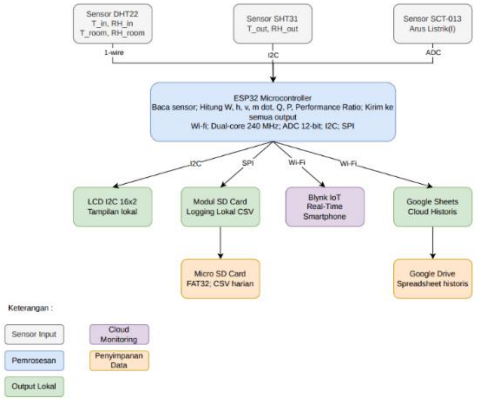
2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Arsitektur Sistem

Sistem *monitoring* dibangun menggunakan arsitektur dual ESP32 yang saling berkomunikasi melalui protokol ESP-NOW. ESP32 Master berfungsi sebagai pusat akuisisi data dan komputasi, mengintegrasikan sensor SHT31 (*outlet* evaporator), DHT22 (*inlet* evaporator), sensor arus SCT-013, serta modul SD Card. ESP32 Slave berfungsi sebagai antarmuka lokal dan node pemantau kondisi ruangan, dilengkapi sensor DHT22 ruangan, LCD I2C 16×2, tiga LED indikator status, dan *buzzer*. Hasil perhitungan dikirimkan ke *platform* Blynk IoT dan Google *Sheets* melalui koneksi Wi-Fi. Diagram alir tahapan penelitian dan diagram blok sistem ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Diagram alir tahapan penelitian



Gambar 2. Diagram blok sistem *monitoring*

2.2 Penempatan Sensor

Sensor DHT22 ditempatkan pada sisi *inlet* evaporator untuk merepresentasikan kondisi udara ruangan sebelum pendinginan, sedangkan sensor SHT31 ditempatkan pada sisi *outlet* evaporator untuk merepresentasikan kondisi udara setelah didinginkan. Sensor arus SCT-013 dipasang secara *non-invasif* dengan menjepit kabel fase menuju kompresor unit *outdoor* tanpa memutus rangkaian listrik yang sedang beroperasi.

2.3 Perhitungan Cooling Capacity

Perhitungan performa sisi udara mengikuti alur psikrometrik (9,10). Tekanan uap air jenuh dihitung menggunakan persamaan Tetens yang dimodifikasi:

$$P_{sat} = 0{,}61078 \times \exp(17{,}27T/(T+237{,}3)) \quad (1)$$

dengan T adalah temperatur *dry bulb* (°C). Tekanan parsial uap air aktual P_v = (RH/100) × P_{sat} (11). *Humidity ratio* dihitung dari:

$$W = 0{,}62198\ P_v / (P - P_v) \quad (2)$$

dengan P = 101,325 kPa (tekanan atmosfer standar) . Entalpi udara lembab dihitung menggunakan:

$$h = 1{,}006T + W(2501 + 1{,}86T) \quad (3)$$

Entalpi dihitung untuk kondisi *inlet* (h_{in}) menggunakan data DHT22 dan kondisi *outlet* (h_{out}) menggunakan data SHT31 (12). *Cooling capacity* aktual diperoleh dari perkalian laju aliran massa udara ($\dot{m}$) dan selisih entalpi:

$$Q = \dot{m}\,\Delta h = \dot{m}(h_{in} - h_{out}) \quad (4)$$

dengan $\dot{m} = Q_v/v$, di mana Q_v adalah debit volumetrik udara ($A \times V$) dan v adalah specific volume udara. Luas penampang saluran (A = 0,0888 m²) dan kecepatan udara (V = 1,6 m/s) diperoleh dari pengukuran fisik dan ditetapkan sebagai konstanta pada *firmware*, sehingga Q_v = 0,1421 m³/s. *performance ratio* dihitung sebagai:

$$PR = (Q_{aktual}/Q_{nominal}) \times 100\% \quad (5)$$

dengan $Q_{nominal}$ = 3,75 kW sesuai spesifikasi *nameplate* AC 1,5 PK yang diuji (13).

