

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

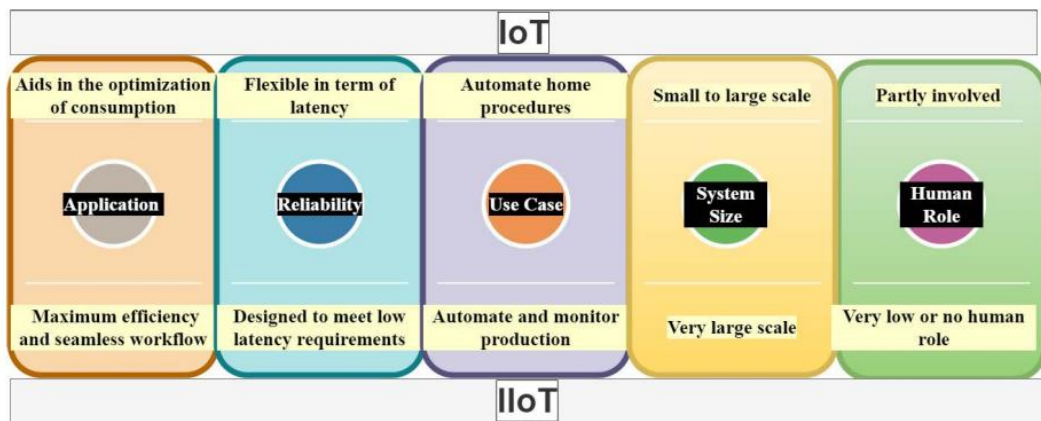
Pada subbab ini dijelaskan teori-teori yang mendasari perancangan dan implementasi sistem pada proyek akhir ini. Pembahasan meliputi konsep *Industrial Internet of Things (IIoT)*, *edge computing*, *Revolution Pi*, komunikasi berbasis WebSocket, serta teknologi pendukung lainnya yang berkaitan dengan sistem monitoring dan kontrol.

2.1.1 Industrial Internet of Things (IIoT)

Industrial Internet of Things (IIoT) merupakan pengembangan lanjutan dari konsep *Internet of Things (IoT)* yang secara spesifik berfokus pada sektor manufaktur dan sistem otomasi industri (Younan et al., 2020). Perangkat IIoT mengintegrasikan fitur-fitur IoT seperti penginderaan (*sensing*), penggerakan (*actuating*), interkoneksi perangkat, serta pemrosesan data pada berbagai lapisan sistem produksi guna meningkatkan efektivitas dan dampak teknologi terhadap proses manufaktur (Mahmood, 2019). Melalui mekanisme akuisisi data secara kontinu, pemrosesan informasi berbasis komputasi, serta pengambilan keputusan dengan keterlibatan manusia yang minimal, IIoT mampu meningkatkan aksesibilitas sistem, performa operasional, skalabilitas infrastruktur, efisiensi waktu produksi, serta optimalisasi biaya (Zhang et al., 2020).

Berbeda dengan lingkungan produksi konvensional yang bergantung pada interaksi lokal antar komponen sistem, IIoT memungkinkan komunikasi lintas lokasi melalui jaringan terintegrasi, sehingga batasan geografis dalam proses monitoring dan kontrol dapat diminimalisir. Namun, implementasi IIoT tidak terlepas dari tantangan teknis yang berasal dari karakteristik dasar IoT itu sendiri. Hal itu dikarenakan perangkat IoT umumnya memiliki keterbatasan kapasitas memori, kebutuhan konsumsi energi yang rendah, keterbatasan pada komunikasi nirkabel, serta kemampuan komputasi yang terbatas. Faktor-faktor tersebut secara langsung memengaruhi efektivitas implementasi dan keberlanjutan infrastruktur IIoT dalam lingkungan industri manufaktur.

Dengan mempertimbangkan karakteristik, tujuan, serta kompleksitas implementasinya, dapat dipahami bahwa IIoT memiliki perbedaan mendasar dibandingkan dengan IoT konvensional. Perbedaan tersebut tidak hanya terletak pada konteks penggunaannya, tetapi juga pada kebutuhan keandalan sistem, skala integrasi perangkat, serta tuntutan operasional dalam lingkungan industri. Perbedaan tersebut dapat diilustrasikan melalui perbandingan IoT dan IIoT sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.1 dan Tabel 2.1.



Gambar 2.1 Perbandingan antara IoT dengan IIoT¹

Gambar 2.1 menunjukkan perbandingan antara konsep *Internet of Things* (IoT) dan *Industrial Internet of Things* (IIoT), yang memperlihatkan perbedaan mendasar dari aspek tujuan penggunaan, kebutuhan sistem, skala implementasi, serta tingkat keterlibatan manusia dalam operasionalnya.

1. Dari Segi Tujuan Penggunaan (*Application vs Use Case*)

IoT umumnya hanya berfokus pada optimalisasi konsumsi dan peningkatan kenyamanan dalam skala umum, seperti pada sistem *smart home* dan perangkat konsumen. Sebaliknya, IIoT berorientasi pada otomatisasi proses industri, monitoring kondisi mesin, serta pengendalian proses produksi yang bersifat kritis. Hal ini dikarenakan IIoT dirancang untuk mendukung keberlangsungan operasional industri yang menuntut stabilitas dan presisi tinggi.

