

**Buku Ajar & Modul
Perkuliahan**



ITATS
INSTITUT
TEKNOLOGI
ADHI TAMA
SURABAYA

PEMROGRAMAN INTERNET OF THINGS (IOT)

(KODE MK: 25137143)

Buku Ajar & Modul Perkuliahan
Teori, Arsitektur 4-Layer,
Mikrokontroler ESP32 & RP2040 Pico,
Protokol MQTT, Pipeline Node-RED
& InfluxDB, Edge AI (TinyML)



Isa Albanna, S.Si., M.Si.
Edisi Pertama, 2026/2027

**PROGRAM STUDI S1 SISTEM INFORMASI
FAKULTAS TEKNIK ELEKTRO DAN TEKNOLOGI INFORMASI
INSTITUT TEKNOLOGI ADHI TAMA SURABAYA**

BUKU AJAR & MODUL PERKULIAHAN

PEMROGRAMAN INTERNET OF THINGS (IOT) (KODE MK: 25137143)

Buku Ajar & Modul Perkuliahan Teori, Arsitektur 4-Layer, Mikrokontroler ESP32 & RP2040 Pico, Protokol MQTT/HTTP/CoAP, Pipeline Node-RED & InfluxDB, Cloud Middleware (ThingsBoard/AWS), Edge AI (TinyML), & Integrasi Sistem Informasi Enterprise

Pemrograman Internet of Things (25137143) - S1 Sistem Informasi ITATS

Dosen Pengembang RPS & Pengampu:

Isa Albanna, S.Si., M.Si.

Bobot: 3 SKS (Semester 7 - Teori & Penugasan Terstruktur) | Kode Dokumen:
1.7.1.1/ITATS/KURIKULUM 2021/JTS/01
Program Studi S1 Sistem Informasi
Fakultas Teknik Elektro dan Teknologi Informasi
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS)
Edisi Pertama, Tahun Akademik 2026/2027

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur senantiasa kita panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga buku ajar dan modul perkuliahan "Pemrograman Internet of Things (Kode MK: 25137143)" ini dapat diselesaikan dengan baik dan terstruktur.

Internet of Things (IoT) telah berkembang dari sekadar konsep konektivitas perangkat fisik menjadi tulang punggung revolusi industri 4.0 dan transformasi digital sistem informasi enterprise. Di era komputasi cerdas saat ini, miliaran sensor dan perangkat tepi (Edge Devices) terus-menerus mengumpulkan, memproses, dan mempertukarkan data telemetri real-time untuk mendukung otomatisasi proses bisnis, efisiensi energi, pelacakan rantai pasok (Supply Chain), hingga pengambilan keputusan strategis berbasis kecerdasan buatan (Artificial Intelligence).

Bagi mahasiswa Program Studi S1 Sistem Informasi, penguasaan pemrograman IoT tidak hanya berfokus pada perakitan sirkuit elektronik, melainkan lebih menitikberatkan pada integrasi holistik data telemetri ke dalam ekosistem sistem informasi organisasi—mulai dari akuisisi data sensor melalui mikrokontroler modern (ESP32 SoC dan Raspberry Pi Pico), komunikasi protokol jaringan berbobot ringan (MQTT, HTTP REST API, CoAP, WebSockets), pemrosesan data deret waktu (Time-Series Data Pipeline dengan Node-RED dan InfluxDB), visualisasi dasbor analitik dinamis (Grafana dan ThingsBoard), manajemen keamanan perangkat dan data transit (TLS/SSL & X.509), hingga penerapan Edge AI (TinyML) dan analitik prediktif enterprise.

Buku modul perkuliahan ini disusun secara komprehensif mengacu pada Rencana Pembelajaran Semester (RPS) resmi Kurikulum 2021 Program Studi S1 Sistem Informasi ITATS, mencakup 6 Bahan Kajian Pokok yang dipetakan ke dalam 6 Bab Utama:

1. Pendahuluan Internet of Things, Arsitektur 4 Lapisan, dan Perangkat IoT: Mikrokontroler (ESP32/RP2040) dan Sensor/Aktuator (SubCPMK 1 | Minggu 1-3 | Tugas 1 10%).
2. Pemrograman Dasar IoT, Protokol Komunikasi Data (MQTT Pub/Sub vs. HTTP), dan Integrasi Sistem Informasi (SubCPMK 2 | Minggu 4-6 | Tugas 2 15%).
3. Pengolahan Data Deret Waktu (Time-Series), Pipeline Low-Code Node-RED, Visualisasi Dasbor Grafana, dan Evaluasi UTS (SubCPMK 3 | Minggu 7-8 | UTS 25%).
4. Middleware dan Cloud Platform IoT (ThingsBoard / AWS IoT Core), Keamanan Sistem (Defense-in-Depth), dan IoT dalam Sistem Informasi Bisnis (SubCPMK 4 | Minggu 9-11 | Tugas 3 10%).
5. Integrasi IoT dengan Big Data, Edge AI (TinyML), dan Tren Masa Depan Sistem Informasi Cerdas (SubCPMK 5 | Minggu 12-14 | Tugas 4 15%).
6. Perancangan Solusi IoT Terpadu, Implementasi Proyek Akhir Enterprise, dan Evaluasi Akhir Semester (SubCPMK 6 | Minggu 15-16 | UAS 25%).

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ketua Program Studi Sistem Informasi ITATS (Ibu Budanis Dwi Meilani, S.T., M.Kom.), pimpinan Fakultas Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, serta seluruh sivitas akademika atas dukungan moril dan diskusinya. Semoga buku ajar ini dapat menjadi referensi berbobot dan

panduan praktis dalam mencetak Sarjana Sistem Informasi yang unggul sebagai IoT Solution Architect, Data Engineer, maupun System Integrator.

Kritik dan saran konstruktif senantiasa penulis nantikan demi penyempurnaan di masa yang akan datang.

Surabaya, Agustus 2026

Dosen Pengembang & Pengampu,

Isa Albanna, S.Si., M.Si.

PETUNJUK PENGGUNAAN & PETA KOMPETENSI RPS

Buku modul perkuliahan ini disusun berbasis Outcome-Based Education (OBE) untuk perkuliahan 3 SKS Teori & Penugasan Terstruktur Terpadu pada Semester 7, mengintegrasikan metode Kuliah Interaktif, Diskusi Desain Sistem, Bedah Arsitektur Komunikasi IoT, Analisis Data Telemetry, dan Pengerjaan Lembar Kerja Proyek Terstruktur.

Bagi Dosen Pengampu:

1. Mengarahkan perkuliahan sesuai dengan silabus 16 Minggu pada RPS resmi ITATS.
2. Memfasilitasi pemahaman konseptual arsitektur 4-layer IoT, protokol MQTT, keamanan TLS/SSL, dan integrasi cloud middleware terhadap sistem informasi bisnis.
3. Melakukan evaluasi berkala berbasis rubrik proses dan portofolio unjuk kerja sesuai matriks korelasi tugas RPS (Tugas 1 10%, Tugas 2 15%, UTS 25%, Tugas 3 10%, Tugas 4 15%, dan UAS 25% dengan total bobot kumulatif 100%).

Bagi Mahasiswa:

1. Pahami Capaian Pembelajaran Lulusan (CPL-6 & CPL-7) serta Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK-1 & CPMK-2) di awal setiap bab.
2. Pelajari konsep integrasi perangkat fisik (ESP32/Pico) ke protokol komunikasi data (MQTT/HTTP) hingga penyimpanan basis data time-series (InfluxDB) dan dasbor visual (Grafana).
3. Kerjakan seluruh Lembar Kerja Penugasan Terstruktur (Worksheets) yang merepresentasikan tugas resmi RPS:

- Tugas 1: Analisis Arsitektur IoT, Identifikasi Mikrokontroler & Pemilihan Sensor (Minggu 1-3 | Bobot 10%).
- Tugas 2: Pemrograman Komunikasi Data MQTT & Integrasi Webhook API (Minggu 4-6 | Bobot 15%).
- Evaluasi Tengah Semester (UTS): Desain Pipeline Data IoT & Visualisasi Time-Series (Minggu 7-8 | Bobot 25%).
- Tugas 3: Konfigurasi Middleware Cloud (ThingsBoard) & Audit Keamanan IoT (Minggu 9-11 | Bobot 10%).
- Tugas 4: Integrasi Edge AI / TinyML & Analitik Prediktif Big Data (Minggu 12-14 | Bobot 15%).
- Evaluasi Akhir Semester (UAS): Portofolio Solusi IoT Terpadu & Presentasi Final Proyek (Minggu 15-16 | Bobot 25%).

Capaian Pembelajaran Lulusan (CPL) & CPMK

Kode	Deskripsi Capaian Pembelajaran (RPS Resmi)
CPL-6	Mampu memahami, merancang menggunakan sistem manajemen basis data, serta mengolah dan menganalisa data dengan peralatan dan metode pengolahan data.
CPL-7	Mampu memahami dan menggunakan berbagai metodologi pengembangan sistem beserta alat permodelan serta menganalisis kebutuhan pengguna dalam membangun sistem informasi yang berkualitas untuk mencapai tujuan organisasi dan/atau enterprise.
CPMK-1 (50%)	Mampu mengolah data dengan alat dan teknik pengolahan data (Akuisisi sensor, protokol MQTT, basis data time-series, dan visualisasi dasbor).
CPMK-2 (50%)	Mampu menggunakan berbagai alat pengembangan sistem (Mikrokontroler ESP32/Pico, Node-RED, Cloud IoT Platform, dan Edge AI).

Pemetaan Sub-CPMK & Bobot Penilaian Tugas RPS

Sub-CPMK & Bobot	Kemampuan Akhir Tiap Tahapan Belajar
SubCPMK 1 (Minggu 1-3 10%)	Mahasiswa mampu menjelaskan konsep dasar IoT, arsitektur sistem IoT, serta perannya dalam mendukung sistem informasi organisasi [C2, A2, P2].
SubCPMK 2 (Minggu 4-6 15%)	Mahasiswa mampu memprogram perangkat IoT (mikrokontroler, sensor, aktuator) untuk mengumpulkan data secara real-time [C3, A3, P2].
SubCPMK 3 (Minggu 7-8 25%)	Mahasiswa mampu mengintegrasikan perangkat IoT dengan jaringan komunikasi (Wi-Fi, MQTT, HTTP, LoRa) dan sistem informasi berbasis web/cloud serta evaluasi UTS [C3, A2, P2].
SubCPMK 4 (Minggu 9-11 10%)	Mahasiswa mampu mengembangkan aplikasi IoT yang menyimpan, mengolah, dan menampilkan data sensor dalam bentuk informasi yang bermanfaat [C3, A3, P3].
SubCPMK 5 (Minggu 12-14 15%)	Mahasiswa mampu melakukan analisis, pengujian, dan evaluasi kinerja sistem IoT, termasuk aspek keamanan data dan interoperabilitas dengan sistem informasi lain [C3, A3, P3].
SubCPMK 6 (Minggu 15-16 25%)	Mahasiswa mampu bekerja secara kolaboratif untuk merancang solusi berbasis IoT yang mendukung pengambilan keputusan dalam bidang sistem informasi dan evaluasi UAS [C3, A3, P3].

Roadmap Perkuliahan 16 Pertemuan & Korelasi Penugasan RPS

Minggu	Bahan Kajian & Topik Perkuliahan	Bentuk Evaluasi / Tugas
Minggu 1-3	Pendahuluan IoT, Arsitektur 4-Layer, & Perangkat Keras: Mikrokontroler & Sensor (Bahan Kajian 1 / SubCPMK 1)	Kuliah Teori, Diskusi Arsitektur, Tugas 1: Analisis Hardware & Arsitektur IoT (10%)
Minggu 4-6	Pemrograman Dasar IoT, Komunikasi Data MQTT/HTTP, &	Kuliah Interaktif, Diskusi Protokol Pub/Sub, Tugas