2.4 Algoritma Decision Tree

Diagnosis kondisi AC menggunakan algoritma *decision tree* berbasis akumulasi indikasi dari empat parameter independen: selisih temperatur evaporator (ΔT), konsumsi daya listrik yang disesuaikan dengan spesifikasi unit AC yang di uji, temperatur ruangan, dan kelembaban relatif ruangan (14). Ambang batas masing-masing parameter ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter dan ambang batas diagnostik algoritma Decision Tree

Parameter	Simbol	Ambang Batas	Kondisi Penambahan Indikasi
Delta Temperatur Evaporator	ΔT	8,0 – 15,0 °C	ΔT < 8,0 °C, > 15°C
Daya Listrik Input	P	800 - 1260 W	P < 800 W, > 1260 W
Temperatur Ruangan	T_room	± 2,0°C *Set point* Saat *Steady state*	T_room > 2,0°C, < 2,0°C *set point*
Kelembaban Relatif Ruangan	RH_room	40 - 70 %	RH_room < 40%, > 70 %

Setiap parameter yang melewati ambang batas menambah satu variabel indikasi (0–4). Status akhir dipetakan berdasarkan total indikasi: 0 = NORMAL, 1 = PERLU OBSERVASI, 2 = PENURUNAN PERFORMA, dan ≥3 = PERLU *MAINTENANCE*. Dua kondisi prasyarat ditetapkan di luar skema akumulasi, yaitu status "AC OFF" apabila arus terukur < 0,5 A, dan status "SENSOR ERROR" apabila pembacaan sensor utama tidak valid.

2.5 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan pada satu unit AC *split* 1,5 PK (kapasitas nominal 3,75 kW / 12.800 BTU/h) di Laboratorium Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, pada set point 20°C dan kecepatan fan medium. Setelah kondisi *steady state* tercapai (±15 menit), data direkam otomatis setiap ±10 detik selama 60 menit dan disimpan ke SD *Card*, Google *Sheets*, serta ditampilkan melalui Blynk. Data dianalisis menggunakan statistik deskriptif (rata-rata, minimum, maksimum, standar deviasi) serta distribusi frekuensi status *decision tree*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi Hardware

Kedua unit sistem *monitoring* berhasil dirakit dan berfungsi sesuai rancangan (Gambar 3). Seluruh sensor dan modul pendukung terpasang pada posisi yang telah ditentukan tanpa kendala fungsional yang berarti.

Gambar 3. Unit ESP32 Master hasil perakitan

3.2 Pengujian Komunikasi dan Kalibrasi Sensor

Pengujian fungsional terhadap sembilan jalur komunikasi (sensor DHT22, SHT31, SCT-013, LCD I2C, SD *Card*, Wi-Fi, Blynk, Google *Sheets*, dan ESP-NOW antar ESP32) menunjukkan status OK pada seluruh komponen, membuktikan sistem siap digunakan untuk pengambilan data. Hasil kalibrasi ketiga sensor terhadap instrumen referensi ditunjukkan pada Gambar 4 dan Tabel 2.

Gambar 4. Perbandingan pembacaan sensor DHT22, SHT31, dan SCT-013 terhadap instrumen referensi

Tabel 2. Hasil kalibrasi sensor terhadap instrumen referensi

Sensor	Parameter	Rentang Uji	MAE
DHT22 (*inlet*)	Temperatur	10 titik	0,26 °C
SHT31 (*outlet*)	Temperatur	10 titik	0,13 °C
SCT-013	Arus listrik	10 titik	0,02 A (0,52%)

Seluruh nilai galat berada jauh di bawah ambang toleransi standar pabrikan sensor (15,16), sehingga ketiga sensor dinyatakan valid untuk digunakan dalam sistem *monitoring*. Verifikasi perhitungan firmware terhadap perhitungan manual spreadsheet menggunakan satu set data yang sama menunjukkan kesesuaian penuh pada parameter *cooling capacity* (kW), daya listrik (W), dan *performance ratio*, dengan selisih hanya 1 BTU/h pada satuan BTU/h akibat

pembulatan desimal, sehingga logika perhitungan pada *firmware* dinyatakan bebas dari kesalahan sistematis.

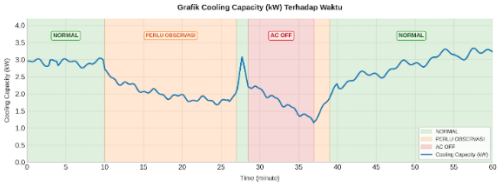
3.3 Data Hasil Pengukuran

Pengujian selama 60 menit pada *set point* 20°C menghasilkan 335 titik data valid. Rekap statistik ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekap statistik data hasil *monitoring* 60 menit (set point 20°C)

Parameter	Min.	Maks.	Rata-rata
T_in (°C)	24,9	26,0	25,4
T_out (°C)	14	20,4	16,7
ΔT (°C)	5,2	11,8	8,7
Δh (kJ/kg)	7,2	19,7	14,1
Q (kW)	1,2	3,4	2,4
Q (BTU/h)	4125	11635	8260,8
Arus (A)	0	5,3	4,2
Daya (W)	0	1084	867,2
PR (%)	0	90,9	58,4