¹ Alabadi, M., Habbal, A., & Wei, X. (2022). Industrial Internet of Things: Requirements, Architecture, Challenges, and Future Research Directions. In *IEEE Access* (Vol. 10, pp. 66374–66400). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3185049>

2. Dari Segi Latensi dan Keandalan (*Reliability*)

IoT relatif lebih toleran terhadap variasi latensi dan tidak selalu membutuhkan respons waktu yang ketat. Namun, pada IIoT, kebutuhan latensi rendah dan keandalan tinggi menjadi aspek fundamental. Hal ini dikarenakan sistem industri sering kali mengendalikan mesin produksi dan proses yang sensitif terhadap keterlambatan respons, sehingga gangguan komunikasi dapat berdampak pada keselamatan maupun kerugian operasional.

3. Dari Segi Sistem dan Skala (*System Size and Integration*)

Implementasi IoT umumnya berada pada skala kecil hingga menengah dengan jumlah perangkat yang terbatas. Sebaliknya, IIoT dapat diimplementasikan dalam skala sangat besar dengan integrasi ribuan sensor, aktuator, pengendali industri, serta sistem produksi dalam satu ekosistem terintegrasi. Sehingga aspek skalabilitas dan interoperabilitas menjadi karakteristik penting dalam sistem IIoT.

4. Dari Segi Peran Manusia (*Human Role*)

Pada sistem IoT, manusia masih memiliki peran signifikan dalam pengawasan dan pengoperasian. Sementara itu, pada IIoT, tingkat keterlibatan manusia lebih rendah karena sistem dirancang untuk berjalan secara otomatis melalui logika kontrol terintegrasi dan pengambilan keputusan berbasis data.

Berdasarkan uraian tersebut, perbedaan antara IoT dan IIoT tidak hanya dapat dipahami secara deskriptif, tetapi juga dirangkum secara sistematis agar setiap aspek pembeda dapat dianalisis secara komprehensif yang disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan antara IoT dengan IIoT

Perspektif	IoT	IIoT
<i>Application (Usage)</i>	<i>Optimize Consumption</i>	<i>Maximum Eficiency</i>
<i>Reliability</i>	<i>Flexible</i>	<i>Low Latency</i>
<i>Use Cases</i>	<i>Personal Use</i>	<i>Productions and Business</i>
<i>System Size</i>	<i>Small – to - Medium</i>	<i>Medium – to – Large</i>
<i>Human Role (Automation)</i>	<i>Limited</i>	<i>No Human Intervention</i>

Selain perbedaan pada tujuan dan skala implementasi, sistem IIoT juga memiliki karakteristik khusus pada infrastruktur jaringan komunikasinya. Berbeda dengan jaringan internet konvensional yang bekerja berdasarkan prinsip *best-effort*—di mana pengiriman data tidak selalu memiliki jaminan waktu tiba yang

pasti. Jaringan dalam lingkungan industri dirancang untuk memberikan latensi rendah, keandalan tinggi, serta ketersediaan sistem yang stabil. Hal itu dikarenakan proses produksi industri umumnya melibatkan sistem kontrol tertutup (*closed-loop control*) yang sangat sensitif terhadap keterlambatan maupun gangguan komunikasi (Sisinni et al., 2018). Keterlambatan dalam hitungan milidetik pun dapat memengaruhi kualitas produksi atau bahkan menimbulkan risiko keselamatan kerja.

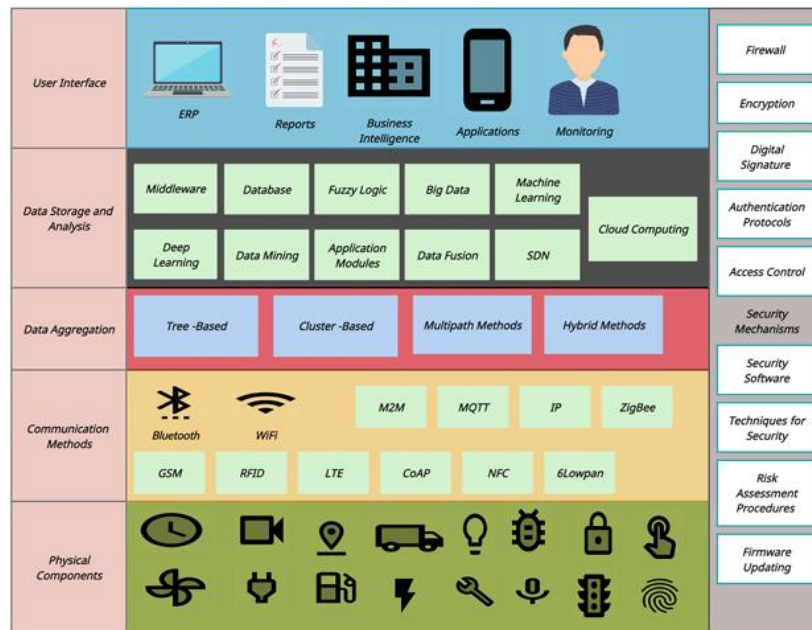
Dalam praktik implementasinya, jaringan IIoT tidak selalu dipisahkan secara fisik dari jaringan komputer perusahaan (*enterprise*). Namun demikian, sistem industri umumnya menerapkan pemisahan secara logis melalui segmentasi antara domain *Operational Technology* (OT), yang menangani mesin dan proses produksi, dengan domain *Information Technology* (IT), yang menangani pengolahan data dan sistem manajemen. Pendekatan ini biasanya diwujudkan dalam arsitektur berlapis (*three-tier architecture*) yang terdiri dari lapisan *edge*, *platform*, dan *enterprise*, sehingga komunikasi pada level produksi tetap terisolasi dan stabil, sementara data tetap dapat diintegrasikan ke sistem manajemen tingkat atas (Sisinni et al., 2018).

