

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

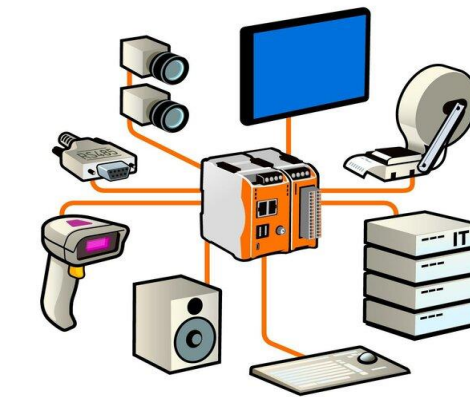
2.1 Landasan Teori

Pada subbab ini dijelaskan secara teoritis yang mendasari rancangan dan pembuatan dari proyek akhir yang dikerjakan. Yang meliputi teori sistem kontrol industri, *edge-industrial system*, arsitektur berlapis (*Layered Architecture*) dalam kontrol industri, perangkat keras yang digunakan, konsep lainnya yang berhubungan dengan sistem alat pada proyek akhir ini.

2.1.1 Sistem Kontrol Industri

Sistem kontrol industri merupakan sistem yang dirancang untuk mengawasi, mengendalikan dan mengumpulkan data dari suatu proses industri secara terpusat dan berkesinambungan. Sistem ini umumnya terdiri dari sensor sebagai input, aktuator sebagai output, pengendali terprogram, serta antarmuka manusia dan mesin (*Human Machine Interface/HMI*). Pada implementasi modern, sistem kontrol industri tidak hanya berfungsi untuk pengendalian lokal, tetapi juga mendukung visualisasi data secara *real-time* dan data *logging* (Ningrum et al., 2020).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa sistem kontrol dan *monitoring* yang terintegrasi mampu meningkatkan efisiensi operasional dan mempermudah analisis kondisi proses industri. Penerapan sistem SCADA pada proses industri seperti konveyor dan pengendalian suhu boiler telah terbukti efektif dalam memantau kondisi proses dan memberikan kendali jarak jauh terhadap sistem (Ningrum et al., 2020).

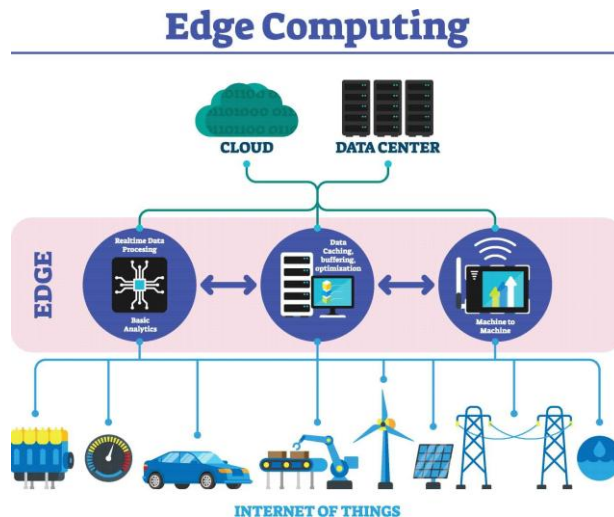


Gambar 2.1 Sistem Kontrol Industri Menggunakan RevPi

Pada Gambar 2.1 Sistem Kontrol Industri Menggunakan RevPi, menunjukkan gambaran umum sistem kontrol industri berbasis Revolution Pi yang terdiri dari sensor, aktuator, pengendali, dan antarmuka pengguna. Ilustrasi ini digunakan untuk memberikan konteks bagaimana RevPi berperan sebagai pusat kendali (*edge controller*) yang menghubungkan proses fisik dengan sistem *monitoring* dan kontrol tingkat atas.

2.1.2 Edge-Industrial System

Edge-industrial system adalah sistem komputasi yang ditempatkan dekat dengan sumber data untuk melakukan pemrosesan dan pengambilan keputusan secara lokal, tanpa harus selalu bergantung pada server pusat atau *cloud*. Pendekatan ini sangat sesuai untuk aplikasi industri yang membutuhkan respon cepat, keandalan tinggi, dan latensi yang rendah. Perangkat *edge-industrial* biasanya memiliki kemampuan komputasi, komunikasi, serta antarmuka I/O industri dalam satu platform (Eforel, 2024).