Temperatur *inlet* relatif stabil (rata-rata 25,4°C; SD 0,25°C), sedangkan temperatur *outlet* berfluktuasi dinamis (13,5–20,4°C; SD 2,12°C) mengikuti siklus kerja kompresor. Selisih entalpi rata-rata 14,1 kJ/kg dikombinasikan dengan laju aliran massa udara konstan 0,171 kg/s menghasilkan *cooling capacity* aktual rata-rata 2,4 kW (8.260,8 BTU/h) dari kapasitas nominal 3,75 kW (12.800 BTU/h), setara *performance ratio* rata-rata 58,4% dengan nilai puncak 90,9%. Nilai minimum nol pada arus, daya, dan PR menunjukkan periode *off-cycle* kompresor, bukan kegagalan sistem.



Gambar 5. Grafik Cooling Capacity (kW) terhadap waktu selama 60 menit pengujian

Gambar 5 menunjukkan tren *cooling capacity* yang berfluktuasi dalam rentang 1,2–3,4 kW sepanjang periode pengujian, mengikuti pola siklus on/off kompresor serta perubahan beban pendinginan ruangan seiring waktu.

3.4 Evaluasi Algoritma Decision Tree

Dari empat parameter yang dipantau, hanya ΔT < 8,0°C yang menunjukkan frekuensi indikasi signifikan, yaitu 128 kali (40% dari total data) yang didapatkan dari simulasi pengujian status yang di diagnosis oleh algoritma *decision tree*, sedangkan indikasi daya, temperatur ruangan, dan kelembaban ruangan tercatat nol. Distribusi status akhir ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Distribusi status kondisi AC berdasarkan algoritma *Decision Tree*

Status	Jumlah Data	Persentase
NORMAL	195	58%
PERLU OBSERVASI	97	29%
PENURUNAN PERFORMA	0	0%
PERLU *MAINTENANCE*	0	0%
AC OFF	43	13%
SENSOR ERROR	0	0%

Status NORMAL mendominasi dengan 195 data (58%), diikuti PERLU OBSERVASI 97 data (29%), dan AC OFF 43 data (13%), tanpa satu pun data pada status PENURUNAN PERFORMA, PERLU *MAINTENANCE*, atau SENSOR ERROR. Hasil ini menunjukkan bahwa unit AC yang diuji berada dalam kondisi kesehatan operasional yang baik; sebagian besar indikasi ΔT rendah berkorelasi dengan fase off-cycle kompresor dan simulasi diagnosis algoritma *decision tree*, bukan indikasi kerusakan komponen.

3.5 Kestabilan Sistem Monitoring

Interval rata-rata pengiriman data tercatat 10,8 detik, mendekati target ±10 detik, dengan tingkat keberhasilan pengiriman 92,5% (310 dari 335 titik data terencana). Standar deviasi temperatur *inlet* dan temperatur ruangan masing-masing 0,25°C dan 0,52°C menunjukkan kestabilan pembacaan sensor yang baik, sedangkan fluktuasi temperatur *outlet* (SD 2,13°C) merepresentasikan respons dinamis evaporator terhadap siklus kerja kompresor, bukan ketidakstabilan sensor.

4. KESIMPULAN

Sistem monitoring indikasi maintenance AC split berbasis IoT dengan arsitektur dual ESP32 berhasil dirancang dan diimplementasikan. Sensor DHT22, SHT31, dan SCT-013 menghasilkan akurasi tinggi dengan MAE masing-masing 0,26°C, 0,13°C, dan 0,02 A, serta kalkulasi firmware yang terverifikasi identik dengan perhitungan manual. Hasil monitoring berhasil ditampilkan secara real-time melalui Blynk IoT, Google Spreadsheet, SD Card, dan LCD lokal dengan tingkat keberhasilan pengiriman data 92,5%. Algoritma decision tree multi-parameter berhasil mengklasifikasikan kondisi AC split yang diuji sebagai didominasi status NORMAL (58%) dan PERLU OBSERVASI (29%), dengan cooling capacity aktual rata-rata 2,4 kW (Performance Ratio 58,4%) dari kapasitas nominal 3,75 kW, tanpa satu pun indikasi kondisi kritis selama periode pengujian. Namun, karena pengujian hanya dilakukan pada satu unit AC split selama 60 menit, hasil evaluasi dan threshold algoritma yang diperoleh masih bersifat temuan awal dan belum dapat digeneralisasikan untuk berbagai jenis maupun kondisi operasi AC split. Pengembangan lebih lanjut disarankan melalui penambahan sensor kecepatan udara langsung pada saluran indoor unit, peningkatan stabilitas koneksi Wi-Fi untuk menekan data dropout, serta pengujian pada variasi unit AC dan durasi pengamatan yang lebih beragam untuk memvalidasi threshold algoritma secara lebih representatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, atas fasilitas laboratorium yang disediakan, serta kepada dosen pembimbing dan dosen penguji atas arahan, bimbingan serta masukan yang diberikan selama penelitian ini berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