Prinsip ini juga sejalan dengan standar keamanan industri ISA/IEC 62443 yang merekomendasikan pembagian jaringan ke dalam *security zones* untuk mencegah gangguan antara jaringan produksi dan jaringan bisnis.

Dengan demikian, jaringan komunikasi dalam sistem IIoT industri tidak sekadar menggunakan internet umum secara langsung, melainkan dirancang dengan mekanisme segmentasi dan pengendalian lalu lintas data yang ketat. Pendekatan ini bertujuan untuk menjaga keandalan komunikasi, keamanan sistem, serta memastikan proses produksi dapat berjalan secara konsisten dan berkelanjutan.

2.1.2 Arsitektur Sistem IIoT

Arsitektur IIoT pada umumnya umumnya dirancang secara berlapis guna memastikan proses komunikasi, pengolahan data, serta pengambilan keputusan dapat berjalan secara efisien dan andal. Gambar dibawah ini menggambarkan arsitektur IIoT. Di mana setiap lapisan memiliki peran dan fungsi yang berbeda namun saling terhubung satu sama lain (Alabadi et al., 2022). Adapun komponen utama penyusun arsitektur IIoT adalah sebagai berikut.



Gambar 2.2 Arsitektur Sistem IIoT²

Gambar 2.2 merupakan arsitektur yang menekankan bahwa keberadaan komponen-komponen tertentu merupakan syarat utama agar tujuan integrasi *Industrial Internet of Things (IIoT)* dapat tercapai. Komponen-komponen tersebut meliputi:

1. **Komponen fisik (*Physical Components*)**

Komponen ini mencakup seluruh objek fisik yang terdapat dalam sistem manufaktur. Elemen yang paling utama adalah mesin-mesin yang menjalankan proses produksi industri. Selain itu, terdapat pula sensor dan aktuator.

2. **Metode komunikasi (*Communication Methods*)**

IIoT sangat bergantung pada protokol komunikasi nirkabel untuk mentransfer data antar elemen jaringan. Metode komunikasi dalam IIoT harus memenuhi berbagai spesifikasi, antara lain konsumsi daya yang rendah, kapasitas komunikasi yang tinggi, serta konektivitas yang stabil.

3. **Metode agregasi data (*Data Aggregation Methods*)**

Agregasi data merupakan proses pengumpulan data mentah dari berbagai perangkat, seperti sensor atau objek fisik, yang kemudian diolah menjadi

² Alabadi, M., Habbal, A., & Wei, X. (2022). Industrial Internet of Things: Requirements, Architecture, Challenges, and Future Research Directions. In *IEEE Access* (Vol. 10, pp. 66374–66400). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3185049>

keluaran yang lebih ringkas dan terstruktur. Mekanisme ini bertujuan untuk mengurangi volume transmisi data, menyederhanakan kompleksitas informasi, mempermudah proses analisis, serta menghemat penggunaan bandwidth dan energi. Sebagai contoh, dibandingkan mengirimkan 100 data suhu setiap detik, sistem dapat mengirimkan nilai rata-rata dalam interval tertentu, nilai maksimum atau minimum, maupun status kondisi seperti “normal” atau “*overheat*” sebagai representasi data yang telah diagregasi.

4. Penyimpanan data (*Data Storage*)

Pada arsitektur IIoT konvensional, *cloud* sering digunakan sebagai media utama penyimpanan dan analisis data karena memiliki kapasitas komputasi dan skalabilitas yang tinggi. Namun, ketergantungan penuh terhadap *cloud* dapat meningkatkan latensi komunikasi serta beban jaringan, terutama pada sistem industri yang memerlukan respons waktu yang cepat dan konsisten. Oleh karena itu, konsep *edge computing* berkembang sebagai pendekatan alternatif, di mana proses akuisisi, pemrosesan, dan penyimpanan data dilakukan lebih dekat dengan sumber data. Dengan memanfaatkan perangkat *edge*, sebagian proses analisis dan pengambilan keputusan dapat dilakukan secara lokal sebelum data dikirim ke sistem yang lebih tinggi. Pendekatan ini mampu mengurangi latensi, meningkatkan responsivitas sistem, serta meminimalisir ketergantungan terhadap infrastruktur *cloud* dalam operasional industri.

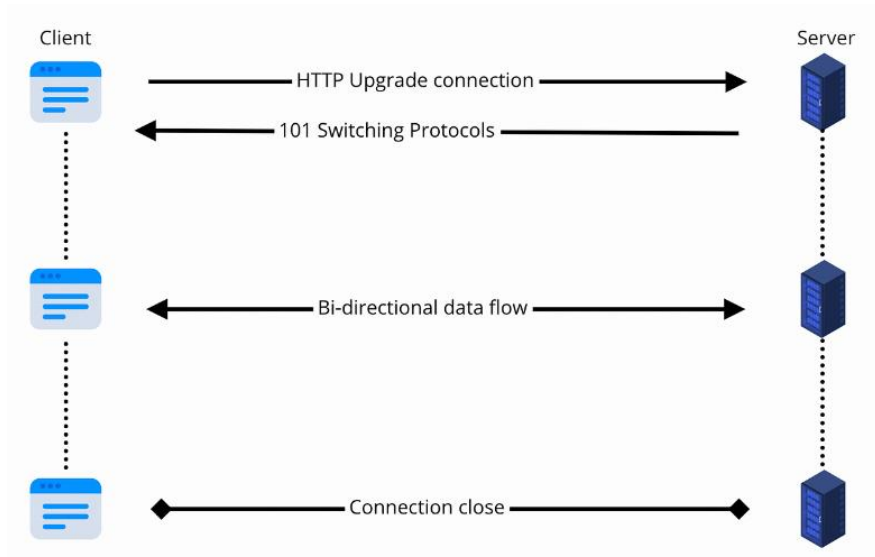
5. Antarmuka pengguna (*User Interface*)