	Integrasi SI (Bahan Kajian 2 / SubCPMK 2)	2: Pemrograman Komunikasi Data IoT (15%)
Minggu 7	Pengolahan & Visualisasi Data Time-Series (Node-RED & InfluxDB / Grafana) (Bahan Kajian 3 / SubCPMK 3)	Studi Kasus Pipeline Data, Pembahasan Persiapan Evaluasi Tengah Semester
Minggu 8	Evaluasi Tengah Semester (UTS)	Ujian Teori & Portofolio Desain Pipeline Data IoT (Bobot 25% kumulatif)
Minggu 9-11	Middleware Platform (ThingsBoard/AWS), Keamanan IoT, & Kasus Bisnis (Bahan Kajian 4 / SubCPMK 4)	Kuliah Teori Cloud IoT, Audit Keamanan, Tugas 3: Konfigurasi Middleware & Keamanan (10%)
Minggu 12-14	Integrasi IoT dengan Big Data, Edge AI (TinyML), & Analitik Prediktif (Bahan Kajian 5 / SubCPMK 5)	Kuliah Edge Computing, Model TinyML, Tugas 4: Evaluasi Kinerja & Edge AI (15%)
Minggu 15	Perancangan Solusi Sistem Informasi Berbasis IoT & Studi Kasus Enterprise (Bahan Kajian 6 / SubCPMK 6)	Bimbingan Portofolio Proyek Akhir, Diskusi Desain Arsitektur Enterprise
Minggu 16	Evaluasi Akhir Semester (UAS)	Presentasi Final Proyek Solusi IoT & Validasi Dokumen (Bobot 25% kumulatif)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL & IDENTITAS MATA KULIAH	1
KATA PENGANTAR DOSEN PENGAMPU	2
PETUNJUK PENGGUNAAN & PETA KOMPETENSI RPS	4
DAFTAR ISI	7
BAB 1: PENDAHULUAN IOT, ARSITEKTUR, & PERANGKAT KERAS	11
1.1 Konsep Dasar & Evolusi Internet of Things (IoT)	11
1.2 Arsitektur 4 Lapisan Sistem IoT (Four-Layer Model)	12
1.3 Mikrokontroler ESP32 SoC vs. Komputer Mikroprosesor	13
1.4 Antarmuka Periferal: GPIO, ADC, I2C, SPI, & Aktuator	14
1.5 Lembar Kerja 1 (Tugas 1 RPS): Arsitektur & Hardware	15
1.6 Rangkuman & Soal Evaluasi Bab 1	17
BAB 2: PEMROGRAMAN DASAR IOT, PROTOKOL DATA, & INTEGRASI SI	19
2.1 Lingkungan Pemrograman Arduino C/C++ & MicroPython	19
2.2 Konektivitas Wi-Fi & Logika Non-Blocking (millis())	20
2.3 Komparasi Protokol: HTTP REST API vs. MQTT Pub/Sub	21
2.4 Serialisasi JSON & Format Data Telemetry Enterprise	23
2.5 Lembar Kerja 2 (Tugas 2 RPS): Pemrograman MQTT	24
2.6 Rangkuman & Soal Evaluasi Bab 2	25
BAB 3: PENGOLAHAN DATA TIME-SERIES, NODE-RED, & EVALUASI UTS	27
3.1 Karakteristik Data IoT: Arsitektur Data Deret Waktu	27
3.2 Pipeline Pemrosesan Data Low-Code dengan Node-RED	28
3.3 Penyimpanan Basis Data Time-Series (InfluxDB TSDB)	29
3.4 Visualisasi Dasbor Real-Time & Alerting Grafana	30
3.5 Lembar Kerja 3 (Evaluasi UTS): Desain Pipeline Data	31
3.6 Rangkuman & Soal Evaluasi Bab 3 (Bahan UTS)	32

BAB 4: MIDDLEWARE, CLOUD IOT, KEAMANAN SISTEM, & KASUS BISNIS	34
4.1 Peran Strategis Middleware & Platform Cloud IoT	34
4.2 Eksplorasi Platform Enterprise: ThingsBoard & AWS IoT	35
4.3 Keamanan Komprehensif Sistem IoT (Defense-in-Depth)	36
4.4 Penerapan IoT dalam Sistem Informasi Bisnis Enterprise	37
4.5 Lembar Kerja 4 (Tugas 3 RPS): Middleware & Keamanan	38
4.6 Rangkuman & Soal Evaluasi Bab 4	39
BAB 5: INTEGRASI IOT DENGAN BIG DATA, EDGE AI, & PREDIKTIF	41
5.1 Arsitektur IoT dan Big Data (The Big Data of Things)	41
5.2 Pergeseran Paradigma: Cloud ke Edge AI Computing	42
5.3 Konsep & Alur Kerja Tiny Machine Learning (TinyML)	43
5.4 Analitik Prediktif Enterprise & Tren Masa Depan IoT	44
5.5 Lembar Kerja 5 (Tugas 4 RPS): Pipeline TinyML & AI	45
5.6 Rangkuman & Soal Evaluasi Bab 5	46
BAB 6: PERANCANGAN SOLUSI IOT, IMPLEMENTASI, & EVALUASI UAS	48
6.1 Metodologi Rekayasa Solusi Sistem Informasi IoT	48
6.2 Standar Dokumentasi Portofolio Proyek Akhir IoT	49
6.3 Pengujian Kinerja, Latensi, & Kalibrasi Sistem IoT	50
6.4 Rubrik Presentasi Sidang Proyek Akhir Dosen Penguji	51
6.5 Lembar Kerja 6 (Evaluasi UAS): Portofolio Proyek Akhir	52
6.6 Rangkuman & Soal Evaluasi Bab 6 (Evaluasi Akhir UAS)	53
BAGIAN AKHIR: GLOSARIUM, RUBRIK PENILAIAN, & PUSTAKA RPS	55
Glosarium Istilah Internet of Things (A-Z)	55
Rubrik Penilaian & Matriks Korelasi Tugas RPS (Bobot 100%)	58
Daftar Pustaka Utama Sesuai RPS Resmi ITATS	60
Profil Dosen Pengembang RPS & Pengampu	60

BAB 1: PENDAHULUAN INTERNET OF THINGS, ARSITEKTUR, & PERANGKAT KERAS

[PRINSIP ARSITEKTUR IOT] Capaian Pembelajaran Bab (Bahan Kajian RPS)

1. Menjelaskan definisi, sejarah, dan evolusi Internet of Things (IoT) serta perannya dalam transformasi digital sistem informasi organisasi.
2. Menguraikan model arsitektur 4 lapisan IoT (Perception, Network, Middleware/Processing, dan Application Layer) menurut standar internasional.
3. Menganalisis karakteristik teknis mikrokontroler modern (ESP32 SoC dan Raspberry Pi Pico RP2040) serta perbedaannya dengan komputer mikroprosesor.
4. Menguasai antarmuka periferan mikrokontroler: GPIO Digital, ADC 12-bit, DAC, PWM, serta protokol komunikasi serial (I2C, SPI, dan UART).
5. Mengklasifikasikan jenis-jenis sensor fisik (Suhu, Kelembaban, Gas, Tekanan, Cahaya) dan aktuator industri dalam studi kasus sistem informasi.
6. Menyelesaikan penugasan terstruktur resmi RPS: 'Tugas 1 - Analisis Arsitektur IoT & Pemilihan Perangkat Keras' (Bobot 10%).

1.1 Konsep Dasar & Evolusi Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) pertama kali dicetuskan oleh Kevin Ashton pada tahun 1999 dalam konteks pelacakan rantai pasok berbasis RFID di Procter & Gamble. International Telecommunication Union (ITU-T Y.2060) mendefinisikan IoT sebagai: 'Infrastruktur global untuk masyarakat informasi, yang memungkinkan layanan canggih dengan menghubungkan hal-

hal (benda fisik dan virtual) berdasarkan teknologi informasi dan komunikasi yang ada dan terus berkembang'.

Dalam konteks Sistem Informasi (Information Systems), IoT bertindak sebagai jembatan cyber-physical yang secara otomatis mengonversi fenomena dunia fisik (seperti suhu ruangan server, konsumsi daya listrik gedung, kelembaban tanah perkebunan, atau lokasi armada logistik) menjadi aliran data digital (Data Stream) yang dapat diolah secara real-time untuk pengambilan keputusan bisnis yang presisi (Rutherford et al., 2019).

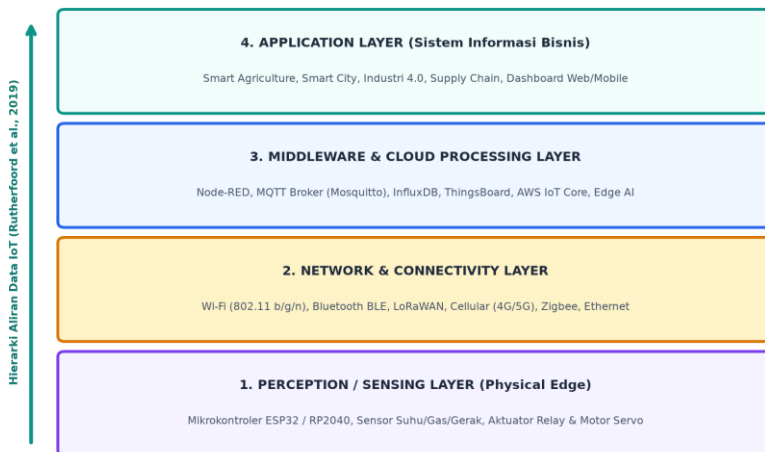
1.2 Arsitektur 4 Lapisan Sistem IoT (Four-Layer Architecture)

Sistem IoT enterprise dibangun di atas 4 lapisan hierarki yang saling terintegrasi:

1. Lapisan Persepsi / Penginderaan (Perception / Sensing Layer): Lapisan fisik paling bawah yang berinteraksi langsung dengan lingkungan. Terdiri atas sensor-sensor pengukur besaran fisik, aktuator penggerak mekanis, dan mikrokontroler pengakuisisi data tepi.
2. Lapisan Jaringan & Konektivitas (Network & Connectivity Layer): Bertanggung jawab mentransmisikan data dari perangkat edge menuju pusat pemrosesan melalui berbagai teknologi nirkabel dan kabel (Wi-Fi 802.11 b/g/n, Cellular 4G/5G, Bluetooth Low Energy / BLE, LoRaWAN, dan Ethernet).
3. Lapisan Middleware & Pemrosesan Data (Middleware & Cloud Processing Layer): Mengelola otentikasi perangkat, routing pesan (Message Broker MQTT / Mosquitto), pembersihan dan transformasi data (ETL Pipeline Node-

RED), serta penyimpanan basis data deret waktu (InfluxDB) atau basis data relasional.

4. Lapisan Aplikasi & Sistem Informasi Bisnis (Application & Business Layer): Lapisan puncak yang berinteraksi langsung dengan pengguna dan pengambil keputusan, seperti antarmuka dasbor visualisasi (Grafana / ThingsBoard), aplikasi web, notifikasi otomatis, dan integrasi Enterprise Resource Planning (ERP).



Gambar 1.1: Arsitektur 4 Lapisan Sistem IoT (Four-Layer IoT Architecture)

[PRINSIP ARSITEKTUR IOT] Prinsip Cyber-Physical Systems pada IoT

IoT bukan hanya tentang membaca sensor (Sensing), melainkan siklus tertutup: Penginderaan (Sense) -> Transmisi Jaringan (Transmit) -> Analisis Komputasi (Analyze) -> Aksi Balik Otomatis melalui Aktuator (Actuate).

1.3 Perangkat Keras IoT: Mikrokontroler ESP32 vs. Mikroprosesor

Pemilihan komputasi edge sangat menentukan keandalan, konsumsi daya, dan biaya implementasi sistem IoT:

A. Mikrokontroler (Microcontroller Unit / MCU - ESP32 SoC & RP2040 Pico):

Sebuah chip tunggal yang memuat CPU, memori internal (RAM & Flash), dan periferal I/O terintegrasi. ESP32 (Espressif Systems) merupakan standar industri paling populer saat ini karena dilengkapi prosesor 32-bit Dual-Core Xtensa LX6 berkecepatan 240 MHz, modul Wi-Fi 2.4 GHz, dan Bluetooth v4.2/BLE dalam satu paket chip berbiaya sangat ekonomis dan hemat daya (Zulfiqar, 2024).

B. Komputer Papan Tunggal / Mikroprosesor (Single Board Computer / SBC - Raspberry Pi 5):

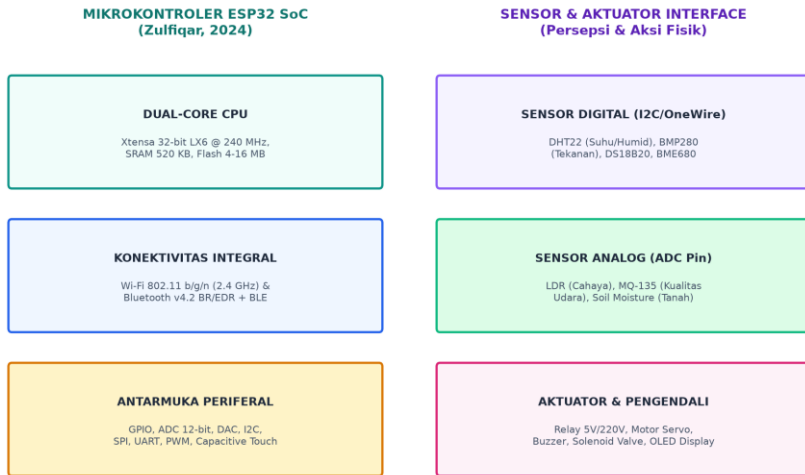
Komputer lengkap berbasis Linux yang mampu menjalankan pemrosesan citra (Computer Vision) dan algoritma machine learning yang berat, namun membutuhkan konsumsi daya listrik yang jauh lebih besar dan waktu booting yang lebih lama (Dow, 2024).

1.4 Antarmuka Periferal: GPIO, ADC, I2C, SPI, & Sensor/Aktuator

Mikrokontroler berinteraksi dengan sensor dan aktuator melalui berbagai antarmuka periferal:

1. General Purpose Input/Output (GPIO): Pin digital yang dapat dikonfigurasi sebagai INPUT (membaca status HIGH/LOW seperti push button atau sensor gerak PIR) atau OUTPUT (mengendalikan LED atau relay).

2. Analog-to-Digital Converter (ADC): Mengonversi tegangan analog kontinu (0 - 3.3V) menjadi nilai digital diskret (resolusi 12-bit pada ESP32 menghasilkan rentang nilai 0 hingga 4095) untuk sensor analog seperti sensor LDR, potensiometer, dan sensor kualitas udara MQ-135.
3. Inter-Integrated Circuit (I2C): Protokol komunikasi serial sinkron 2 kabel (SDA untuk data dan SCL untuk clock) yang memungkinkan puluhan sensor digital (seperti OLED display, sensor barometer BMP280) terhubung secara paralel menggunakan sistem pengalamatan 7-bit.
4. Serial Peripheral Interface (SPI): Protokol komunikasi berkecepatan tinggi 4 kabel (MOSI, MISO, SCK, CS) yang digunakan untuk modul kartu MicroSD dan layar TFT grafis.
5. Aktuator Industri: Perangkat pengubah sinyal listrik menjadi aksi mekanis fisik, seperti modul Relay elektromagnetik (mengontrol saklar beban listrik AC 220V), Motor Servo (mengatur sudut rotasi katup), dan Solenoid Valve (membuka/menutup aliran air irigasi).