1. Sugiartha N, Okgiarta IDMGS, Sugina IM, Tri Putra IDGA. Monitoring Suhu dan Konsumsi Energi AC Split Berbasis Blynk IoT . Vol. 4, Journal of Energy, Materials, & Manufacturing Technology . 2025. p. 10–6.

2. Nuryasa IMF, Hayatalfalah A, Sulistiyowati I, Ahfas A. Monitoring Tekanan Freon dan Beban Arus Kompresor Untuk Menjaga Efisiensi Kinerja Pendingin Ruangan (AC) Berbasis Internet of Things TIN : Terapan Informatika Nusantara. 2026;6(8):1270–9.

3. Hartman B, Mustofa Kamal D, Zainuri F. Optimasi Efisiensi Perawatan Air Conditioning Tipe Split dengan Penerapan Pembersih Filter Otomatis Berbasis Condition-Base Maintenance. Infotekmesin. 2025;16(1):99–106.

4. Setyawan A, Najmudin H, Badarudin A, Sunardi C. Evaluation of Split-Type Air Conditioner Performance Under Constant Outdoor Moisture Content and Varied Dry-Bulb Temperature. Int J Heat Technol [Internet]. 2022;40(5). Available from: https://doi.org/10.18280/ijht.400521

5. Patel C, Solanki KL, Kumar V, Chakradhar V, Panigrahi SK. IoT-driven monitoring and controlling to improve performance of thermoelectric air conditioning system. J Build Eng [Internet]. 2024 Oct 15 [cited 2026 May 22];95:110081. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710224016498

6. El-Khozondar HJ, Mtair SY, Qoffa KO, Qasem OI, Munyarawi AH, Nassar YF, et al. A smart energy monitoring system using ESP32 microcontroller. e-Prime - Adv Electr Eng Electron Energy [Internet]. 2024;9(June):100666. Available from: https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100666

7. Ananda Putra H, Rosano A. Implementasi IOT Dalam Sistem Monitoring Kualitas Air Menggunakan Platform Blynk Dan Googlesheet. INSANtek. 2024;5(1):15–21.

8. Gamaliel F, Arliyanto PYD. Implementasi Sistem Monitoring dan Kontrol Air Conditioner Menggunakan Internet of Things. J Inform dan Tek Elektro Terap [Internet]. 2023;11(3). Available from: https://doi.org/10.23960/jitet.v11i3.3080

9. Yang Z, Ding L, Xiao H, Zhang G, Wang B, Shi W. All-condition measuring methods for field performance of room air conditioner. Appl Therm Eng [Internet]. 2020 Nov 5 [cited 2026 Aug 12];180:115887. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S135943112033369X?via%3Dihub

10. Cengel YA, Boles MA. Thermodynamics: An Engineering Approach. 8th ed. McGraw-Hill Education; 2014.

11. Murray FW. On the Computation of Saturation Vapor Pressure. J Appl Meteorol [Internet]. 1967 Feb;6(1):203–4. Available from: http://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/1520-0450(1967)006%3C0203:OTCOSV%3E2.0.CO;2

12. ASHRAE. ASHRAE Handbook--Fundamentals (SI Edition). Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; 2021.

13. Tahan B. M, Muhammad M, Karim ZAA. A Framework for Intelligent Condition-based Maintenance of Rotating Equipment using Mechanical Condition Monitoring. Karuppanan S, Abdul Karim ZA, Ovinis M, Tesfamichael Baheta A, editors. MATEC Web Conf [Internet]. 2014 Jul 17;13:05011. Available from: http://www.matec-conferences.org/10.1051/matecconf/20141305011

14. ASHRAE. ASHRAE Handbook—Fundamentals [Internet]. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; 2017. Available from: https://www.ashrae.org/technical-resources/ashrae-handbook

15. Sensirion A. SHT3x-DIS Datasheet: Humidity and Temperature Sensor IC [Internet]. 2023. Available from: https://www.sensirion.com/products/catalog/SHT31-DIS/

16. YHDC. SCT-013 Series Split Core Current Transformer Datasheet [Internet]. YHDC Electronics; 2015. Available from: https://yhdc.en.made-in-china.com