Gambar 2.2 Konsep *Edge-Industrial System*

Pada Gambar 2.2 Konsep *Edge-Industrial System* yang merupakan gambaran konsep *edge-industrial*, yang dimana proses pengolahan data dan pengambilan keputusan di tempatkan dekat dengan sumber data. Konsep ini menjadi dasar perancangan sistem dengan menempatkan RevPi Connect SE sebagai pengendali lokal yang merupakan salah satu contoh perangkat *edge-industrial* yang dirancang untuk lingkungan industri. Perangkat ini menggabungkan sistem komputasi berbasis Linux dengan modul I/O yang dapat diperluas, sehingga cocok digunakan sebagai pengendali pusat akuisisi data pada sistem kontrol industri berskala kecil hingga menengah (Eforel, 2024).

2.1.3 Arsitektur Berlapis (*Layered Architecture*) dalam Kontrol Industri

Arsitektur berlapis (*Layered Architecture*) merupakan pola fundamental dalam rekayasa sistem yang membagi fungsi-fungsi operasional ke dalam tingkatan yang terisolasi secara logis. Setiap lapisan memiliki tanggung jawab spesifik dan hanya berkomunikasi dengan lapisan di atas atau di bawahnya melalui antarmuka yang didefinisikan secara baku. Dalam konteks sistem kontrol industri, pemisahan ini dilakukan untuk mencapai *separation of concerns*, dimana fungsi kritis seperti akuisisi data logika kendali dipisahkan dari fungsi manajemen data dan presentasi visual (AppMaster, 2023).

Penerapan arsitektur berlapis pada dunia industri umumnya mengacu pada standar internasional ISA-95 (*Enterprise-Control System Integration*). Standar ini membagi hierarki sistem otomasi menjadi beberapa tingkatan:

- Level 1 (*Sensing and Manipulation*)

Berfokus pada interaksi langsung dengan proses fisik melalui sensor dan aktuator. Pada level ini, perangkat harus memiliki keandalan tinggi dan kemampuan pemrosesan lokal (*edge computing*) untuk menangani logika keselamatan secara otonom.

- Level 2 (*Monitoring and Supervisory Control*)

Berfungsi sebagai pusat pengawasan yang mengelola visualisasi data, interaksi operator (HMI), dan penyimpanan data pusat.

Keuntungan utama pemisahan fungsi kontrol (level 1) dan visualisasi (Level 2) adalah peningkatan keandalan sistem terhadap kegagalan titik tunggal (*Single Point of Failure*). Dengan memisahkan logika kendali dari antarmuka pengguna, kegagalan pada lapisan visualisasi (seperti *crash* pada perangkat lunak HMI atau gangguan jaringan) tidak akan menghentikan operasional logika kontrol pada lapisan bawahnya. Hal ini menjamin sistem tetap berada dalam kondisi aman (*safe state*) meskipun fungsi pengawasan mengalami gangguan teknis (Siemens, 2024).

2.1.4 Kontroler Revolution Pi Connect SE



Gambar 2.3 RevPi Connect SE

RevPi Connect SE adalah platform Linux *Open Source* untuk solusi industri berorientasi masa depan yang dilengkapi dengan Raspberry Pi Compute Module 4S kelas industri dengan sistem yang berbasis Raspberry Pi OS yang dioptimalkan untuk industri (RevPi Connect SE, n.d.).

Housing dimensions (H × W × D)	96 × 45 × 110.5 mm
Housing type	DIN rail housing (for DIN rail version EN 50022)
Housing material	Polycarbonate
Weight	Approx. 197 g / 224 g (incl. connectors)
Protection class	IP20 / NEMA Class 1
Power supply	12 ... 24 V DC -15 % / +20 %, reverse-polarity protected
Maximum power consumption	20 Watt (incl. 1 A total USB output current) ^[1]
Approved operating temperature	-25 ... +55 °C
Approved storage temperature	-40 ... +85 °C
Max. relative humidity (at 40 °C)	Up to 93 % (non-condensing)
Interfaces	• 2 × USB A (total current draw from both sockets max. 1 A)^[2] • 2 × RJ45 10/100 Ethernet (using separate MAC addresses) • 1 × RS485 screw-type terminal • 1 × Micro-USB (solely for image transfer to eMMC) • 1 × Micro HDMI 2.0a (4K) • 1 × PiBridge system bus • 1 × ConBridge system bus
Connectors	• 1 × 4-pole screw-type terminal for relay contact and signal input • 1 × 4-pole screw-type terminal for power supply
Processor	Broadcom BCM2711, quad-core Arm Cortex-A72
Clock rate	1.5 GHz
Processor cooling	Passive with heat sink
RAM	1 GB LPDDR4