Gambar 1.2: Anatomi Hardware IoT (ESP32 SoC & Antarmuka Sensor/Aktuator)

[PERHATIAN / PROTOKOL & KEAMANAN] Perhatian Tegangan Logika (Logic Voltage Level 3.3V vs. 5V)

Pin GPIO pada chip ESP32 dan Raspberry Pi Pico beroperasi pada tegangan 3.3V dan TIDAK toleran terhadap tegangan 5V (Not 5V Tolerant). Memberikan input tegangan 5V langsung tanpa rangkaian pembagi tegangan (Voltage Divider) atau Logic Level Converter akan merusak chip secara permanen!

Aktivitas Pembelajaran & Penugasan Terstruktur: LEMBAR KERJA 1 (TUGAS 1 RPS): Pemetaan Arsitektur IoT & Pemilihan Perangkat Keras

Kerjakan penugasan terstruktur mandiri 'Tugas 1' (Bobot 10%) dengan menganalisis studi kasus penerapan IoT pada sistem informasi enterprise, memetakan arsitektur 4-layer, dan menyusun spesifikasi hardware pendukung.

Bagian A: Identifikasi Studi Kasus & Pemetaan Arsitektur 4-Layer

Komponen / Parameter IoT	Deskripsi / Isian Konfigurasi
1. Judul Sistem Informasi IoT yang Dirancang:	Sistem Pemantauan Lingkungan Ruang Server Data Center (Smart Data Center Monitoring)
2. Lapisan Persepsi (Sensors & Actuators):	Sensor DHT22 (Suhu/Kelembaban), Sensor MQ-2 (Asap), Aktuator Relay Kipas Exhaust
3. Lapisan Jaringan (Network & Protocols):	Koneksi Wi-Fi 802.11 b/g/n ke Access Point VLAN Server, Protokol MQTT
4. Lapisan Middleware & Cloud Processing:	Broker Eclipse Mosquitto, Flow Pipeline Node-RED, Basis Data Time-Series InfluxDB
5. Lapisan Aplikasi Sistem Informasi:	Dasbor Pemantauan Grafana & Bot Notifikasi Telegram untuk Administrator TI

Bagian B: Spesifikasi Hardware & Konfigurasi Pin Mikrokontroler

Komponen / Parameter IoT	Deskripsi / Isian Konfigurasi
Mikrokontroler Utama yang Dipilih:	ESP32 DevKit V1 (30-pin, Dual-Core 240 MHz, Flash 4MB)
Alokasi Pin Sensor Digital DHT22:	Pin GPIO 4 (Koneksi Single-Bus dengan resistor pull-up 10k ohm ke 3.3V)
Alokasi Pin Sensor Analog MQ-2:	Pin GPIO 34 / ADC1_CH6 (Membaca kadar konsentrasi gas/asap 12-bit)
Alokasi Pin Aktuator Relay	Pin GPIO 18 (Digital Output Active-

Module:	Low untuk kendali daya exhaust fan)
Status Kelengkapan Berkas	Lengkap & Terverifikasi untuk
Tugas 1:	penilaian capaian SubCPMK 1 (Bobot 10%)

Lembar Refleksi & Evaluasi Kasus:

1. Jelaskan mengapa mikrokontroler ESP32 lebih disarankan untuk node sensor lapangan berdaya baterai dibandingkan dengan Raspberry Pi 5:
.....
2. Bagaimana pemahaman arsitektur 4 lapisan IoT membantu seorang analis sistem informasi memisahkan tanggung jawab antara tim perangkat keras, jaringan, dan pengembang backend?

[RANGKUMAN METODOLOGI IOT] Rangkuman Eksekutif BAB 1

- Internet of Things menghubungkan dunia fisik ke dunia digital melalui siklus Sense-Transmit-Analyze-Actuate.
- Arsitektur IoT 4-lapisan mencakup Lapisan Persepsi, Jaringan, Middleware/Pemrosesan, dan Aplikasi Bisnis.
- ESP32 SoC adalah mikrokontroler berdaya rendah berkinerja tinggi yang mengintegrasikan Wi-Fi dan Bluetooth dalam satu chip.
- Antarmuka periferil utama meliputi GPIO digital, ADC analog 12-bit, PWM, serta bus komunikasi I2C, SPI, dan UART.
- Pemilihan sensor dan aktuator yang tepat harus memperhatikan level tegangan kerja (3.3V), akurasi, dan lingkungan operasional.

Soal Evaluasi Pemahaman BAB 1

1. Uraikan definisi Internet of Things menurut standar ITU-T Y.2060 dan jelaskan bagaimana aliran data IoT menciptakan nilai tambah pada sistem informasi enterprise!

2. Sebutkan dan jelaskan 4 lapisan dalam arsitektur sistem IoT beserta komponen-komponen utama pada masing-masing lapisan!
3. Jelaskan perbedaan mendasar antara mikrokontroler (ESP32 / RP2040 Pico) dan komputer mikroprosesor papan tunggal (Raspberry Pi 5) dari segi arsitektur, konsumsi daya, dan skenario penggunaan optimal!
4. Mengapa kita memerlukan konverter analog-ke-digital (ADC) pada mikrokontroler dan bagaimana resolusi ADC 12-bit pada ESP32 merepresentasikan nilai tegangan analog 0 - 3.3V?

BAB 2: PEMROGRAMAN DASAR IOT, KOMUNIKASI DATA, & INTEGRASI SISTEM INFORMASI

[PRINSIP ARSITEKTUR IOT] Capaian Pembelajaran Bab (Bahan Kajian RPS)

1. Menguasai alur pengembangan firmware perangkat IoT menggunakan bahasa C/C++ pada platform Arduino IDE serta MicroPython pada ESP32/Pico.
2. Menerapkan teknik konektivitas jaringan Wi-Fi Station Mode yang andal dengan mekanisme Auto-Reconnect dan penanganan Non-blocking delay (`millis()`).
3. Menganalisis perbedaan arsitektur protokol komunikasi data HTTP REST API vs. MQTT (Publish-Subscribe Broker).
4. Menguasai mekanisme Quality of Service (QoS 0, 1, 2), Retained Message, dan Last Will and Testament (LWT) pada protokol MQTT.
5. Menyusun dan mem-parsing data telemetry multi-sensor dalam format standar JSON (JavaScript Object Notation) untuk interoperabilitas backend sistem informasi.
6. Menyelesaikan penugasan terstruktur resmi RPS: 'Tugas 2 - Pemrograman Komunikasi Data IoT' (Bobot 15%).

2.1 Lingkungan Pemrograman Firmware IoT (Arduino C/C++ & MicroPython)

Pengembangan perangkat lunak embedded pada perangkat IoT umumnya menggunakan dua ekosistem utama (Zulfiqar, 2024; Yamanoor & Yamanoor, 2022):

1. Arduino IDE / PlatformIO (C/C++): Memberikan efisiensi memori tingkat tinggi dan eksekusi instruksi waktu nyata yang sangat cepat. Struktur kode Arduino terbagi atas fungsi `setup()` (dijalankan satu kali saat booting untuk

inisialisasi pin dan komunikasi serial) dan fungsi ``loop()`` (dijalankan berulang kali secara kontinu).

2. MicroPython: Implementasi bahasa Python 3 yang dioptimalkan untuk berjalan di atas mikrokontroler dengan memori terbatas, memudahkan eksperimen cepat (Rapid Prototyping) berkat sintaks yang ekspresif dan tersedianya Read-Eval-Print Loop (REPL) interaktif.

2.2 Manajemen Konektivitas Wi-Fi & Logika Non-Blocking (millis())

Perangkat IoT edge rentan mengalami gangguan sinyal nirkabel atau pemutusan jaringan sementara. Oleh karena itu, arsitektur firmware harus menerapkan pola perancangan yang tangguh:

- Inisialisasi Wi-Fi Station (STA) Mode: Mengonfigurasi mikrokontroler agar terhubung ke Access Point lokal menggunakan SSID dan Password yang tersimpan aman.
- Mekanisme Auto-Reconnect: Memantau status ``WiFi.status() == WL_CONNECTED`` pada setiap iterasi loop; jika koneksi terputus, firmware secara otomatis mencoba menyambung ulang tanpa menyebabkan perangkat macet (hang).
- Menghindari Fungsi ``delay()``: Penggunaan fungsi ``delay(1000)`` menghentikan total eksekusi instruksi CPU selama 1 detik, menyebabkan mikrokontroler tidak dapat merespons paket data masuk atau interupsi tombol. Sebagai gantinya, pengembang profesional wajib menggunakan timer non-blocking berbasis fungsi waktu ``millis()``.

[PERHATIAN / PROTOKOL & KEAMANAN] Pola Pemrograman Non-Blocking Wajib pada IoT

```
unsigned long previousMillis = 0;
const long interval = 5000; // Kirim data tiap 5 detik
void loop() {
  unsigned long currentMillis = millis();
  if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
    previousMillis = currentMillis;
    bacaSensorDanKirimMQTT();
  }
  client.loop(); // Wajib dipanggil rutin untuk menjaga koneksi MQTT
}
```

2.3 Komparasi Protokol: HTTP REST API vs. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

Protokol komunikasi menentukan efisiensi transfer data, latensi, dan konsumsi bandwidth sistem IoT:

A. HTTP REST API (Hypertext Transfer Protocol):

Model komunikasi Request-Response tradisional di mana klien harus membuka koneksi TCP baru setiap kali mengirim data. Memiliki overhead header yang sangat besar (ratusan byte teks) dan mengharuskan server menunggu permintaan polling dari klien, sehingga kurang optimal untuk perangkat edge berdaya rendah.

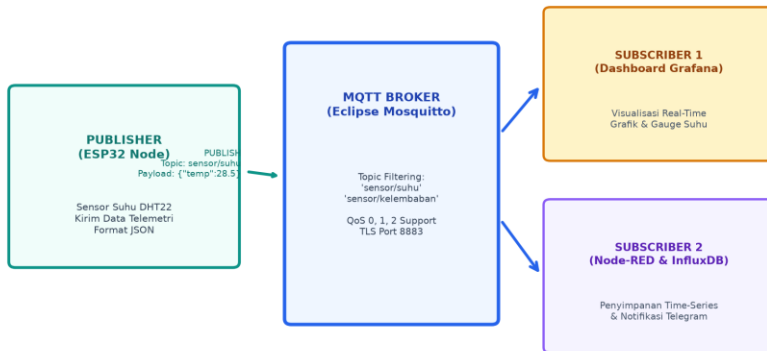
B. MQTT (ISO/IEC 20922 - Andy Stanford-Clark & Arlen Nipper):

Protokol pesan berbobot sangat ringan (Lightweight) berbasis pola Publish-Subscribe yang dirancang khusus untuk

jaringan dengan bandwidth terbatas dan latensi tidak stabil. Header paket MQTT hanya berukuran minimal 2-byte.

Fitur Kunci MQTT:

1. Topic Hierarchy: Sistem pengelompokan pesan menggunakan slash (misal: `itats/gedung-a/lantai2/ruang-server/suhu`). Karakter wildcard `+` (single level) dan `#` (multi level) memudahkan proses langganan data massal.
2. Tiga Tingkatan Quality of Service (QoS):
 - QoS 0 (At most once): Pesan dikirim satu kali tanpa konfirmasi penerimaan (Best-effort delivery).
 - QoS 1 (At least once): Pesan dijamin sampai minimal satu kali dengan konfirmasi PUBACK (dapat terjadi duplikasi jika terjadi re-transmisi).
 - QoS 2 (Exactly once): Pesan dijamin sampai tepat satu kali melalui mekanisme jabat tangan 4-arah (Four-step handshake) yang paling aman namun membutuhkan overhead tertinggi.
3. Retained Message: Pesan terakhir pada suatu topik disimpan oleh broker sehingga subscriber baru langsung menerima data terkini tanpa menunggu pengiriman sensor berikutnya.
4. Last Will and Testament (LWT): Pesan darurat yang didaftarkan ke broker saat koneksi awal dan akan dipublikasikan otomatis oleh broker jika perangkat mati mendadak (Unclean Disconnect).



Gambar 2.1: Arsitektur Protokol Komunikasi MQTT Publish-Subscribe

2.4 Serialisasi Data Format JSON & Integrasi API Sistem Informasi

Untuk mengintegrasikan data sensor ke berbagai bahasa backend (PHP, Python Django/FastAPI, Node.js, atau Java Spring Boot), data telemetry harus diserialisasi ke dalam format standar JSON (JavaScript Object Notation).