Antarmuka pengguna (*User Interface*) berada pada lapisan aplikasi dalam sistem IIoT dan berfungsi sebagai penghubung antara pengguna dan sistem. Melalui standarisasi data dan protokol komunikasi, antarmuka ini memungkinkan perangkat saling terintegrasi dengan baik. Dengan adanya antarmuka tersebut, proses monitoring dan kendali jarak jauh dapat dilakukan secara lebih mudah dan terstruktur dalam lingkungan industri.

2.1.3 Protokol Komunikasi WebSocket

WebSocket merupakan protokol komunikasi dua arah (*full-duplex*) yang memungkinkan pertukaran data secara real-time antara *server* dan *client* melalui koneksi TCP/IP. Berbeda dengan HTTP yang bersifat *request-response*, *WebSocket* memungkinkan koneksi yang bersifat persisten sehingga data dapat

dikirim dan diterima secara instan tanpa perlu melakukan permintaan ulang atau *refresh* halaman. Karakteristik ini menjadikan *WebSocket* sangat sesuai untuk aplikasi yang membutuhkan komunikasi *real-time* (Melnikov & Fette, 2020).



Gambar 2.3 Arsitektur Protokol Komunikasi WebSocket³

Gambar 2.3 merupakan arsitektur protokol komunikasi yang digunakan oleh websocket. Dimana, *WebSocket* menggunakan model komunikasi berbasis *event*, di mana *server* dan *client* dapat saling mengirim dan menerima pesan secara asinkron.

A. Cara Kerja *WebSocket*

Mekanisme kerja *WebSocket* diawali dengan proses *handshake* antara klien dan server. Pada tahap ini, klien mengirimkan permintaan koneksi menggunakan protokol HTTP dengan metode *HTTP Upgrade*. Jika server menyetujui permintaan tersebut, maka koneksi HTTP akan ditingkatkan (*upgrade*) menjadi koneksi *WebSocket*.

³ Media, S. (2023, March 11). *Cross-site WebSocket hijacking* | by Sibercat Media | Medium.
<https://muh-hidayat7799.medium.com/ngesec-bebas-1-websocket-pentesting-fbda71f3167f>



Gambar 2.4 Cara Kerja WebSocket⁴

Gambar 2.4 menjelaskan alur kerja websocket. Setelah proses *handshake* berhasil, terbentuk koneksi WebSocket yang bersifat persisten antara klien dan server. Berbeda dengan HTTP yang membuka koneksi baru untuk setiap permintaan, WebSocket mempertahankan satu koneksi terbuka selama sesi komunikasi berlangsung. Koneksi hanya akan ditutup apabila salah satu pihak mengakhiri sesi atau terjadi *timeout*.

Pada kondisi koneksi aktif, komunikasi berlangsung secara dua arah (*full-duplex*), sehingga klien dan server dapat saling mengirim dan menerima pesan melalui satu saluran komunikasi yang sama tanpa harus menunggu permintaan terlebih dahulu. Hal ini memungkinkan pertukaran data secara kontinu dengan latensi rendah, sehingga sesuai untuk aplikasi monitoring dan kontrol berbasis jaringan.

B. Library Socket IO

Socket.IO merupakan salah satu *library* yang menyediakan mekanisme komunikasi real-time berbasis WebSocket dengan karakteristik komunikasi dua arah (*full-duplex*), dan berbasis *event*. Socket.IO dirancang untuk menyederhanakan implementasi komunikasi *real-time* antara klien dan server pada aplikasi web.

Penggunaan Socket.IO memberikan kemudahan dalam pengembangan aplikasi *real-time* karena menyediakan fitur tambahan, seperti manajemen koneksi, pengiriman pesan berbasis *event*, serta pengelompokan klien melalui *rooms* atau *namespaces*. Oleh karena itu, Socket.IO sangat sesuai digunakan

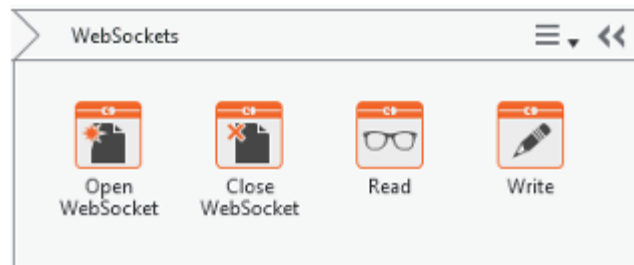
⁴ Media, S. (2023, March 11). *Cross-site WebSocket hijacking* | by Sibercat Media | Medium.
<https://muh-hidayat7799.medium.com/ngesec-bebas-1-websocket-pentesting-fbda71f3167f>

pada aplikasi web yang membutuhkan pembaruan data secara real-time, responsif, dan andal.