Gambar 2.4 Datasheet RevPi Connect SE

Dilengkapi dengan prosesor ARM Cortex yang andal dan sistem *on-chip* *Broadcom* BCM2711 yang serbaguna, Revpi Connect SE memungkinkan pemrosesan hemat energi dengan konektivitas periferan yang luas, sempurna untuk otomatisasi industri berdasarkan teknologi Raspberry Pi yang telah terbukti. RevPi Connect SE dilengkapi dengan berbagai antarmuka komunikasi: yaitu, WLAN nirkabel, USB dan RS485 serta komunikasi berbasis jaringan yang andal di dunia industri. Memiliki fitur modular yang memungkinkan untuk fleksibilitas dengan modul I/O RevPi untuk input dan output tambahan serta modul *gateway* RevPi untuk menghubungkan protokol *fieldbus* tambahan. Revpi Connect SE dapat dihubungkan ke modul ekspansi dengan total sepuluh (termasuk maksimal dua *gateway*) (RevPi Connect SE, n.d.).

2.1.5 Modul DIO RevPi



Gambar 2.5 Modul DIO RevPi

Modul DIO pada RevPi adalah modul ekspansi dari keluarga produk Revolution Pi dan memiliki 14 input digital dan 14 output digital. Modul ini berfungsi sebagai antarmuka antara mikrokontroler RevPi dengan perangkat lapangan (*field devices*) yang digunakan untuk menangani sinyal yang bersifat biner, yaitu hanya mengenal dua kondisi, *ON* atau *OFF*. Modul ini menerima sinyal logika dari perangkat seperti tombol, lampu, *toogle switch* dan aktuator digital lainnya (RevPi DIO Module, n.d.).

2.1.6 Modul AIO RevPi



Gambar 2.6 Modul AIO RevPi

Modul AIO pada RevPi adalah modul ekspansi dari keluarga produk Revolution Pi dengan 4 input analog untuk arus atau tegangan, 2 output analog untuk arus dan tegangan, dan 2 saluran RTD untuk sensor suhu resistansi (pt100/1000). Modul ini berfungsi sebagai antarmuka antara kontroler RevPi dengan perangkat lapangan (*field devices*) yang digunakan untuk menangani pembacaan sensor untuk input/output arus dan tegangan (RevPi DIO Module, n.d.).

2.1.7 Sensor

a) Sensor MD02



Gambar 2.7 Sensor MD02

XY-MD02 adalah sensor modul *transmitter* suhu dan kelembapan berbasis *chip* HT20 yang menjadi standar industri berkat akurasi tinggi dan reliabilitas jangka panjangnya. Perangkat ini dirancang dengan material yang kokoh dan mendukung pemasangan pada rel DIN35, sehingga sangat ideal untuk instalasi panel kontrol di lingkungan industri, perkantoran, maupun lokasi terpencil. Sistem komunikasi perangkat ini menggunakan antarmuka RS485 yang dilengkapi proteksi tegangan berlebih, memungkinkan transmisi data yang stabil hingga jarak 1.000 meter. Dengan dukungan protokol Modbus RTU, sensor ini mudah diintegrasikan ke PLC atau PC. Selain itu, fleksibilitas dalam pengaturan *baud rate*, alamat perangkat, serta efisiensi daya yang tinggi menjadikannya solusi praktis untuk pemantauan lingkungan secara *real-time* (Saptaji, 2022).