Contoh Payload Telemetry Multi-Sensor ESP32:

```
```json
{
 "device_id": "ESP32-SRV-01",
 "timestamp": 1724835600,
 "telemetry": {
 "temperature": 24.8,
 "humidity": 58.2,
 "gas_ppm": 142.5
 }
}
```

```

},
"status":
 "relay_exhaust":
 "wifi_rssi":
}
}
...

```

Pustaka `ArduinoJson` (Benoit Blanchon) pada platform C++ memfasilitasi proses parsing dan serialisasi JSON secara cepat dengan manajemen memori statis (StaticJsonDocument) yang mencegah fragmentasi RAM mikrokontroler.

## Aktivitas Pembelajaran & Penugasan Terstruktur: LEMBAR KERJA 2 (TUGAS 2 RPS): Pemrograman Dasar IoT & Komunikasi Data MQTT

Kerjakan penugasan terstruktur kelompok 'Tugas 2' (Bobot 15%) dengan merancang struktur topik MQTT, konfigurasi level QoS, dan payload JSON telemetri untuk sistem informasi pemantauan real-time.

### Bagian A: Desain Arsitektur Topik & Parameter MQTT Proyek

Komponen / Parameter IoT	Deskripsi / Isian Konfigurasi
1. Alamat & Port Broker MQTT:	broker.emqx.io / Port 1883 (TCP Plaintext) & Port 8883 (TLS Encrypted)
2. Struktur Topik Telemetri (Publish):	itats/si/iot/kelompok03/server01/telemetry
3. Struktur Topik Kontrol Aktuator (Subscribe):	itats/si/iot/kelompok03/server01/command/relay

<b>4. Pilihan Level QoS yang Digunakan:</b>	QoS 1 (Menjamin data sensor suhu penting tidak hilang selama transit jaringan)
<b>5. Konfigurasi Pesan LWT (Last Will):</b>	Topic: .../status   Payload: {"online": false}   Retain: true

## Bagian B: Validasi Parsing Serialisasi JSON & Logika Respon

Komponen / Parameter IoT	Deskripsi / Isian Konfigurasi
<b>Format Payload Data Sensor yang Dikirim:</b>	JSON Object memuat `device_id`, `temp`, `humidity`, dan `voltage`
<b>Pustaka Serialisasi yang Digunakan:</b>	ArduinoJson v6.x (Konfigurasi StaticJsonDocument<256> doc)
<b>Interval Pengiriman Data Telemetri:</b>	Setiap 5.000 ms (5 Detik) menggunakan fungsi timer `millis()`
<b>Aksi Penerimaan Perintah dari Backend SI:</b>	Jika command `{ "relay": "ON" }` diterima, pin GPIO 18 diubah ke level LOW
<b>Status Kelengkapan Berkas Tugas 2:</b>	Lengkap & Teruji pada MQTT Broker untuk penilaian SubCPMK 2 (Bobot 15%)

## Lembar Refleksi & Evaluasi Kasus:

1. Mengapa protokol MQTT berbasis Publish-Subscribe jauh lebih hemat daya dan bandwidth dibandingkan protokol HTTP Request-Response untuk pengiriman data sensor telemetri?  
.....
2. Jelaskan bahaya penggunaan fungsi `delay()` pada firmware mikrokontroler yang harus merespons perintah pengendalian aktuator sewaktu-waktu dari aplikasi mobile!

## **[RANGKUMAN METODOLOGI IOT] Rangkuman Eksekutif BAB 2**

- Pengembangan firmware IoT dapat menggunakan bahasa C/C++ pada Arduino IDE atau MicroPython.
- Mekanisme auto-reconnect dan timer non-blocking berbasis ``millis()`` mutlak diperlukan untuk stabilitas sistem.
- MQTT adalah protokol pesan berbobot ringan berbasis pola publish-subscribe dengan struktur topik hierarkis.
- Tiga level QoS MQTT (QoS 0, 1, 2) serta fitur Retained Message dan LWT menjamin keandalan pengiriman pesan.
- • Format JSON menjadi standar universal pertukaran data telemetri antara edge node dan backend sistem informasi.

## **Soal Evaluasi Pemahaman BAB 2**

1. Uraikan perbedaan arsitektur komunikasi antara protokol HTTP REST API (Client-Server) dan protokol MQTT (Publish-Subscribe via Broker) beserta analisis kelebihan dan kelemahannya untuk perangkat IoT berdaya rendah!
2. Jelaskan cara kerja 3 tingkatan Quality of Service (QoS 0, QoS 1, dan QoS 2) pada protokol MQTT serta berikan contoh skenario sistem informasi yang tepat untuk masing-masing level!
3. Apa fungsi dari fitur Last Will and Testament (LWT) dan Retained Message pada protokol MQTT? Jelaskan bagaimana kedua fitur ini membantu dasbor web memantau status online/offline perangkat!
4. Mengapa penggunaan fungsi pemblokir ``delay()`` sangat dilarang dalam pemrograman firmware IoT profesional? Jelaskan solusinya menggunakan logika perbandingan waktu ``millis()``!

## **BAB 3: PENGOLAHAN DATA TIME-SERIES, PIPELINE NODE-RED, & VISUALISASI DASHBOARD**

### **[PRINSIP ARSITEKTUR IOT] Capaian Pembelajaran Bab (Bahan Kajian RPS)**

1. Menganalisis karakteristik data deret waktu (Time-Series Data) yang dihasilkan oleh jaringan sensor IoT dalam skala enterprise.
2. Merancang alur pemrosesan data (ETL Pipeline) menggunakan kanvas low-code Node-RED untuk filtering, transformasi, dan routing pesan telemetri.
3. Menguasai arsitektur Basis Data Deret Waktu (Time-Series Database / TSDB - InfluxDB) meliputi konsep Measurement, Tag Set, Field Set, dan Retention Policy.
4. Membangun dasbor visualisasi analitik real-time interaktif menggunakan Grafana yang terhubung ke InfluxDB dan broker MQTT.
5. Mengonfigurasi sistem peringatan otomatis (Rule Alerting) berbasis ambang batas (Thresholds) ke kanal notifikasi pesan instan (Telegram / Webhook).
6. Menyelesaikan penugasan terstruktur resmi RPS: 'Evaluasi Tengah Semester (UTS)' (Bobot 25% kumulatif).

### **3.1 Karakteristik Data IoT: Arsitektur Data Deret Waktu (Time-Series Data)**

Jaringan sensor IoT menghasilkan tipe data yang memiliki karakteristik khusus yang berbeda dari transaksi data transaksional sistem informasi konvensional (OLTP):

1. Berbasis Linimasa Waktu (Time-Stamped Data): Setiap data point telemetri selalu terikat secara intrinsik pada

timestamp dengan presisi tinggi (milidetik hingga nanodetik).

2. Sifat Append-Only: Data sensor hanya ditulis masuk (Insert/Write) secara beruntun dan hampir tidak pernah mengalami pembaruan (Update) atau penghapusan acak.
3. Volume dan Kecepatan Tinggi (High Velocity): Ribuan sensor yang mengirimkan data setiap beberapa detik dapat membebani basis data relasional standar jika tidak dioptimalkan.
4. Penurunan Nilai Seiring Waktu: Data telemetri mendetail sangat bernilai tinggi dalam hitungan detik hingga minggu pertama, namun cukup disimpan dalam bentuk agregasi ringkasan (Rata-rata per jam / per hari) setelah melewati beberapa bulan.

### **3.2 Pipeline Pemrosesan Data Rendah-Kode (Low-Code ETL) dengan Node-RED**

Node-RED (diciptakan oleh Nick O'Leary dan Dave Conway-Jones di IBM Emerging Technology) adalah platform pemrograman visual berbasis aliran (Flow-Based Programming) yang berjalan di atas lingkungan Node.js (Hagino, 2021).

Node-RED menjadi standar de-facto dalam menghubungkan perangkat keras IoT, API web, dan layanan cloud tanpa perlu menulis ratusan baris kode backend dari nol.

Komponen Node Inti pada Node-RED:

- Network Nodes (``mqtt in``, ``mqtt out``, ``http in``, ``websocket``): Menerima dan mengirim paket data dari/ke jaringan komunikasi.

- **Function Nodes:** Menjalankan potongan kode JavaScript untuk memanipulasi objek pesan `msg.payload`, menghitung konversi satuan fisika, atau filtering anomali.
- **Routing & Logic Nodes** (`switch`, `change`): Mengarahkan aliran pesan berdasarkan kondisi nilai sensor (misal: jika suhu > 35°C, belokkan ke flow alarm).
- **Notification Nodes** (`telegram sender`, `email`): Mengirimkan pesan darurat otomatis kepada tim operasional secara instan.

#### **[PRINSIP ARSITEKTUR IOT] Contoh Transformasi Data pada Function Node Node-RED**

```
// Parsing JSON & Hitung Indeks Panas (Heat Index)
var data = JSON.parse(msg.payload);
var temp = data.telemetry.temperature;
var humid = data.telemetry.humidity;