C. WebSocket Client APIs pada G Web

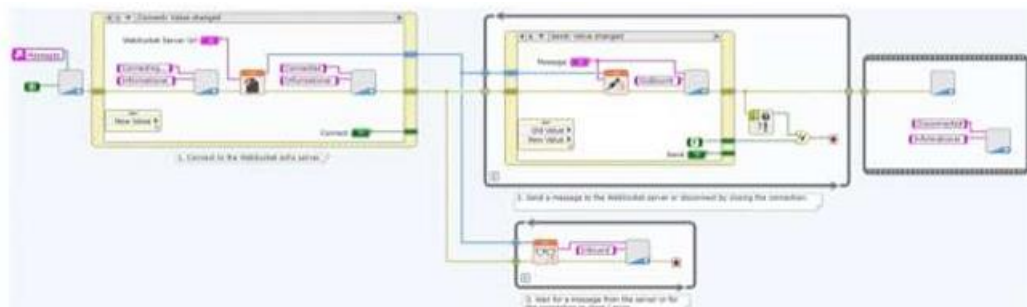
Metode ini dapat digunakan untuk berkomunikasi/bertukar data dengan WebSockets Server. WebSocket menawarkan koneksi TCP secara terus menerus antara klien dan server. WebSocket ideal untuk data streaming karena memiliki latensi yang rendah.

Fungsi-fungsi WebSocket Client APIs dapat diambil pada palette Data Communications>>Internet>>WebSockets. Berikut fungsi-fungsi pada WebSocket Client APIs:



Gambar 2.5 Fungsi Fungsi WebSocket Client APIs

Berikut contoh diagram dari penggunaan WebSocket Client APIs pada G Web:



Gambar 2.6 Diagram WebSocket pada G Web

2.1.4 NI G-Web Development Software

G Web Development Software adalah alat yang berguna untuk pengembang web yang ingin membuat situs web responsif tanpa keterampilan pemrograman web yang luas. Ini adalah alat visual yang memungkinkan pengguna untuk drag and drop elemen ke halaman web, menghasilkan kode HTML dan CSS yang diperlukan.

NI G Web Development Software dirancang untuk mendukung pembuatan

aplikasi web yang bersifat interaktif dan *event-driven*, sehingga sangat sesuai digunakan pada aplikasi monitoring dan visualisasi data secara *real-time*. Selain itu, sifatnya yang berbasis web memungkinkan aplikasi diakses secara lintas platform tanpa memerlukan instalasi perangkat lunak tambahan pada sisi klien. Dengan kemampuan integrasi ke dalam ekosistem perangkat dan sistem National Instruments (National Instruments, 2024).



Gambar 2.7 Logo *G-Web Development Software*⁵

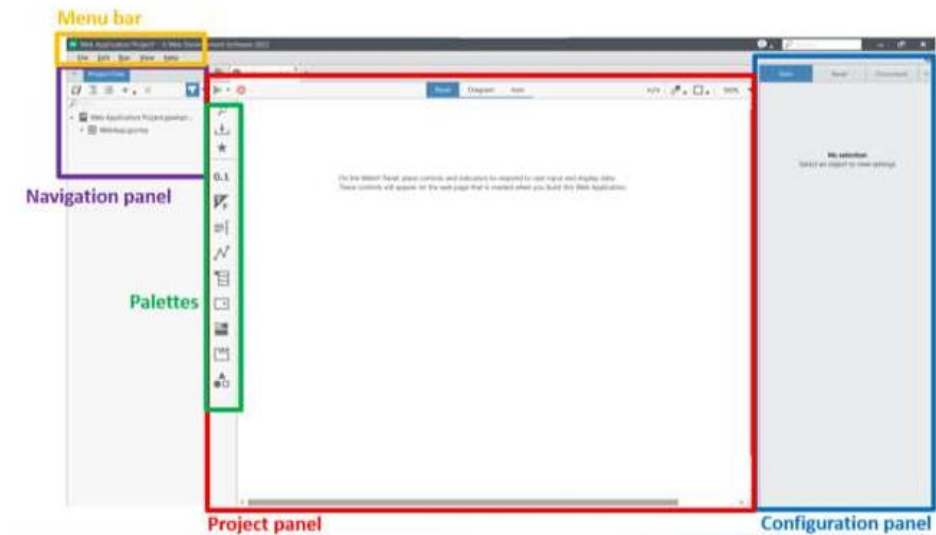
Salah satu keuntungan utama dari menggunakan G Web Development Software adalah versatilitasnya, karena kompatibel dengan berbagai perangkat dan browser. Pengembang dapat menyesuaikan situs web mereka dengan mudah, berkat kemampuan dinamis dari software. Selain itu, program ini terintegrasi dengan baik dengan produk National Instruments lainnya seperti LabVIEW. Fitur ini memberikan proses yang lebih efisien dan rapi ketika menggunakan alat-alat ini bersama-sama.

Keuntungan utama lain dari menggunakan G Web Development Software adalah antarmuka intuitif yang ditawarkan. Software ini memudahkan pengguna yang tidak berpengalaman untuk membuat situs web yang fungsional dan indah. Pengguna dapat menggunakan software untuk menyesuaikan situs web dan menggunakan tutorial yang tersedia untuk mendapatkan hasil maksimal dari alat ini. Secara keseluruhan, G Web Development Software sangat cocok untuk setiap pengembang web yang ingin menyederhanakan proses pengembangan web mereka. Alat ini memungkinkan pengguna untuk membuat situs web responsif tanpa keterampilan pemrograman web yang luas yang dibutuhkan sambil menawarkan solusi yang hemat biaya bagi pengguna.

⁵ National Instruments. (2024). *G Web Development Software*.