b) Sensor RTD PT100



Gambar 2.8 Sensor RTD

Sensor RTD (*Resistance Temperature Detector*) adalah sensor suhu yang beroperasi dengan mengukur perubahan hambatan listrik pada material, biasanya platinum, seiring dengan perubahan suhu. PT100 merupakan jenis sensor RTD spesifik yang menawarkan akurasi dan stabilitas tinggi karena memiliki hambatan dasar 100ohm pada 0°C. Keunggulan PT100 meliputi akurasi tinggi pada rentang

suhu luas, stabilitas jangka panjang, daya tahan di lingkungan ekstrim, dan kemudahan integrasi, menjadikannya ideal untuk aplikasi presisi diberbagai industri seperti otomasi, HVAC, pengolahan makanan, dan peralatan medis. Pengoperasiannya didasarkan pada hubungan hampir linier antara hambatan dan suhu pada elemen platinum, yang kemudian dikalibrasi untuk menghasilkan pengukuran akurat (PARALI et al., 2018).

c) Sensor *Proximity*



Gambar 2.9 Sensor *Proximity*

Sensor *proximity* merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan suatu objek tanpa kontak fisik secara langsung. Sensor ini bekerja dengan memanfaatkan perubahan medan elektromagnetik atau sinyal tertentu untuk mengetahui keberadaan objek dalam jarak tertentu. Salah satu jenis yang sering digunakan adalah sensor *proximity* induktif LJ12A3-4-Z/BX, yang memiliki tegangan kerja 6-36 V DC dengan jarak deteksi sekitar 4mm serta output NPN *Normally Open* (NO). Sensor ini banyak digunakan dalam sistem otomasi untuk mendeteksi posisi atau keberadaan objek logam pada suatu mekanisme (Voltiq, n.d.).

d) Sinyal Generator 4-20 mA



Gambar 2.10 Sinyal Generator 4-20 mA

Generator sinyal JS-420ISG-S-3L merupakan instrumen kalibrasi portabel yang berfungsi mensimulasikan parameter standar industri berupa arus 4-20mA dan tegangan 0-10V. Alat ini menggunakan potensiometer presisi multi-siklus untuk

menghasilkan kendali sinyal yang halus dan akurat. Dibangun dengan material ABS yang ergonomis seberat 58 gram, perangkat ini dirancang untuk menunjang efektivitas teknisi dalam melakukan pengujian perangkat elektronik di lingkungan kerja yang dinamis (Mpja, n.d.).

2.1.8 Aktuator

a. Relay



Gambar 2.11 Relay

Relay merupakan komponen elektronika yang berfungsi sebagai saklar yang dikendalikan oleh sinyal listrik untuk menghubungkan atau memutuskan rangkaian dengan daya yang lebih besar. Dalam sistem kontrol dan otomasi industri, relay sering digunakan untuk mengendalikan berbagai beban seperti motor, lampu dan pemanas (HUIMU Electronics, 2021).

b. Fan Exhaust



Gambar 2.12 Fan Exhaust

Fan exhaust atau kipas pendingin merupakan perangkat yang digunakan untuk mengalirkan udara guna mengurangi suhu pada suatu sistem elektronik atau ruang tertutup. Pada perangkat elektronika, *fan exhaust* berfungsi untuk membuang panas yang dihasilkan oleh komponen sehingga menjaga suhu tetap stabil dan mencegah kerusakan akibat *overheating* (Sanyodenki, 2025).

c. Lampu LED



Gambar 2.13 Lampu LED

Lampu LED merupakan perangkat pencahayaan yang menggunakan *Light Emitting Diode* (LED) sebagai sumber cahaya. Teknologi LED bekerja dengan mengubah energi listrik menjadi cahaya melalui proses elektroluminesensi pada material semikonduktor. Dibandingkan dengan lampu pijar atau lampu fluoresen, lampu LED memiliki keunggulan berupa konsumsi daya yang lebih rendah, efisiensi cahaya yang lebih tinggi, serta umur pemakaian yang lebih panjang (Philips lighting, 2018).