// Format data untuk InfluxDB Line Protocol
msg.payload = [{
 measurement: "ruang_server",
 fields: { suhu: temp, kelembaban: humid },
 tags: { lokasi: "lantai_2", node_id: data.device_id }
}];
return msg;
```

### **3.3 Penyimpanan Basis Data Time-Series (InfluxDB TSDB)**

InfluxDB adalah basis data time-series berkinerja tinggi yang dirancang khusus untuk menangani jutaan titik data per detik dengan efisiensi kompresi penyimpanan hingga 90% dibanding SQL.

### Empat Konsep Utama InfluxDB:

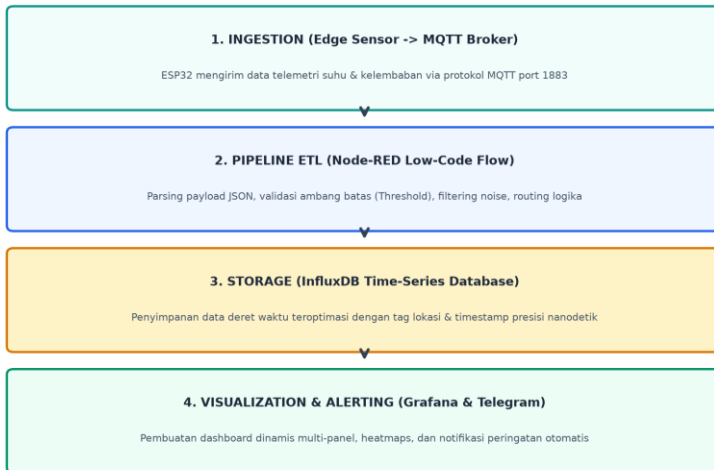
1. **Measurement:** Kategori pengukuran data sensor (setara dengan tabel pada SQL, misal: `lingkungan\_server`).
2. **Tag Set:** Metadata berkategori yang diindeks secara otomatis (Indexed) untuk query pencarian cepat (misal: `lokasi=surabaya`, `rak=rak\_03`).
3. **Field Set:** Nilai data aktual yang diukur dan tidak diindeks (Unindexed) untuk menghemat ruang memori (misal: `suhu=25.4`, `daya\_watt=1200.8`).
4. **Retention Policy (RP) & Downsampling:** Aturan otomatis masa simpan data (misal: data detail disimpan 30 hari, data rata-rata harian disimpan 1 tahun).

## 3.4 Visualisasi Dasbor Real-Time & Alerting dengan Grafana

Grafana adalah platform open-source terkemuka untuk visualisasi, pemantauan metrik, dan analisis analitik interaktif multi-sumber data.

### Fitur Utama Dasbor Grafana untuk Sistem Informasi IoT:

- **Visualisasi Multi-Panel:** Panel grafik time-series, indikator status Gauge, matriks Heatmap, dan peta sebaran sensor (Geomap).
- **Kueri Dinamis (Flux / InfluxQL):** Mengagregasi data deret waktu secara on-the-fly (`mean()`, `max()`, `derivative()`).
- **Alerting Engine Terpadu:** Menetapkan aturan ambang batas (Threshold Rules) yang terus-menerus mengevaluasi data dan mengirimkan sinyal peringatan jika kondisi darurat terpenuhi.



Gambar 3.1: Alur Pemrosesan & Visualisasi Data IoT (Node-RED, InfluxDB, Grafana)

## Aktivitas Pembelajaran & Penugasan Terstruktur: LEMBAR KERJA 3 (EVALUASI UTS RPS): Desain Pipeline Data & Dasbor Grafana

Susun rancangan pipeline aliran data IoT menggunakan Node-RED, konfigurasi skema InfluxDB, dan tata letak panel dasbor Grafana sebagai pemenuhan Evaluasi Tengah Semester (UTS - Bobot 25% kumulatif).

### Bagian A: Konfigurasi Aliran Pipeline Node-RED & Storage InfluxDB

Komponen / Parameter IoT	Deskripsi / Isian Konfigurasi
1. Topik MQTT Input yang Ditangkap:	itats/si/iot/+/server/telemetry (Mendengarkan seluruh node ruang server)
2. Logika Filtering & Transformasi:	Menyaring data noise (suhu < 0 atau > 80 diabaikan), format ke InfluxDB Line Protocol

<b>3. Nama Database / Bucket InfluxDB:</b>	bucket_smart_datacenter (Organisasi: itats_iot)
<b>4. Skema Tag Set (Metadata Index):</b>	Tag `lokasi_gedung`, `nomor_rak`, dan `tipe_sensor`
<b>5. Skema Field Set (Nilai Pengukuran):</b>	Field `suhu_celsius`, `kelembaban_rh`, `arus_ampere`, dan `vibrasi_g`

## Bagian B: Spesifikasi Panel Dasbor Grafana & Notifikasi Alerting

Komponen / Parameter IoT	Deskripsi / Isian Konfigurasi
<b>Panel 1 (Metrik Utama Suhu):</b>	Time-Series Graph dengan garis ambang batas merah pada suhu > 28°C
<b>Panel 2 (Indikator Status Real-Time):</b>	Gauge Panel warna hijau (aman < 25°C), kuning (waspada 25-28°C), merah (> 28°C)
<b>Panel 3 (Statistik Daya Listrik):</b>	Bar Gauge menampilkan konsumsi energi total harian (kWh)
<b>Konfigurasi Notifikasi Alerting:</b>	Kirim pesan peringatan otomatis ke Telegram Group jika suhu > 30°C selama 3 menit
<b>Status Kesiapan Berkas Evaluasi UTS:</b>	Dokumen portofolio desain pipeline & dasbor lengkap siap dinilai (Bobot 25%)

## Lembar Refleksi & Evaluasi Kasus:

1. Jelaskan mengapa arsitektur basis data time-series (InfluxDB) jauh lebih unggul dalam menangani beban data telemetri ribuan sensor IoT dibandingkan basis data SQL tradisional (MySQL):

2. Bagaimana pemanfaatan platform low-code seperti Node-RED mempercepat integrasi antara hardware edge dan sistem informasi bisnis organisasi?

### **[RANGKUMAN METODOLOGI IOT] Rangkuman Eksekutif BAB 3**

- Data IoT memiliki karakteristik time-series: berbasis timestamp, append-only, dan berkecepatan tinggi.
- Node-RED memfasilitasi integrasi dan pemrosesan data telemetri secara visual berbasis flow.
- InfluxDB mengoptimalkan penyimpanan data deret waktu melalui konsep measurement, tags, fields, dan retention policy.
- Grafana menyediakan antarmuka dasbor visualisasi analitik real-time yang fleksibel dan terintegrasi dengan mesin alerting.
- Integrasi pipeline data ini menjadi fondasi evaluasi sistem monitoring enterprise pada capaian SubCPMK 3 (UTS 25%).

### **Soal Evaluasi Pemahaman BAB 3**

1. Uraikan 4 karakteristik unik dari data deret waktu (Time-Series Data) yang dihasilkan oleh perangkat IoT dan mengapa karakteristik tersebut membutuhkan perlakuan arsitektur penyimpanan khusus!
2. Jelaskan konsep Flow-Based Programming pada Node-RED dan bagaimana perannya dalam menyederhanakan siklus ETL (Extract, Transform, Load) data telemetri IoT!
3. Bedakan fungsi antara Tag Set dan Field Set pada arsitektur basis data InfluxDB serta jelaskan dampaknya terhadap performa kueri dan penggunaan memori!
4. Jelaskan tahapan merancang dasbor pemantauan operasional pada Grafana yang dilengkapi dengan sistem peringatan otomatis (Alerting) menuju kanal pesan instan!

## **BAB 4: MIDDLEWARE, PLATFORM CLOUD IOT, KEAMANAN SISTEM, & KASUS BISNIS**

### **[PRINSIP ARSITEKTUR IOT] Capaian Pembelajaran Bab (Bahan Kajian RPS)**

1. Memahami fungsi strategis Middleware IoT dalam menjembatani heterogenitas protokol perangkat keras edge dengan aplikasi sistem informasi enterprise.
2. Menguasai arsitektur platform cloud IoT terkemuka (ThingsBoard Open-Source, AWS IoT Core, dan Blynk IoT).
3. Menerapkan konsep Device Shadow / Digital Twin dan Rule Engine untuk otomatisasi alur kerja proses bisnis.
4. Menganalisis ancaman kerentanan keamanan IoT dan menerapkan strategi pertahanan berlapis (Defense-in-Depth) berbasis enkripsi TLS/SSL dan sertifikat X.509.
5. Mengevaluasi implementasi Over-The-Air (OTA) Firmware Updates secara aman menggunakan verifikasi tanda tangan kriptografi.
6. Menyelesaikan penugasan terstruktur resmi RPS: 'Tugas 3 - Middleware Platform & Keamanan IoT' (Bobot 10%).

### **4.1 Peran Strategis Middleware & Platform Cloud IoT**

Dalam sistem informasi enterprise berskala besar yang mengelola puluhan ribu perangkat dengan produsen, chipset, dan protokol komunikasi yang berbeda-beda, aplikasi bisnis tidak boleh berkomunikasi langsung secara acak ke setiap sensor fisik. Dibutuhkan lapisan perantara cerdas yang disebut Middleware IoT.

Fungsi Kunci Middleware IoT:

1. **Abstraksi Heterogenitas Perangkat:** Menyeragamkan berbagai format data mentah (Hex, Binary, JSON) menjadi objek data standar yang seragam.

2. Manajemen Siklus Hidup Perangkat (Device Lifecycle Management): Mulai dari registrasi (Device Provisioning), otentikasi kredensial, pemantauan kesehatan baterai/sinyal, hingga pembaruan firmware berkala.
3. Device Shadow / Digital Twin: Representasi virtual dari perangkat fisik yang tersimpan di cloud, memungkinkan aplikasi web membaca status terakhir atau mengirim instruksi konfigurasi meskipun perangkat fisik sedang dalam mode tidur (Sleep Mode) atau offline sementara.
4. Rule Engine (Mesin Aturan Alur Kerja): Fasilitas komputasi berbasis logika pemicu (Triggers & Actions) yang mengevaluasi data masuk dan secara otomatis mengeksekusi integrasi webhook, kueri database, atau alarm.

## **4.2 Eksplorasi Platform IoT Enterprise: ThingsBoard & AWS IoT Core**

### **A. ThingsBoard (Open-Source IoT Platform):**

Platform middleware paling populer di lingkungan industri dan akademik yang menyediakan manajemen perangkat multi-penyewa (Multi-Tenancy), Rule Engine berbasis grafis (Rule Chains), visualisasi dasbor siap pakai, serta dukungan protokol bawaan MQTT, CoAP, dan HTTP.

### **B. AWS IoT Core (Managed Cloud Service):**

Layanan cloud terkelola dari Amazon Web Services yang mampu menskalakan miliaran koneksi perangkat IoT secara aman dengan integrasi tanpa batas ke ekosistem Big Data AWS (Amazon S3, DynamoDB, AWS Lambda, dan Kinesis Streaming).

## **[PRINSIP ARSITEKTUR IOT] Konsep Rule Chain pada ThingsBoard**

Rule Chain bekerja dengan melewati paket pesan (Message Flow) melalui simpul-simpul logika: Filter Node (pengecekan ambang batas) -> Enrichment Node (penambahan metadata lokasi) -> Action Node (eksekusi SMS/Email/Webhook ke Sistem ERP).

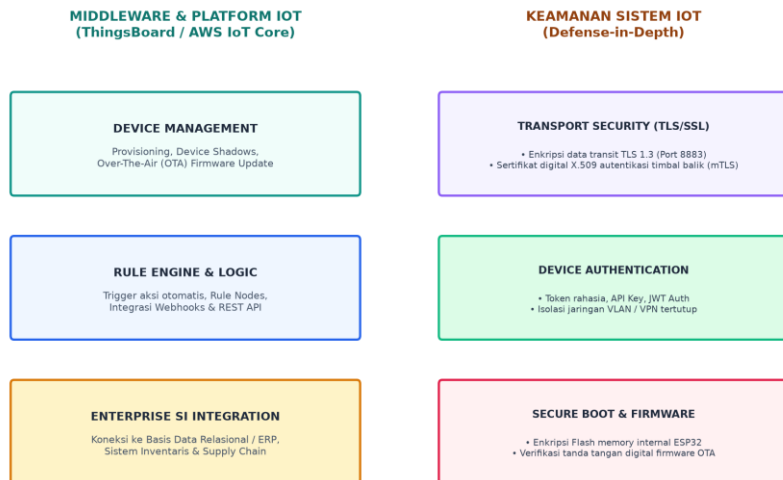
### **4.3 Keamanan Siber dalam Sistem IoT (IoT Security Defense-in-Depth)**

Perangkat IoT sering kali menjadi sasaran empuk serangan siber (seperti pembajakan Mirai Botnet untuk serangan DDoS) karena keterbatasan sumber daya komputasi enkripsi pada chipset edge. Oleh karena itu, pendekatan pertahanan berlapis (Defense-in-Depth) mutlak diterapkan:

1. Keamanan Lapisan Perangkat (Device Security):
  - Mengaktifkan Secure Boot pada chip ESP32 untuk memvalidasi bahwa hanya firmware resmi berlisensi yang dapat dieksekusi.
  - Mengaktifkan Flash Encryption guna mencegah peretasan ekstraksi kode biner langsung dari chip fisik.
  - Menonaktifkan port debugging (JTAG / Serial UART yang tidak terproteksi) pada unit produksi akhir.
2. Keamanan Lapisan Komunikasi (Transport Layer Security):
  - Mewajibkan enkripsi TLS 1.3 / SSL pada port 8883 untuk seluruh jalur transmisi data MQTT.
  - Menerapkan Autentikasi Timbal Balik (Mutual TLS / mTLS) berbasis Sertifikat Digital X.509 di mana broker memverifikasi identitas perangkat dan perangkat memverifikasi keaslian server cloud.

### 3. Pembaruan Firmware Jarak Jauh yang Aman (Secure OTA Update):

- Mekanisme Over-The-Air (OTA) memungkinkan perbaikan bug dan patch keamanan didistribusikan melalui jaringan Wi-Fi.
- Berkas biner firmware OTA wajib ditandatangani secara kriptografis (Digital Signature RSA/ECC); mikrokontroler akan menolak instalasi biner jika tanda tangan digital tidak cocok.



Gambar 4.1: Arsitektur Middleware Cloud Platform & Keamanan IoT

#### [PERHATIAN / PROTOKOL & KEAMANAN] Prinsip Zero Trust pada Jaringan IoT

"Never Trust, Always Verify!" Jangan pernah menaruh kata sandi Wi-Fi atau kunci API rahasia (API Secret Keys) secara mentah (Plaintext Hardcoded) di dalam repositori publik seperti GitHub!

## 4.4 Penerapan IoT dalam Sistem Informasi Bisnis Enterprise

Penerapan sistem informasi berbasis IoT telah merevolusi berbagai sektor industri:

- Smart Agriculture (Pertanian Presisi): Pemantauan kelembaban tanah, pH air, dan suhu udara terhubung ke aktuator irigasi tetes otomatis, meningkatkan hasil panen hingga 30% dan menghemat air 40%.
- Cold Chain Logistics (Logistik Rantai Dingin): Sensor suhu dan GPS pelacak pada armada truk pengangkut vaksin/daging beku mengirimkan data telemetri real-time; jika suhu di dalam boks melampaui batas aman, sistem ERP logistik segera mengalihkan rute pengiriman.
- Smart Manufacturing (Industri 4.0): Pemantauan getaran dan konsumsi arus listrik mesin pabrik untuk mendeteksi anomali operasional sebelum terjadi kerusakan total (Predictive Maintenance).