A. Bagian Bagian WebVI pada G Web Development Software

Berikut merupakan bagian bagian yang ada pada WebVI Gweb Development Software



Gambar 2.8 Antarmuka Pada G Web

Berikut penjelasan per bagian yang ada pada Gambar 2.8:

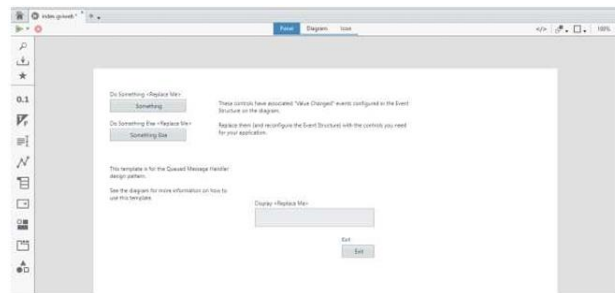
- **Menu bar** – Berisi menu-menu operasi untuk melakukan pengaturan dan perubahan pada project secara khusus atau G Web Development Software secara umum
- **Navigation panel** – Berisikan file-file dan komponen-komponen pendukung yang digunakan pada project
- **Palettes** – Berisi fungsi atau control yang dapat digunakan dalam aplikasi yang dibangun.
- **Project panel** – Tempat dimana tampilan dari project yang dibangun dapat dilihat (tab panel), serta logic yang digunakan di dalamnya (tab block diagram).
- **Configuration panel** – Berisi menu-menu yang dapat digunakan untuk mengatur project dan palette yang digunakan di dalam Project panel.

Adapun penjelasan lebih detailnya sebagai berikut:

1) Front Panel

Front Panel adalah bagian LabVIEW yang berlatar belakang abu-abu yang berfungsi meletakkan kontrol beserta indikator, dan menjadi antarmuka

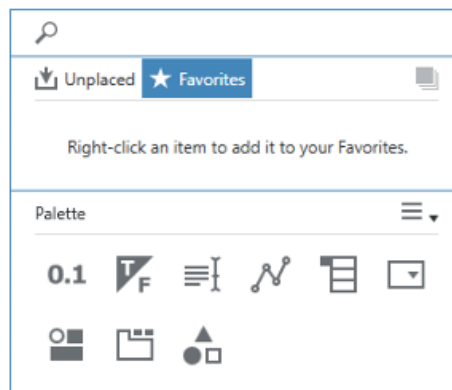
pengguna dari WebVI. Front Panel. Kontrol adalah elemen grafis pada user interface (UI) yang memungkinkan pengguna untuk berinteraksi dengan aplikasi web. Contohnya seperti tombol, input teks, dan dropdown menu. Pada gambar di bawah terlihat pada bagian yang diberi lingkaran biru. Sedangkan untuk Indikator adalah elemen UI yang menampilkan informasi kepada pengguna. Contohnya seperti progress bar, loading indicator, dan notification messages.



Gambar 2.9 Front Panel

2) Controls Palette

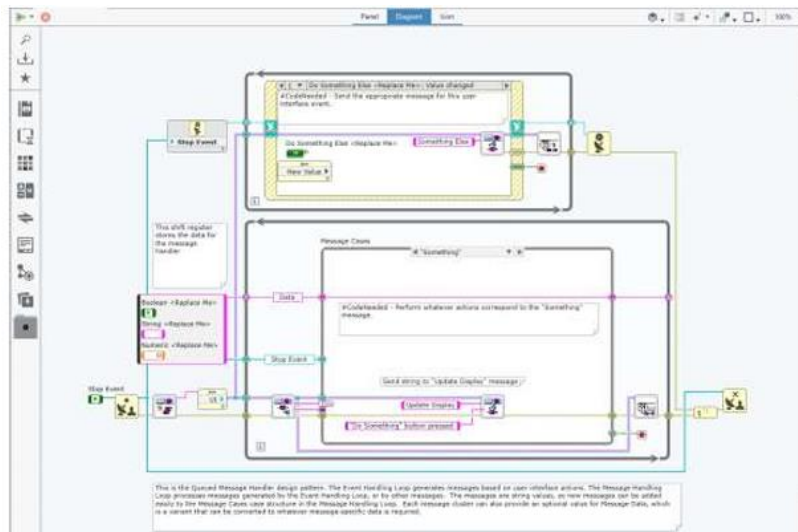
Controls Palette berisi kontrol dan indikator yang digunakan untuk membuat antarmuka di Front Panel. Controls Palette dapat diakses dari jendela Front Panel pada bagian palette di kiri atau dengan mengeklik kanan pada ruang kosong di jendela Front Panel. Tampilan dari Controls Palette dapat lihat pada gambar berikut:



Gambar 2.10 Controls Palette

3) Block Diagram

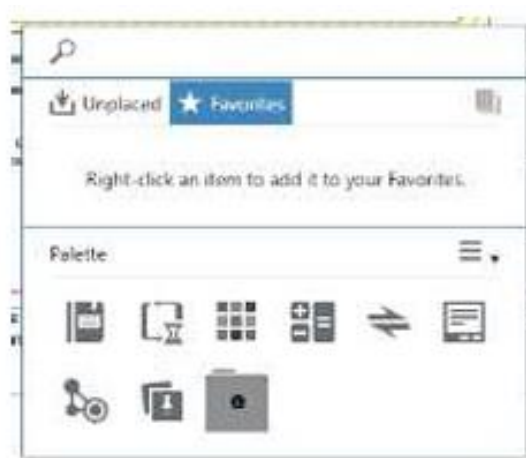
Block Diagram adalah bagian jendela G Web, berisi source code grafis yang dibuat, dan berfungsi sebagai instruksi untuk Front Panel. Tampilan dari Block Diagram dapat lihat pada gambar berikut:



Gambar 2.11 Block Diagram

4) Functions Palette

Functions Palette berisi gVI dan fungsi yang digunakan untuk membangun Block Diagram. Functions palette dapat diakses pada palette di bagian kiri panel atau dengan mengeklik kanan pada ruang kosong di jendela Block Diagram. Tampilan dari Functions Palette dapat lihat pada berikut:



Gambar 2.12 Functions Palette

2.1.5 Revolution Pi

Revolution Pi (RevPi) merupakan sebuah komputer industri modular dan terbuka (*open-source*) yang dikembangkan oleh Kunbus GmbH, Jerman. Produk ini berbasis *Raspberry Pi Compute Module* dan telah disesuaikan untuk memenuhi standar industri seperti EN61131-2, menjadikannya alternatif yang ekonomis dan fleksibel dibandingkan PLC konvensional. RevPi dirancang untuk dapat dipasang pada DIN-rail seperti perangkat industri lainnya dan mendukung sistem operasi

berbasis *Linux* (Raspbian dengan kernel RT patch) untuk menjamin stabilitas serta kinerja *real-time* (Revolution Pi, 2016).

Sebagai sistem terbuka, Revolution Pi memungkinkan pengguna untuk melakukan pengembangan mandiri dengan berbagai bahasa pemrograman seperti Python, C, Node-RED, maupun CODESYS. Fleksibilitas ini memungkinkan RevPi digunakan pada berbagai aplikasi, mulai dari otomasi industri, pengumpulan data (*data acquisition*), integrasi *cloud* dan *edge computing*, hingga pengembangan sistem berbasis *Internet of Things (IoT)* dan *Industry 4.0*. Pada Gambar 2.13 akan ditampilkan bentuk fisik Revolution Pi Connect SE beserta bagian-bagian utamanya.



Gambar 2.13 Revolution Pi Connect SE⁶

Pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 dapat dilihat komponen pendukung serta spesifikasi dari revolution pi connect se.

Tabel 2.2 Komponen Pendukung Revolution Pi Connect SE

Position	Component	Application
1	<i>X2 connector</i>	<i>Relay output, Digital Input</i>
2	<i>6 x status LED</i>	<i>RevPi LEDs</i>
3	<i>2 x RJ45 Ethernet</i>	<i>Ethernet Interfaces RJ45, Establishing a Network Connection</i>
4	<i>Micro USB</i>	<i>Saving and Reinstalling the Image</i>
5	<i>2 x USB A</i>	<i>USB Interfaces</i>
6	<i>RS485 Socket</i>	<i>RS485 Serial Interface</i>

⁶ Revolution Pi. (2016). *RevPi Connect S/SE | Industrial Raspberry Pi*.
<https://revolutionpi.com/en/docs/revpi-connect-se>

Position	Component	Application
7	<i>X4 Connector</i>	<i>Connecting the Power Supply. Watchdog</i>
8	<i>2 x locking clip</i>	<i>Mounting the Device on a DIN Rail</i>
9	<i>Ventilation Slots</i>	<i>Mounting the Device on a DIN Rail</i>
10	<i>PiBridge</i>	<i>Connecting Expansion Modules</i>
11	<i>ConBridge</i>	<i>Connecting Expansion Modules</i>
12	<i>Micro HDMI</i>	<i>Setting up Desktop Mode</i>

Adapun pada Tabel 2.3 disajikan ringkasan spesifikasi dan standarisasi yang dimiliki oleh Revolution Pi, yang meliputi aspek spesifikasi fisik dan standar industri, spesifikasi daya, serta spesifikasi komputasi. Penyajian dalam bentuk tabel ini bertujuan untuk memberikan gambaran terstruktur mengenai karakteristik teknis perangkat yang mendukung implementasinya sebagai perangkat *edge* dalam sistem. IIoT.

Tabel 2.3 Spesifikasi Revolution Pi Connect SE

Item Type	Description
Housing Type	DIN rail housing (for DIN rail version EN 50022)
Protection Class	<i>IP20 / NEMA Class 1</i>
Operating Temperature	-25 ... +55 °C
Power Supply	12 ... 24 V DC -15 % / +20 %, reverse-polarity protected
Maximum power consumption	<i>20 W (incl. 1 A total USB output current)</i>
Max. relative humidity (at 40 °C)	<i>up to 93 % (non-condensing)</i>
Processor	Broadcom BCM2711, quad-core Arm Cortex-A72
Clock rate	<i>1.5 GHz</i>
RAM	<i>1 GB LPDDR4</i>
Flash memory	<i>(8/16/32 GB)</i>

Spesifikasi tersebut menjadi dasar pertimbangan dalam pemilihan Revolution Pi sebagai platform utama pada trainer kit Edge IIoT yang akan dikembangkan ini. Selain memenuhi standar perangkat industri, Revolution Pi berperan sebagai perangkat *edge* dalam arsitektur *edge computing*, di mana proses akuisisi data, pemrosesan awal, serta eksekusi logika kontrol dilakukan secara lokal pada sisi *edge* sebelum data diteruskan ke lapisan aplikasi.

Dalam implementasi yang dirancang, RevPi menerima data dari sensor, melakukan pemrosesan sesuai logika yang telah ditentukan, serta mengendalikan aktuatur secara langsung berdasarkan hasil pengolahan tersebut.

Selain itu, dukungan antarmuka komunikasi seperti Ethernet serta sistem bus modular (PiBridge dan ConBridge) memungkinkan RevPi berfungsi sebagai node integrasi dalam jaringan IIoT. Dengan kemampuan tersebut, RevPi tidak hanya bertindak sebagai pengendali lokal, tetapi juga sebagai penghubung antara perangkat lapangan dan sistem monitoring berbasis web.