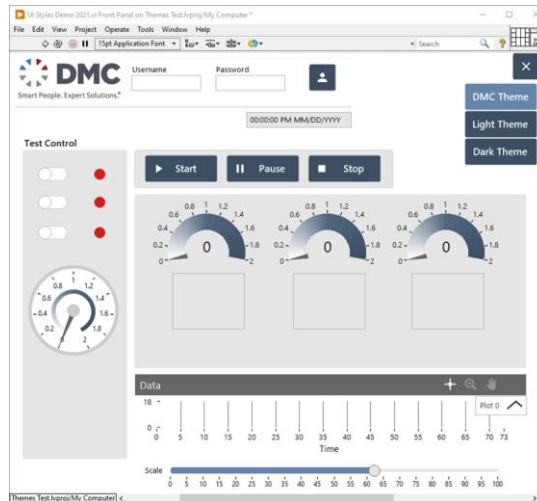
d. Motor DC



Gambar 2.14 Motor DC

Motor DC merupakan perangkat elektromekanik yang berfungsi untuk mengubah energi listrik arus searah (DC) menjadi energi mekanik berupa putaran. Prinsip kerja motor DC didasarkan pada interaksi antara medan magnet dan arus listrik pada kumparan, sehingga menghasilkan gaya yang menyebabkan rotor berputar. Motor jenis ini banyak digunakan pada sistem kontrol dan otomasi karena memiliki pengaturan kecepatan yang relatif mudah (Parvalux, n.d.).

2.1.9 LabVIEW sebagai Antarmuka Monitoring dan Kontrol



Gambar 2.15 Visualisasi dari Antarmuka *Monitoring* dan Kontrol

LabVIEW adalah lingkungan pemrograman grafis yang banyak digunakan pada aplikasi pengukuran, otomasi, dan sistem kontrol. Keunggulan LabVIEW terletak pada kemampuannya dalam visualisasi data secara *real-time* serta kemudahan integrasi dengan berbagai protokol komunikasi industri (National Instruments, 2019).

Dalam pengembangan sistem kontrol yang kompleks, LabVIEW sering menerapkan arsitektur *state machine* untuk mengatur alur logika program berdasarkan kondisi tertentu. Pendekatan ini memudahkan pengembangan sistem modular, terstruktur, dan mudah dipelihara. Selain itu, penggunaan konsep *subpanel* memungkinkan integrasi beberapa *sub-VI* ke dalam satu antarmuka utama, sehingga setiap fungsi atau contoh kasus dapat ditampilkan secara dinamis tanpa harus berpindah aplikasi (National Instruments, 2025).

2.1.10 LabVIEW Design Pattern: *Producer-Consumer* dan *State Machine*

Arsitektur *Producer/Consumer* pada LabVIEW merupakan pola desain yang digunakan untuk mengatur alur data dan proses eksekusi secara terpisah namun berjalan paralel. Arsitektur ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi pemrosesan serta menjaga antarmuka pengguna tetap responsif, khususnya pada aplikasi yang melibatkan akuisisi dan pengolahan data secara bersamaan (Product Development Engineers Ltd, 2024).

Dengan memisahkan proses pengambilan data (*Producer*) dan proses pengolahan data (*Consumer*) menggunakan mekanisme antrian, setiap proses dapat

bekerja secara independen tanpa saling menunggu. Pendekatan ini mampu mengurangi *bottleneck* sistem, meningkatkan pemanfaatan sumber daya, serta mendukung pengembangan aplikasi yang bersifat *real-time*, *multi-threaded*, dan memiliki *throughput* data tinggi (Product Development Engineers Ltd, 2024).

Oleh karena itu, arsitektur *Producer/Consumer* banyak diterapkan pada sistem *monitoring*, akuisisi data, dan aplikasi industri berbasis LabVIEW yang menuntut kinerja stabil, modular, dan mudah dikembangkan (Product Development Engineers Ltd, 2024).

2.1.11 Konsep Antarmuka Modular pada LabVIEW

Adapun konsep yang digunakan pada antarmuka labview adalah sebagai berikut:

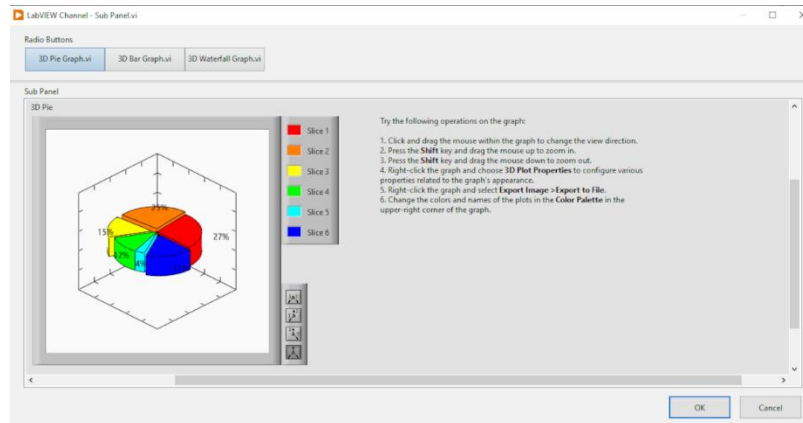
a) *Dynamically Loading dan Calling VI*

Dynamically Loading dan Calling VI pada labview digunakan untuk memuat VI ke memori secara dinamis hanya saat dibutuhkan dengan *Open VI Reference*. Konsep ini bertujuan untuk menghemat waktu pemuatan dan memori, VI bisa dilepaskan dari memori setelah operasi selesai (National instruments, 2025).

b) *Dynamic VI Properties*

Penggunaan *Dynamic VI Properties* bertujuan untuk mengatur atau mengkonfigurasi tampilan dan penyesuaian parameter internal agar VI agar kompatibel dengan kontainer utama dengan menggunakan *Property Nodes* setelah *Open VI Reference* yang bertujuan agar sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan (National instruments, 2025).

c) *Subpanel*



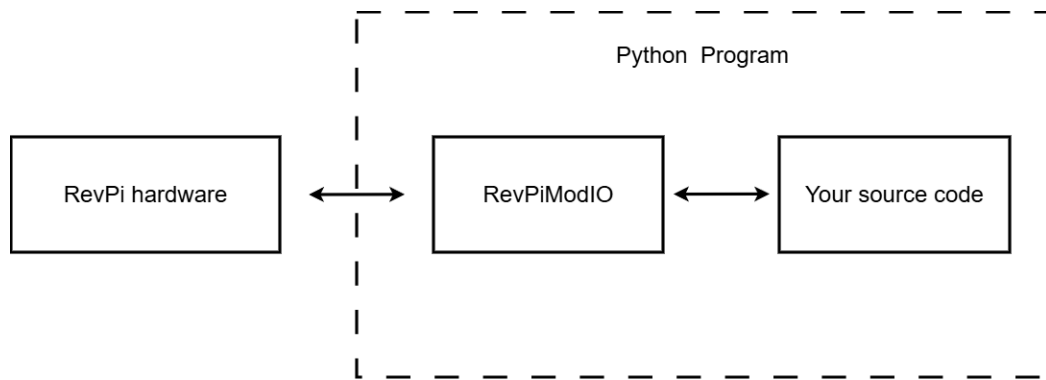
Gambar 2.16 Tampilan Subpanel di Front Panel pada LabVIEW. Pada LabVIEW digunakan untuk memanggil dan menampilkan *front panel* dari *sub-VI* ke dalam *Main VI*. Pendekatan ini memungkinkan pembuatan antarmuka yang modular, di mana setiap fungsi atau contoh kasus dapat dipisahkan dalam *sub-VI* tersendiri. Konsep ini sangat sesuai untuk sistem kontrol dengan banyak operasi atau skenario proses (National Instruments, 2025).

2.1.12 Konsep Keselamatan Sistem (Safety Concept & Fail-Safe Design)

Sistem kontrol industri modern harus dirancang dengan prinsip *fail-safe*, yaitu kondisi di mana kegagalan sistem tidak menimbulkan kondisi berbahaya. Konsep ini menuntut agar fungsi keselamatan tidak bergantung pada sistem yang bersifat non-deterministik, seperti antarmuka grafis atau jaringan komunikasi yang tidak *real-time* (Furqan alfath, 2015).

2.1.13 Python sebagai Backend Sistem Kontrol pada RevPi Connect SE

Python banyak digunakan sebagai *backend* pada sistem kontrol modern karena fleksibilitas, kemudahan pengembangan, serta dukungan *library* yang luas. Pada RevPi Connect SE yang telah di dukung oleh Raspberry Pi Compute Module 4S, Python menjadi bahasa pemrograman utama yang mampu memenuhi kebutuhan *embedded* dan industri. Melalui *backed* Python, sistem dapat mengakses I/O secara langsung, dapat melakukan pembacaan data sensor, menjalankan logika kontrol, melakukan *data logging*, serta menangani komunikasi menggunakan protokol komunikasi seperti Modbus TCP/IP (Revolution Pi vs. Raspberry Pi, n.d.).