### Aktivitas Pembelajaran & Penugasan Terstruktur: LEMBAR KERJA 4 (TUGAS 3 RPS): Konfigurasi Middleware & Audit Keamanan IoT

Kerjakan penugasan terstruktur 'Tugas 3' (Bobot 10%) dengan merancang alur Rule Chain pada platform ThingsBoard serta melakukan audit kepatuhan keamanan pada node IoT yang dikembangkan.

#### Bagian A: Spesifikasi Konfigurasi Entitas & Rule Chain ThingsBoard

Komponen / Parameter IoT	Deskripsi / Isian Konfigurasi
--------------------------	-------------------------------

1. Profil Perangkat (Device	Profile 'ColdStorage_Sensor' (Transport
-----------------------------	-----------------------------------------

<b>Profile):</b>	Type: MQTT, Token Access Auth)
<b>2. Atribut Server (Server Attributes):</b>	`threshold_temp_max: -18.0` °C, `contact_person: admin@itats.ac.id`
<b>3. Alur Simpul Rule Chain (Filter Node):</b>	Script Filter: `return msg.temperature > metadata.threshold_temp_max;`
<b>4. Aksi Tindak Lanjut (Action Node):</b>	Create Alarm (Severity: CRITICAL, Type: 'High Temperature Cold Storage')
<b>5. Integrasi Eksternal (External Node):</b>	REST API Webhook mengirimkan payload alert ke Sistem ERP Logistik

## Bagian B: Matriks Evaluasi Audit Keamanan Perangkat IoT (SubCPMK 4)

Komponen / Parameter IoT	Deskripsi / Isian Konfigurasi
<b>Enkripsi Data Transit (In-Flight):</b>	SUDAH DITERAPKAN (MQTT over TLS 1.3 Port 8883 dengan sertifikat Root CA)
<b>Otentikasi Kredensial Perangkat:</b>	SUDAH DITERAPKAN (Device Access Token unik per node, bukan shared credentials)
<b>Perlindungan Firmware (At-REST):</b>	SUDAH DITERAPKAN (Fitur Flash Encryption diaktifkan pada modul ESP32)
<b>Protokol Pembaruan Firmware (OTA):</b>	SUDAH DITERAPKAN (HTTPS OTA Server dengan verifikasi SHA-256 Checksum)
<b>Status Kelengkapan Berkas Tugas 3:</b>	Lengkap & Terverifikasi memenuhi standar keamanan untuk penilaian SubCPMK 4 (Bobot 10%)

## Lembar Refleksi & Evaluasi Kasus:

1. Jelaskan bagaimana mekanisme Device Shadow / Digital Twin pada platform cloud IoT membantu aplikasi mobile sistem informasi tetap dapat beroperasi secara responsif saat perangkat fisik di lapangan sedang berada di luar jangkauan jaringan:

2. Mengapa serangan siber pada perangkat IoT dapat mengancam integritas seluruh jaringan sistem informasi enterprise organisasi?

#### **[RANGKUMAN METODOLOGI IOT] Rangkuman Eksekutif BAB 4**

1. Middleware IoT menyediakan lapisan abstraksi, manajemen siklus hidup perangkat, dan mesin aturan logika (Rule Engine).
2. Platform ThingsBoard dan AWS IoT Core memfasilitasi skalabilitas jutaan koneksi perangkat telemetry secara terkelola.
3. Keamanan IoT menerapkan prinsip Defense-in-Depth: Secure Boot, Flash Encryption, TLS/SSL, mTLS, dan Secure OTA Updates.
4. Integrasi IoT pada sistem informasi bisnis terbukti mengoptimalkan efisiensi pada Smart Agriculture, Smart Logistics, dan Smart Manufacturing.

#### **Soal Evaluasi Pemahaman BAB 4**

1. Uraikan 4 fungsi fundamental dari Middleware IoT dalam arsitektur sistem informasi enterprise modern!
2. Apa yang dimaksud dengan konsep Device Shadow (Digital Twin) pada platform cloud IoT dan bagaimana cara kerjanya saat menangani komunikasi dengan perangkat edge yang beroperasi dalam mode hemat daya (Deep Sleep)?
3. Jelaskan konsep pertahanan berlapis (Defense-in-Depth) pada sistem IoT serta jelaskan peran sertifikat digital X.509 dalam mengamankan transmisi data MQTT!
4. Bagaimana mekanisme pembaruan firmware Over-The-Air (OTA) yang aman dijalankan dan mengapa verifikasi tanda tangan digital (Digital Signature) mutlak diwajibkan?

## **BAB 5: INTEGRASI IOT DENGAN BIG DATA, EDGE AI (TINYML), & ANALITIK PREDIKTIF**

### **[PRINSIP ARSITEKTUR IOT] Capaian Pembelajaran Bab (Bahan Kajian RPS)**

1. Memahami arsitektur integrasi data telemetri IoT skala masif ke dalam ekosistem Big Data enterprise (Karakteristik 5V & Apache Kafka Streaming).
2. Menganalisis pergeseran paradigma komputasi dari Cloud-Centric Computing menuju Edge Computing cerdas.
3. Menguasai konsep dan alur kerja Tiny Machine Learning (TinyML) pada mikrokontroler berdaya rendah (ESP32 / RP2040 Pico).
4. Menerapkan optimasi model AI melalui teknik Kuantisasi INT8 dan kompresi bobot menggunakan TensorFlow Lite for Microcontrollers.
5. Merancang solusi analitik prediktif bisnis (Predictive Maintenance dan Deteksi Anomali Sensorik) untuk meminimalkan downtime operasional.
6. Menyelesaikan penugasan terstruktur resmi RPS: 'Tugas 4 - Analisis Kinerja & Edge AI IoT' (Bobot 15%).

### **5.1 Arsitektur Integrasi IoT dan Big Data (The Big Data of Things)**

Pertumbuhan eksponensial jumlah node sensor IoT menghasilkan fenomena Big Data of Things yang memenuhi karakteristik 5V:

- **Volume:** Miliaran data point telemetri dihasilkan setiap hari dari berbagai lokasi geografis.
- **Velocity:** Data mengalir secara terus-menerus (High-Frequency Streaming) dalam hitungan milidetik.
- **Variety:** Format data bervariasi dari pembacaan numerik sederhana, koordinat GPS, hingga sinyal spektrogram gelombang getaran dan audio.

- **Veracity:** Tingkat keandalan data yang dipengaruhi oleh noise sensor, interferensi sinyal radio, atau kehabisan daya baterai.
- **Value:** Nilai bisnis strategis yang dapat diekstraksi untuk memprediksi tren masa depan dan mengotomatisasi rantai nilai organisasi.

Platform Streaming Message Broker terdistribusi seperti Apache Kafka bertindak sebagai penyangga (Data Ingestion Buffer) berkinerja tinggi yang mampu menampung jutaan pesan per detik sebelum didistribusikan ke kluster analitik (Apache Spark / Hadoop).

## **5.2 Pergeseran Paradigma: Cloud Computing ke Edge Computing & Edge AI**

Pada era awal IoT, seluruh data mentah dikirimkan langsung ke server cloud untuk diproses (Cloud-Centric Architecture). Namun, pendekatan ini menghadapi kendala serius saat diterapkan pada sistem kritis:

1. **Keterbatasan Bandwidth Jaringan:** Mengirim jutaan data mentah kontinu memboroskan kuota seluler dan membebani throughput jaringan.
2. **Latensi Tinggi:** Waktu transmisi bolak-balik (Round-Trip Time) ke cloud (100 - 500 ms) terlalu lambat untuk sistem keselamatan industri darurat yang membutuhkan respon < 20 ms.
3. **Ketergantungan Koneksi Internet:** Jika sambungan internet terputus, sistem lokal akan lumpuh total.
4. **Isu Privasi Data:** Pengiriman rekaman suara atau citra mentah ke server eksternal rentan terhadap pelanggaran regulasi perlindungan data pribadi (GDPR/UU PDP).

Solusinya adalah Edge Computing: Memindahkan beban komputasi analitik langsung ke perangkat tepi (Edge Nodes) yang berada dekat dengan sumber data fisik.

#### **[PRINSIP ARSITEKTUR IOT] Keunggulan Edge AI (Edge Intelligence)**

1. Latensi Nol (Zero Latency Response) | 2. Hemat Bandwidth (Hanya kirim ringkasan/anomali) | 3. Keandalan Offline (Tetap cerdas tanpa internet) | 4. Privasi Terjaga (Data mentah tidak keluar dari perangkat).

### **5.3 Konsep & Alur Kerja Tiny Machine Learning (TinyML)**

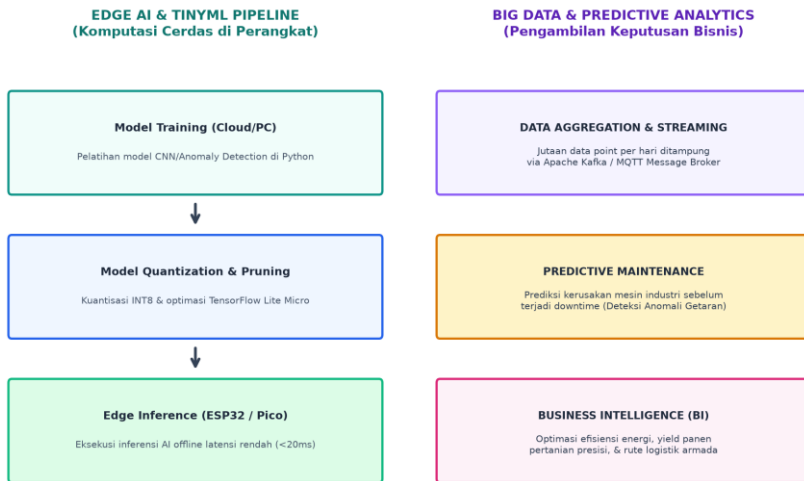
Tiny Machine Learning (TinyML) adalah cabang kecerdasan buatan mutakhir yang memungkinkan model machine learning dan deep learning dieksekusi langsung pada mikrokontroler dengan memori SRAM di bawah 512 KB dan konsumsi daya listrik dalam satuan miliwatt (Dow, 2024).

Tahapan Pipeline TinyML (menggunakan Edge Impulse Studio / TFLite Micro):

1. Akuisisi Data Sensor (Data Collection): Mengumpulkan rekaman sinyal sensor (misal: akselerometer 3-sumbu pada motor berputar).
2. Ekstraksi Fitur (Feature Engineering / DSP): Menerapkan Fast Fourier Transform (FFT) atau Spectral Analysis untuk mengekstraksi pola domain frekuensi.
3. Pelatihan Model (Model Training): Melatih arsitektur jaringan saraf tiruan (Convolutional Neural Network / Anomaly Detection Autoencoder) di cloud/PC.
4. Kuantisasi & Kompresi Model (Quantization): Mengonversi bobot model dari presisi Floating Point 32-bit (FP32)

menjadi Integer 8-bit (INT8), mereduksi ukuran model hingga 75% tanpa mengurangi akurasi secara signifikan.

5. Penerapan pada Mikrokontroler (Edge Deployment): Mengekspor model terkompresi sebagai berkas C++ header (`model.h`) dan menjalankannya secara offline pada ESP32 atau Raspberry Pi Pico.



Gambar 5.1: Pipeline Integrasi IoT dengan Big Data & Edge AI (TinyML)

## 5.4 Analitik Prediktif Enterprise & Tren Masa Depan IoT

### A. Pemeliharaan Prediktif (Predictive Maintenance / PdM):

Model TinyML pada ESP32 memantau pola getaran motor turbin pabrik secara real-time. Ketika model mendeteksi anomali getaran mikro yang mengindikasikan keausan bearing bola (Ball Bearing Wear), sistem otomatis membuat tiket perbaikan di sistem ERP sebelum terjadi kerusakan katastropik.

## B. Tren Masa Depan IoT dalam Sistem Informasi:

- Jaringan Nirkabel LPWAN (LoRaWAN & NB-IoT): Jangkauan transmisi hingga 15 km dengan daya tahan baterai hingga 10 tahun.
- Web of Things (WoT - Standar W3C): Menghubungkan seluruh perangkat IoT menggunakan standar web terbuka (JSON-LD, REST, WebSockets).
- Integrasi Blockchain: Memanfaatkan Smart Contracts untuk otentikasi identitas perangkat secara terdesentralisasi dan transaksi otomatis Machine-to-Machine (M2M).

### [STUDI KASUS SISTEM INFORMASI IOT] Studi Kasus Efisiensi Energi Berbasis TinyML

Penerapan mikrokontroler ESP32 berteknologi TinyML untuk mendeteksi keberadaan manusia dan pola aktivitas di ruang kelas kampus ITATS berhasil mereduksi pemborosan listrik AC dan lampu hingga 38% per semester!

## Aktivitas Pembelajaran & Penugasan Terstruktur: LEMBAR KERJA 5 (TUGAS 4 RPS): Desain Pipeline TinyML & Evaluasi Kinerja IoT

Kerjakan penugasan terstruktur kelompok 'Tugas 4' (Bobot 15%) dengan merancang pipeline TinyML untuk deteksi anomali getaran mesin serta menganalisis efisiensi komputasi edge dibanding cloud.

### Bagian A: Parameter Model TinyML & Spesifikasi Data Sensor

Komponen / Parameter IoT	Deskripsi / Isian Konfigurasi
1. Kasus Penggunaan TinyML yang Dipilih:	Deteksi Dini Anomali Getaran Motor Pompa Pendingin Data Center

<b>2. Tipe Sensor Input &amp; Frekuensi Sampling:</b>	Akselerometer MPU6050 (Sampling Rate: 100 Hz pada sumbu X, Y, Z)
<b>3. Algoritma Model yang Dilatih:</b>	K-Means Anomaly Detection & Jaringan Saraf 1D-CNN
<b>4. Teknik Optimasi Kompresi:</b>	Post-Training Quantization (INT8 Optimization via TensorFlow Lite Micro)
<b>5. Ukuran Model Biner Akhir di RAM:</b>	Ukuran model: 18.4 KB (Sangat hemat di SRAM ESP32 520 KB)

## Bagian B: Evaluasi Metrik Kinerja Komputasi Edge vs. Cloud (SubCPMK 5)

Komponen / Parameter IoT	Deskripsi / Isian Konfigurasi
<b>Waktu Inferensi On-Device (Edge Latency):</b>	14.2 milidetik per jendela klasifikasi (Real-Time Responsif)
<b>Akurasi Deteksi Anomali (F1-Score):</b>	96.8% pada data uji validasi
<b>Konsumsi Bandwidth Data:</b>	Hanya mengirimkan status anomali (Hemat kuota data 99.5% dibanding streaming mentah)
<b>Ketahanan Operasional Mode Offline:</b>	Model tetap berfungsi normal 100% saat koneksi Wi-Fi eksternal padam
<b>Status Kelengkapan Berkas Tugas 4:</b>	Lengkap & Terverifikasi untuk penilaian capaian SubCPMK 5 (Bobot 15%)

## Lembar Refleksi & Evaluasi Kasus:

1. Jelaskan bagaimana penerapan teknologi Tiny Machine Learning (TinyML) mengatasi dilema antara kebutuhan kecerdasan komputasi buatan dan keterbatasan daya baterai pada sensor lapangan:

2. Bagaimana integrasi data telemetri IoT dengan Big Data analytics mengubah strategi pemeliharaan mesin perusahaan dari paradigma 'Preventive' (Jadwal Rutin Kaku) menjadi 'Predictive' (Berdasarkan Kondisi Aktual)?

### **[RANGKUMAN METODOLOGI IOT] Rangkuman Eksekutif BAB 5**

1. Big Data of Things mengelola data streaming telemetri masif berbasis karakteristik 5V menggunakan Apache Kafka.
2. Edge Computing mengatasi kelemahan latensi, bandwidth, privasi, dan ketergantungan koneksi pada arsitektur cloud murni.
3. TinyML memungkinkan model machine learning dijalankan langsung di atas chip mikrokontroler melalui kuantisasi INT8.
4. Analitik prediktif dan deteksi anomali pada sistem informasi bisnis mencegah kerugian finansial akibat kerusakan mesin.
5. • Masa depan IoT ditandai oleh konvergensi teknologi LPWAN (LoRaWAN), Web of Things (WoT), dan Blockchain M2M.

### **Soal Evaluasi Pemahaman BAB 5**

1. Uraikan bagaimana karakteristik 5V (Volume, Velocity, Variety, Veracity, Value) memanifestasikan dirinya dalam aliran data jaringan sensor IoT enterprise!
2. Jelaskan 4 alasan utama mengapa industri modern saat ini gencar mentransisikan beban komputasi analitik dari server cloud ke perangkat tepi (Edge Computing)!
3. Uraikan tahapan siklus pengembangan model Tiny Machine Learning (TinyML) mulai dari akuisisi data sensor mentah hingga kompilasi model C++ pada mikrokontroler ESP32!
4. Jelaskan peran teknologi LPWAN (seperti LoRaWAN dan NB-IoT) dalam memungkinkan implementasi sistem informasi geografis berskala kota pintar (Smart City)!

## **BAB 6: PERANCANGAN SOLUSI IOT TERPADU, IMPLEMENTASI PROYEK, & EVALUASI UAS**

### **[PRINSIP ARSITEKTUR IOT] Capaian Pembelajaran Bab (Bahan Kajian RPS)**

1. Menerapkan metodologi rekayasa terstruktur dalam merancang arsitektur solusi sistem informasi berbasis IoT end-to-end.
2. Mengintegrasikan seluruh pilar teknologi: Sensor edge, Mikrokontroler ESP32/Pico, Protokol MQTT, Pipeline Node-RED, Storage InfluxDB, dan Dasbor Grafana.
3. Menyusun dokumentasi portofolio profesional sistem IoT yang mencakup skema rangkaian, kode biner firmware, skema payload JSON, dan arsitektur data pipeline.
4. Melakukan pengujian kinerja sistem (Benchmarking): Pengukuran latensi end-to-end, uji kehilangan paket data (Packet Loss), dan kalibrasi sensor.
5. Mempresentasikan hasil rancang bangun proyek sistem informasi IoT secara kolaboratif dan meyakinkan di hadapan tim dosen penguji.
6. Menyelesaikan evaluasi puncak kurikulum: 'Ujian Akhir Semester (UAS Presentasi Proyek Akhir)' (Bobot 25% kumulatif).

### **6.1 Metodologi Rekayasa Solusi Sistem Informasi Berbasis IoT**

Merancang sistem IoT untuk kebutuhan bisnis enterprise memerlukan pendekatan rekayasa holistik yang menghubungkan aspek teknis perangkat keras dengan tujuan strategis organisasi. Metodologi pengembangan terbagi atas 5 fase utama:

1. Fase Analisis Masalah Bisnis & Penentuan Target KPI: Mengidentifikasi proses manual yang tidak efisien, rawan kesalahan manusia (Human Error), atau membutuhkan

monitoring terus-menerus 24/7 (misal: kebocoran air di fasilitas umum, pemborosan energi listrik pendingin ruangan, atau kerusakan mendadak mesin produksi).

2. Fase Pemetaan Kebutuhan Data & Desain Hardware: Menentukan parameter fisika apa saja yang wajib diukur, tingkat presisi yang dibutuhkan, frekuensi sampling data, dan memilih mikrokontroler (ESP32/Pico) serta sensor yang memenuhi standar industri.
3. Fase Rekayasa Firmware & Protokol Jaringan: Menulis kode program mikrokontroler yang hemat daya, menerapkan timer non-blocking, serta merancang struktur topik MQTT hierarkis dan skema payload JSON yang rapi.
4. Fase Rekayasa Pipeline Data & Cloud Middleware: Membangun aliran data otomatis pada Node-RED untuk validasi data masuk, penyimpanan time-series di InfluxDB, dan integrasi webhook peringatan darurat.
5. Fase Perancangan Dasbor Analitik & Pengambilan Keputusan: Merancang antarmuka Grafana / ThingsBoard yang intuitif, menyajikan grafik tren historis, indikator status waktu nyata, dan data agregasi yang langsung dapat dipahami oleh pihak manajemen eksekutif.

## **6.2 Standar Dokumentasi Portofolio Proyek Akhir IoT Enterprise**

Sebagai syarat kelulusan mata kuliah Pemrograman Internet of Things (SubCPMK 6 | Bobot 25%), mahasiswa menyusun portofolio teknis komprehensif yang memuat komponen:

- A. Diagram Blok Arsitektur Sistem Terintegrasi: Menunjukkan alur data dari sensor fisik -> mikrokontroler -> Wi-Fi ->

Broker MQTT -> Node-RED -> InfluxDB -> Grafana -> Aplikasi Mobile.

- B. Skema Rangkaian Elektronika (Schematic Diagram): Diagram koneksi pinout GPIO, resistor pull-up/pull-down, dan sumber catu daya teregulasi.
- C. Kamus Data & Spesifikasi Topik MQTT: Daftar lengkap nama topik publish/subscribe beserta struktur tipe data JSON payload.
- D. Dokumentasi Kode Program Firmware: Berkas source code C++/MicroPython lengkap dengan komentar penjelas alur logika.
- E. Berkas Ekspor Aliran Data Pipeline (Node-RED JSON Flow): Berkas konfigurasi aliran data yang siap diimpor ke server produksi.
- F. Rencana Anggaran Biaya (Bill of Materials / BOM): Tabel estimasi biaya komponen hardware dan lisensi cloud.

#### **[PRINSIP ARSITEKTUR IOT] Struktur Dokumen Portofolio Proyek Akhir UAS**

1. Lembar Pengesahan & Identitas Anggota Kelompok
2. Latar Belakang Masalah Bisnis & Ruang Lingkup Sistem
3. Desain Arsitektur 4-Layer & Skema Hardware
4. Implementasi Firmware & Protokol Komunikasi Data MQTT
5. Implementasi Pipeline Node-RED & Dasbor Grafana
6. Pengujian Sistem (Uji Latensi, Kehilangan Paket, & Akurasi)
7. Kesimpulan & Rekomendasi Pengembangan Lanjutan

## **6.3 Pengujian Kinerja & Kalibrasi Sistem IoT**

Sebelum sistem IoT dinyatakan siap beroperasi di lingkungan produksi, serangkaian pengujian terukur wajib dilaksanakan:

1. Uji Akurasi & Kalibrasi Sensor: Membandingkan nilai pembacaan sensor lapangan terhadap alat ukur standar laboratorium terkalibrasi untuk menghitung persentase kesalahan relatif (Relative Error Margin  $< 5\%$ ).
2. Uji Latensi End-to-End: Mengukur durasi waktu yang dibutuhkan sejak sensor mendeteksi perubahan fisik hingga grafik pada dasbor Grafana terbaru (Target:  $< 1.000$  ms pada jaringan lokal).
3. Uji Kehilangan Paket Data (Packet Loss Test): Mengirimkan 1.000 paket telemetri secara kontinu pada berbagai kondisi sinyal Wi-Fi (RSSI -50 dBm hingga -85 dBm) untuk memastikan tingkat keberhasilan pengiriman paket  $> 99.0\%$  menggunakan QoS 1.
4. Uji Ketahanan Catu Daya (Power Consumption Test): Mengukur arus konsumsi listrik mikrokontroler saat mode aktif (Active Mode  $\sim 120$  mA) dan mode tidur nyenyak (Deep Sleep Mode  $\sim 10$  uA) untuk memprediksi masa pakai baterai.

## **6.4 Rubrik Presentasi Sidang Proyek Akhir di Hadapan Tim Dosen**

Pada minggu ke-16, setiap kelompok mempresentasikan dan mendemonstrasikan sistem IoT secara langsung (Live System Demonstration). Aspek utama yang dinilai mencakup penguasaan arsitektur, kelancaran transmisi data real-time, kerapian dasbor analitik, kekokohan penanganan error (Fail-Safe Mechanism), dan kemampuan menjawab pertanyaan penguji secara analitis dan ilmiah.

## Aktivitas Pembelajaran & Penugasan Terstruktur: LEMBAR KERJA 6 (EVALUASI UAS RPS): Checklist Portofolio Proyek Akhir IoT

Lengkapi lembar verifikasi checklist dokumen portofolio proyek akhir sistem informasi IoT dan lakukan pengujian mandiri sebelum pelaksanaan Evaluasi Akhir Semester (UAS - Bobot 25% kumulatif).

### Bagian A: Verifikasi Kelengkapan Artefak Proyek Akhir Terpadu

Komponen / Parameter IoT		Deskripsi / Isian Konfigurasi
1.	<b>1. Judul Proyek Akhir IoT Enterprise:</b>	Smart Energy Monitoring & Automated Load Shedding System Berbasis ESP32 & Grafana
2.	<b>Prototipe Hardware &amp; Rangkaian Fisik:</b>	LENGKAP & TERUJI (ESP32 terhubung ke sensor arus PZEM-004T & Modul Relay 4-Channel)
3.	<b>Firmware Mikrokontroler:</b>	LENGKAP (Source Code C++ dengan timer millis() dan auto-reconnect Wi-Fi/MQTT)
4.	<b>Integrasi Pipeline Node-RED &amp; InfluxDB:</b>	LENGKAP (Flow ETL mem-parsing daya listrik dan menyimpan data deret waktu)
5.	<b>Dasbor Pemantauan Real-Time Grafana:</b>	LENGKAP (Panel kWh harian, status beban aktif, dan alarm Telegram jika overload)

## Bagian B: Hasil Pengujian Kinerja & Kesiapan Sidang UAS (SubCPMK 6)

Komponen / Parameter IoT	Deskripsi / Isian Konfigurasi
Tingkat Keberhasilan Pengiriman Data (QoS 1):	99.8% (Hanya 2 paket hilang dari 1.000 transmisi uji)
Rata-Rata Latensi End-to-End:	420 milidetik (Dari sensor edge ke pembaruan grafik dasbor)
Akurasi Pengukuran Daya vs. Multimeter Standar:	Tingkat akurasi 98.6% (Toleransi kesalahan 1.4%)
Kelengkapan Berkas Dokumen Laporan Akhir:	Lengkap & Terjilid rapi sesuai format standar Program Studi S1 SI ITATS
Status Kesiapan Presentasi Sidang UAS:	100% SIAP DIUJI DI HADAPAN TIM DOSEN PENGUJI (Bobot 25%)

### Lembar Refleksi & Evaluasi Kasus:

1. Tuliskan refleksi kritis kelompok Anda mengenai tantangan terbesar yang dihadapi saat mengintegrasikan komponen hardware fisik dengan arsitektur cloud sistem informasi:

.....

2. Bagaimana solusi sistem informasi berbasis IoT yang Anda bangun dapat dikembangkan lebih lanjut menjadi produk komersial siap pakai di dunia industri?

#### [RANGKUMAN METODOLOGI IOT] Rangkuman Eksekutif BAB 6

- Metodologi perancangan solusi IoT mencakup analisis bisnis, desain hardware, firmware, pipeline data, dan dasbor keputusan.
- Dokumentasi portofolio profesional memuat diagram arsitektur, skema rangkaian, spesifikasi MQTT/JSON, dan kode program.
- Pengujian kinerja sistem wajib mengukur akurasi sensor, latensi end-to-end, packet loss, dan konsumsi daya.

- Presentasi proyek akhir dan demonstrasi langsung menjadi puncak evaluasi capaian pembelajaran lulusan pada UAS (Bobot 25%).

## **Soal Evaluasi Pemahaman BAB 6**

1. Uraikan 5 tahapan metodologi rekayasa dalam merancang solusi sistem informasi berbasis IoT enterprise mulai dari identifikasi masalah bisnis hingga perancangan dasbor analitik!
2. Sebutkan dan jelaskan komponen-komponen utama yang wajib disertakan di dalam bundel dokumen portofolio proyek akhir sistem IoT berstandar profesional!
3. Mengapa pengujian kehilangan paket data (Packet Loss Test) dan pengujian latensi end-to-end mutlak dilaksanakan sebelum sistem IoT dideploy ke lingkungan produksi?
4. Jelaskan bagaimana penguasaan pemrograman IoT, pengolahan basis data time-series, dan visualisasi dasbor analitik mempersiapkan profil lulusan S1 Sistem Informasi ITATS dalam memimpin proyek transformasi digital industri!

# GLOSARIUM ISTILAH INTERNET OF THINGS (A - Z)

Istilah / Terminologi	Definisi Konseptual & Praktis IoT
<b>Actuator (Aktuator)</b>	Perangkat transduser elektromagnetik yang mengubah sinyal kendali listrik menjadi gerakan mekanis fisik (misal: Relay, Motor Servo, Solenoid Valve).
<b>Analog-to-Digital Converter (ADC)</b>	Rangkaian periferal internal mikrokontroler yang mengonversi level tegangan analog kontinu (0 - 3.3V) menjadi nilai biner diskret (12-bit = 0 - 4095).
<b>Apache Kafka</b>	Platform streaming pesan terdistribusi berkinerja tinggi yang bertindak sebagai buffer penampung aliran data telemetri IoT skala Big Data.
<b>CoAP (Constrained Application Protocol)</b>	Protokol web transfer data ringan berbasis UDP yang dirancang khusus untuk perangkat cerdas dengan kapasitas memori dan daya yang sangat terbatas.