Gambar 2.17 Cara Kerja RevPiModIO

Akses terhadap I/O pada RevPi diimplementasikan menggunakan *library* RevPiModIO, yang menyediakan antarmuka terstruktur untuk membaca dan mengendalikan modul I/O berdasarkan konfigurasi perangkat. *Library* ini memungkinkan *backend* Python melakukan sinkronisasi data secara kontinu serta merespons perubahan kondisi input dengan lebih efisien. Integrasi Python sebagai *backend edge-industrial* memungkinkan proses pengolahan data dan pengambilan keputusan dilakukan secara lokal, sehingga sistem tidak sepenuhnya bergantung pada server pusat atau *cloud*, serta meningkatkan keandalan dan responsivitas sistem dan kontrol (Sven Sager, 2024).

2.1.14 SQLite Lokal pada RevPi Connect SE

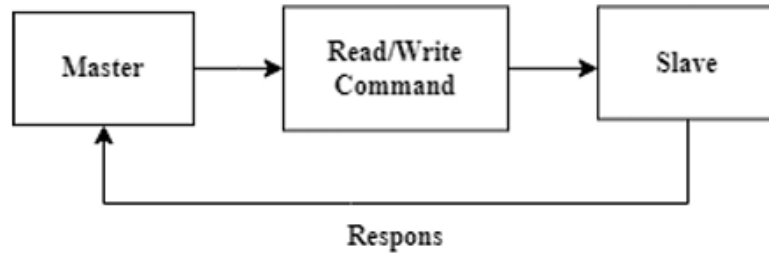
SQLite adalah mesin basis data SQL terintegrasi, SQLite tidak memiliki proses server terpisah. SQLite membaca dan menulis langsung ke file disk biasa. Keunggulan SQLite sangat kecil dan ringan, tidak memerlukan dependensi eksternal sehingga bersifat mandiri, tanpa konfigurasi, beroperasi dengan sistem server terpisah (*serverless*), serta bersifat lintas platform seperti Linux, Mac OS-X, Android, iOS dan windows (Random Nerd Tutorials, 2017)

Dengan RevPi yang berbasis Raspberry Pi OS, data bisa disimpan secara lokal yang bisa diakses dengan cepat dan mudah setelah dilakukannya pengambilan data oleh RevPi (Random Nerd Tutorials, 2017).

2.1.15 Modbus TCP/IP

Modbus TCP/IP merupakan protokol komunikasi yang digunakan untuk melakukan pertukaran data antarperangkat pada sistem otomasi dan industri melalui jaringan berbasis TCP/IP. Protokol ini memungkinkan perangkat untuk membaca maupun mengirimkan data dengan mekanisme komunikasi *request-response*,

sehingga informasi dapat dipertukarkan antarperangkat yang terhubung dalam suatu jaringan (Yeni Aryani, 2023).



Gambar 2.18 Struktur Hubungan *Master* dan *Slave*

Komunikasi Modbus dilakukan melalui proses pertukaran *request* dan *response*. Perangkat *Master* berfungsi sebagai pihak yang memulai komunikasi dengan mengirimkan permintaan pembacaan atau penulisan data, sedangkan perangkat *Slave* menerima permintaan tersebut dan memberikan respons berupa data yang diminta atau hasil dari perintah yang dijalankan (Yeni Aryani, 2023).

Pada implementasinya melalui jaringan TCP/IP, komunikasi Modbus menggunakan jaringan Ethernet dan konfigurasi alamat IP sebagai media pertukaran data antarperangkat. Dengan mekanisme tersebut, Modbus TCP/IP dapat digunakan untuk mendukung proses komunikasi data dalam sistem otomasi, terutama untuk kebutuhan *monitoring* dan pengendalian yang memerlukan pertukaran data secara terstruktur (Yeni Aryani, 2023).

2.2 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian yang dilakukan, terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang telah membahas pengembangan sistem *monitoring* dan sistem kontrol dengan memanfaatkan konsep sistem *edge computing*, *embedded system*, serta perangkat lunak pendukung untuk visualisasi pada antarmuka pengguna. Penelitian-penelitian tersebut menjadi dasar acuan untuk mendukung pengembangan sistem *edge-industrial* yang diusulkan pada penelitian ini.