<b>Dashboard</b>	Antarmuka visual grafis berbasis web yang menyajikan indikator kinerja utama, grafik deret waktu, dan status kesehatan perangkat IoT secara terpadu.
<b>Device Shadow (Digital Twin)</b>	Representasi virtual dari perangkat fisik yang tersimpan di cloud, memungkinkan sinkronisasi status data saat perangkat offline.
<b>Edge Computing</b>	Paradigma komputasi terdistribusi yang memproses dan menganalisis data langsung di dekat sumber fisik (Edge Node) untuk meminimalkan latensi dan bandwidth.
<b>ESP32 SoC</b>	Chip mikrokontroler 32-bit Dual-Core berdaya rendah karya Espressif Systems yang mengintegrasikan prosesor Xtensa, Wi-Fi 2.4 GHz,

	dan Bluetooth BLE.
<b>General Purpose Input/Output (GPIO)</b>	Pin antarmuka digital pada mikrokontroler yang dapat diprogram secara dinamis sebagai saluran masukan (Input) atau keluaran (Output).
<b>Grafana</b>	Platform perangkat lunak open-source terkemuka untuk visualisasi metrik, analisis analitik multi-sumber data, dan sistem peringatan (Alerting) real-time.
<b>InfluxDB</b>	Sistem manajemen basis data deret waktu (Time-Series Database) open-source yang dioptimalkan untuk penyimpanan cepat dan kueri data ber-timestamp.
<b>Internet of Things (IoT)</b>	Infrastruktur global cyber-physical yang menghubungkan benda-benda fisik ke jaringan internet melalui sensor, komunikasi data, dan komputasi cerdas.
<b>JSON (JavaScript Object Notation)</b>	Format standar pertukaran data berbasis teks yang ringan, mudah dibaca manusia dan mesin, serta menjadi standar payload telemetri IoT.
<b>Last Will and Testament (LWT)</b>	Fitur darurat protokol MQTT di mana broker secara otomatis mempublikasikan pesan status 'Offline' jika node sensor terputus mendadak.
<b>LoRaWAN (Long Range Wide Area Network)</b>	Protokol jaringan nirkabel berdaya sangat rendah yang mampu mentransmisikan data jarak jauh (hingga 15 km) untuk aplikasi Smart City dan Pertanian.
<b>MicroPython</b>	Implementasi bahasa pemrograman Python 3 yang dioptimalkan secara efisien untuk berjalan langsung di atas chip mikrokontroler memori terbatas.
<b>Middleware IoT</b>	Lapisan perangkat lunak perantara yang mengabstraksi heterogenitas perangkat keras edge dan mengelola perutean data ke aplikasi sistem

	informasi.
<b>MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)</b>	Protokol komunikasi data berbasis pola Publish-Subscribe (ISO/IEC 20922) yang sangat ringan dan hemat bandwidth.
<b>Mutual TLS (mTLS)</b>	Metode otentikasi keamanan timbal balik di mana perangkat edge dan server broker saling memvalidasi sertifikat digital X.509 masing-masing.
<b>Node-RED</b>	Kakas pemrograman visual berbasis aliran (Flow-Based Programming) untuk mengintegrasikan perangkat keras, protokol jaringan, dan API cloud.
<b>Over-The-Air (OTA) Updates</b>	Mekanisme pembaruan biner firmware mikrokontroler secara nirkabel melalui jaringan Wi-Fi tanpa perlu menghubungkan kabel data fisik.
<b>Predictive Maintenance (PdM)</b>	Strategi pemeliharaan mesin berbasis kondisi nyata dengan menganalisis pola anomali data getaran/suhu untuk mencegah kegagalan fatal.
<b>Quality of Service (QoS)</b>	Jaminan tingkat keandalan pengiriman pesan pada protokol MQTT yang terbagi atas tiga tingkatan: QoS 0, QoS 1, dan QoS 2.
<b>Raspberry Pi Pico</b>	Papan pengembangan mikrokontroler berbiaya ekonomis berbasis chip RP2040 Dual-Core ARM Cortex-M0+ yang dirancang oleh Raspberry Pi Foundation.
<b>Retained Message</b>	Fitur MQTT di mana broker menyimpan pesan terakhir pada suatu topik agar langsung diterima oleh klien baru yang baru saja berlangganan (Subscribe).
<b>Rule Engine</b>	Komponen middleware cerdas yang mengevaluasi kondisi data masuk dan secara otomatis memicu serangkaian tindakan (Actions) atau alarm.
<b>Sensor</b>	Perangkat transduser yang mendeteksi dan mengukur besaran fisika/kimia lingkungan dan

mengubahnya menjadi sinyal listrik yang dapat dibaca MCU.

---

**ThingsBoard**

Platform IoT open-source enterprise untuk pengumpulan data telemetri, pemrosesan Rule Chains, manajemen perangkat, dan visualisasi dasbor.

---

**Time-Series Data**

Koleksi data numerik yang dicatat secara berurutan berdasarkan linimasa waktu (Timestamp) dengan sifat append-only.

---

**Tiny Machine Learning (TinyML)**

Cabang AI mutakhir yang memungkinkan eksekusi model machine learning secara offline pada mikrokontroler berdaya rendah (miliwatt).

---

## RUBRIK PENILAIAN & MATRIKS KORELASI TUGAS RPS (BOBOT TOTAL 100%)

Evaluasi pembelajaran Mata Kuliah Pemrograman Internet of Things (Kode MK: 25137143) mengacu pada matriks penugasan resmi RPS Kurikulum 2021 ITATS:

### 1. Matriks Evaluasi Penugasan Terstruktur RPS (Bobot Total 100%)

Komponen Penilaian RPS	Bobot	Indikator Penilaian & Artefak Tugas
1. Tugas 1: Analisis Arsitektur IoT & Identifikasi Hardware (SubCPMK 1   M1-3)	10%	Kemampuan menguraikan arsitektur 4-lapisan IoT, memilih mikrokontroler (ESP32/Pico), serta menentukan spesifikasi antarmuka sensor dan aktuator yang tepat.
2. Tugas 2: Pemrograman Dasar IoT & Komunikasi Data MQTT (SubCPMK 2   M4-6)	15%	Kemampuan menyusun firmware C++/MicroPython dengan timer non-blocking, merancang topik MQTT hierarkis, mengonfigurasi QoS, dan mem-parsing JSON payload.
3. Ujian Tengah Semester (UTS): Desain Pipeline Data & Dasbor (SubCPMK 3   M7-8)	25%	Penguasaan dalam merancang alur ETL Node-RED, skema database time-series InfluxDB (Tags/Fields), visualisasi dasbor Grafana, dan konfigurasi alerting.
4. Tugas 3:	10%	Keterampilan mengonfigurasi platform

	<b>Konfigurasi Middleware &amp; Audit Keamanan IoT (SubCPMK 4   M9-11)</b>		ThingsBoard (Rule Chains), menerapkan enkripsi transit TLS 1.3, autentikasi kredensial, dan perlindungan firmware OTA.
5.	<b>Tugas 4: Integrasi Big Data, Edge AI (TinyML), &amp; Evaluasi (SubCPMK 5   M12-14)</b>	<b>15%</b>	Kemampuan merancang model TinyML (Kuantisasi INT8), mengukur latensi komputasi edge, dan menganalisis efisiensi solusi analitik prediktif bisnis.
6.	<b>Ujian Akhir Semester (UAS): Portofolio Solusi Terpadu &amp; Demo Proyek (SubCPMK 6)</b>	<b>25%</b>	Validasi dokumen portofolio komprehensif solusi IoT, keberhasilan demonstrasi sistem real-time end-to-end, dan presentasi di hadapan tim dosen penguji.

## 2. Skala Konversi Nilai & Standar Capaian Pembelajaran

Rentang Nilai & Huruf	Deskripsi Kualitatif Capaian
<b>Sangat Baik (A: 85 - 100)</b>	Arsitektur sistem sangat komprehensif, firmware bebas bug dengan penanganan non-blocking sempurna, protokol MQTT terenkripsi TLS, pipeline Node-RED & InfluxDB berjalan mulus, dasbor Grafana sangat informatif dan responsif, demonstrasi proyek 100% sukses.
<b>Baik (B: 70 - 84)</b>	Konsep arsitektur dipahami baik, komunikasi data MQTT dan parsing JSON berfungsi lancar, dasbor visualisasi tersusun rapi, dokumentasi

---

portofolio lengkap.

---

**Cukup (C: 55 - 69)**

Sistem IoT dasar berfungsi, namun masih terdapat penggunaan fungsi delay() yang memblokir kode, konfigurasi keamanan belum optimal, atau dasbor analitik kurang lengkap.

---

**Kurang (D/E: < 55)**

Gagal menghubungkan perangkat edge ke jaringan, tidak mengumpulkan artefak penugasan RPS, atau tidak mempresentasikan proyek akhir pada evaluasi UAS.

---

## **DAFTAR PUSTAKA UTAMA SESUAI RPS RESMI**

- Zulfiqar, A. (2024). Hands-on ESP32 with Arduino IDE: Unleash the power of IoT with ESP32 and build exciting projects with this practical guide. Birmingham, UK: Packt Publishing. [Pustaka Utama RPS]
- Yamanoor, S., & Yamanoor, S. (2022). Raspberry Pi Pico DIY workshop: Build exciting projects in home automation, personal health, gardening, and citizen science. Birmingham, UK: Packt Publishing. [Pustaka Utama RPS]
- Rutherford, R., VandeVen, S., Zheng, G., Shahriar, H., & Tian, X. (2019). Internet of Things (Open Course) [Open Educational Resource, CC BY 4.0]. Kennesaw, GA: Kennesaw State University. <https://oer.galileo.usg.edu/compsci-ancillary/41/> [Pustaka Utama RPS]
- Dow, C. (2024). Internet of things programming projects: Build exciting IoT projects using Raspberry Pi 5, Raspberry Pi Pico, and Python (2nd ed.). Birmingham, UK: Packt Publishing. [Pustaka Utama RPS]
- Hagino, T. (2021). Practical Node-RED programming: Learn powerful visual programming techniques and best practices for the web and IoT. Birmingham, UK: Packt Publishing. [Pustaka Utama RPS]

## **PROFIL DOSEN PENGEMBANG RPS & PENGAMPU**

**[PRINSIP ARSITEKTUR IOT] Isa Albanna, S.Si., M.Si.**

Dosen Pengembang Rencana Pembelajaran Semester (RPS), Koordinator Rumpun Mata Kuliah Sistem Informasi, dan Dosen Pengampu Mata Kuliah Pemrograman Internet of Things (IoT) serta Pemrograman Berorientasi Objek pada Program Studi S1 Sistem Informasi, Fakultas Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS). Memiliki kepakaran riset mendalam pada bidang Embedded Systems Programming, Arsitektur Jaringan IoT, Pemrosesan Data Deret Waktu (Time-Series Analytics), Edge Artificial Intelligence (TinyML), dan Transformasi Digital Sistem Informasi Enterprise.

# PROGRAM STUDI S1 SISTEM INFORMASI

FAKULTAS TEKNIK ELEKTRO DAN TEKNOLOGI INFORMASI  
INSTITUT TEKNOLOGI ADHI TAMA SURABAYA

## SINOPSIS BUKU AJAR & MODUL

Buku ajar dan modul perkuliahan ini disusun secara komprehensif mengacu pada Rencana Pembelajaran Semester (RPS) Kurikulum Berbasis Outcome-Based Education (OBE) Program Studi S1 Sistem Informasi ITATS. Menjembatani integrasi holistik data telemetri dunia fisik ke dalam ekosistem sistem informasi organisasi enterprise.

Membahas tuntas arsitektur 4-layer IoT, pemrograman mikrokontroler modern (ESP32 SoC & Raspberry Pi Pico RP2040), protokol komunikasi data berbobot ringan (MQTT Pub/Sub, HTTP REST, CoAP), pipeline data deret waktu (Node-RED & InfluxDB), middleware cloud (ThingsBoard / AWS IoT), keamanan berlapis (Defense-in-Depth), hingga implementasi kecerdasan buatan tepi Edge AI (TinyML).

### PETA KOMPETENSI RPS (6 BAHAN KAJIAN POKOK)

- **BAB 1 :** Pendahuluan IoT, Arsitektur 4-Lapisan, Mikrokontroler ESP32 & Sensor/Aktuator
- **BAB 2 :** Pemrograman Dasar IoT, Protokol Komunikasi Data (MQTT vs. HTTP), & JSON SI
- **BAB 3 :** Pengolahan Data Deret Waktu (Time-Series), Pipeline Node-RED, & Dasbor Grafana
- **BAB 4 :** Middleware Cloud (ThingsBoard/AWS), Keamanan Sistem (Defense-in-Depth), & Bisnis
- **BAB 5 :** Integrasi IoT Big Data, Komputasi Cerdas Edge AI (TinyML), & Analitik Prediktif
- **BAB 6 :** Perancangan Solusi IoT Terpadu, Implementasi Proyek Akhir, & Evaluasi UAS

### PROFIL DOSEN PENGEMBANG RPS & PENGAMPU

#### Isa Albanna, S.Si., M.Si.

Dosen Pengembang Rencana Pembelajaran Semester (RPS) dan Koordinator Rumpun Mata Kuliah Sistem Informasi pada Program Studi S1 Sistem Informasi, Fakultas Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS). Memiliki kepakaran mendalam pada Embedded Systems Programming, Arsitektur Jaringan IoT, Time-Series Data Analytics, Edge AI (TinyML), dan Transformasi Digital Sistem Informasi Enterprise.

Buku Ajar & Modul Perkuliahan: Pemrograman Internet of Things (Kode MK: 25137143)

Program Studi S1 Sistem Informasi - Fakultas Teknik Elektro dan Teknologi Informasi

Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS) • Edisi Pertama, Tahun Akademik 2026/2027