Penelitian yang relevan yakni diteliti oleh Pham, Duc Huy dengan judul “Assessing the use of edge computing to accelerate Industry 4.0 transformation in manufacturing companies” membahas terkait penerapan *edge computing*. Pham menekankan dengan pernyataan “By integrating RevPi Core directly into the bandsaw's signals, the binary data is accurately tracked with no latency”

bahwasanya penggunaan perangkat seperti RevPi Core memungkinkan pemrosesan data biner dan sinyal mesin dilakukan dengan latensi hampir nol (*Zero Latency*). Hal ini membuktikan bahwa Revolution Pi sangat andal untuk lingkungan industri dan pelajar dapat mengetahui *edge computing* melalui proyek akhir ini (Pham, 2023).

Penelitian dengan judul “*RaspyControl Lab: A fully open-source and real-time remote laboratory for education in automatic control systems using Raspberry Pi and Python*” yang diteliti oleh Álvarez Ariza dan Nomesqui Galvis membahas penggunaan Python pada sistem *monitoring* dan kontrol berbasis *embedded system*. Dalam penelitian tersebut Python digunakan untuk akuisisi data sensor, pengolahan data, serta komunikasi antar sistem dengan Raspberry Pi sebagai pengendalinya. Hasil penelitian yang didapatkan bahwasanya Python memiliki keunggulan dari sisi fleksibilitas pengembangan, kemudahan integrasi *library*, serta efisiensi dalam proses implementasi sistem. Tetapi penggunaan Python pada platform *non-industrial* memiliki keterbatasan dalam menjamin performa *real-time* yang deterministik (Álvarez Ariza & Nomesqui Galvis, 2023).

Penelitian lainnya yang berkaitan dengan integrasi Python yaitu “*LabVIEW integrated with python machine learning*”, Dalam penelitian tersebut, Python menjalankan algoritma *machine learning* dan pengolahan data lanjutan, sementara LabVIEW sebagai antarmuka visualisasi, mengirimkan sinyal PWM ke ESP8266 untuk mengontrol IGBT, sehingga motor DC dapat dinyalakan dan dimatikan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi Python dengan LabVIEW mampu meningkatkan kemampuan sistem dalam melakukan analisis data secara adaptif tanpa mengorbankan kemudahan visualisasi yang menjadi keunggulan LabVIEW. Keterbatasan penelitian tersebut adalah implementasi yang masih bersifat umum dan belum secara spesifik diterapkan pada sistem *edge-industrial* (Mana Poyai, 2024).

Penelitian yang sangat relevan yaitu *Design and Development of a Hydroponic Solution Monitoring and Control System Based on Revolution Pi and LabVIEW NXG* yang diteliti oleh PT. Halia Teknologi Nusantara. Pada penelitian tersebut, Revolution Pi sebagai pengendali utama untuk membaca data sensor, sementara LabVIEW NXG sebagai antarmuka pengguna secara *real-time* dan

pengendalian aktuator. Kombinasi perangkat *edge-industrial* dengan LabVIEW NXG mampu menghasilkan sistem yang modular, responsif, dan mudah dikembangkan. Sistem yang dirancang juga menerapkan konsep pemrosesan data di sisi perangkat (*edge processing*). Namun, penelitian ini tidak membahas secara spesifik bahasa pemrograman yang digunakan dan terkait dengan penggunaan integrasi Python dengan LabVIEW (Halia Teknologi Nusantara, 2025).

Selain penelitian tersebut, RevPi sebagai media pembelajaran seperti RevPi Trainingboard dan RevPi Next+ Training Kit memberikan pengetahuan terkait integrasi sensor industri, komunikasi jaringan, perangkat lunak *dan edge computing* di lingkungan industri (PLC4Training, 2023) dan (TechSquare, 2023).

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu tersebut, bahwasanya penggunaan perangkat *edge-industrial* seperti RevPi, bahasa pemrograman Python, serta perangkat lunak LabVIEW memiliki potensi besar dalam pengembangan sistem *monitoring* dan kontrol industri. Namun penelitian yang secara khusus mengintegrasikan RevPi, Python, dan LabVIEW dalam media pembelajaran masih relatif terbatas. Oleh karena itu, proyek akhir ini berfokus pada pengembangan sistem *edge-industrial* yang tidak hanya berfungsi sebagai sistem kontrol dan *monitoring*, tetapi juga sebagai media pembelajaran.