Karakteristik ini memperkuat justifikasi pemilihan Revolution Pi sebagai platform utama pada trainer kit Edge IIoT yang akan dikembangkan nantinya, karena perangkat tersebut mampu merepresentasikan fungsi *edge computing* sekaligus memenuhi kebutuhan integrasi sistem industri secara nyata.

2.1.6 Software Python

Python merupakan bahasa pemrograman interpretatif yang bersifat multiguna dengan filosofi perancangan yang menekankan keterbacaan dan kesederhanaan sintaks. Bahasa ini menggabungkan kapabilitas komputasi yang luas dengan struktur kode yang jelas serta didukung oleh pustaka standar yang komprehensif. Selain itu, Python memiliki komunitas pengembang yang besar sehingga pengembangan dan pemeliharaan sistem dapat dilakukan secara berkelanjutan (Syahrudin & Kurniawan, 2018).

Python mendukung berbagai paradigma pemrograman, seperti pemrograman berorientasi objek, imperatif, dan fungsional. Sebagai bahasa pemrograman dinamis, Python dilengkapi dengan manajemen memori otomatis yang memudahkan proses pengembangan perangkat lunak. Meskipun sering digunakan sebagai bahasa skrip, pemanfaatannya telah berkembang luas pada berbagai konteks, termasuk pengolahan data, pengembangan sistem berbasis jaringan, hingga aplikasi industri.

Saat ini kode python dapat dijalankan di berbagai platform sistem operasi, beberapa diantaranya adalah:

1. Linux/Unix
2. Windows
3. Mac OS X
4. Java Virtual Machine
5. Symbian (untuk produk-produk Nokia), dll.

Selain itu, Python didistribusikan dengan lisensi yang bersifat terbuka dan dapat digunakan secara bebas, termasuk untuk kepentingan komersial, tanpa bertentangan dengan prinsip Open Source maupun General Public License (python, 2019).



Gambar 2.14 Logo Python⁷

2.1.7 Sensor RTD PT1000

Sensor RTD PT1000 merupakan sensor dengan nilai resistansi nominal 1000 Ω pada suhu 0 °C. Sensor ini bekerja berdasarkan perubahan nilai resistansi elemen platinum yang bersifat linier dan stabil terhadap perubahan suhu, sehingga menghasilkan pengukuran suhu yang akurat, presisi, dan repeatable.

Modul ini mendukung konfigurasi 2-wire, 3-wire, dan 4-wire, serta dilengkapi kompensasi kesalahan kabel dan deteksi fault, sehingga sangat sesuai untuk aplikasi industri. Sensor RTD PT1000 memiliki rentang pengukuran suhu yang luas (hingga ± 200 °C atau lebih, tergantung sensor) dan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan sensor suhu berbasis termistor atau sensor digital konvensional (Heraeus Sensor Technology, 2016).



Gambar 2.15 Sensor RTD PT1000⁸

⁷ python, org. (2019). *The Python Logo* | Python Software Foundation.
<https://www.python.org/community/logos/>

⁸ Heraeus Sensor Technology. (2016). *Platinum Resistance Temperature Detector SMD 0603 (V)*
Heraeus Sensor Technology USA. www.hst-us.com

2.1.8 Sensor Proximity

Sensor induktif proximity LJ12A3-4-Z/BX merupakan sensor non-kontak yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan objek logam pada jarak maksimum 4 mm. Sensor ini menggunakan konfigurasi keluaran NPN *Normally Open* (NO) dengan tegangan kerja 6–36 VDC, sehingga sesuai untuk aplikasi otomasi dan sistem kontrol industri (Datasheet.com, 2019).



Gambar 2.16 Sensor Proximity⁹

2.1.9 Sensor XY-MD02

Sensor XY-MD02 merupakan modul sensor suhu dan kelembapan berbasis RS485 (Modbus RTU) dirancang untuk aplikasi industri. Sensor ini menggunakan sensor digital SHT20 berpresisi tinggi, sehingga mampu menghasilkan pengukuran suhu dan kelembapan yang stabil, akurat, serta memiliki repeatability yang baik. XY-MD02 mendukung protokol komunikasi Modbus RTU standar industri, dengan jarak komunikasi hingga ± 1000 meter. Sensor ini memiliki rentang pengukuran suhu -40 hingga 60 °C dengan akurasi $\pm 0,5$ °C, serta kelembapan 0–80 %RH dengan akurasi ± 3 %RH, dan resolusi data 0,1 (IDB Smart, 2023).



Gambar 2.17 Sensor XY-MD02¹⁰

⁹ Datasheet.com. (2019). *LJ12A3-4-Z ETC2* | *Alldatasheet*.

¹⁰ IDB Smart. (2023). *XY-MD02 1.Description*.

2.1.10 Signal Generator 4-20 mA

ProMax CSG01 4–20 mA Current Signal Generator merupakan perangkat simulator sinyal arus standar industri 4–20 mA yang dirancang untuk kebutuhan pengujian, kalibrasi, *commissioning*, dan *troubleshooting* sistem kontrol dan instrumentasi. Perangkat ini berfungsi untuk menggantikan sementara sensor lapangan (seperti *pressure transmitter*, *temperature transmitter*, atau *flow transmitter*).

CSG01 mampu menghasilkan sinyal arus 4 hingga 20 mA secara presisi, yang dapat diatur secara manual menggunakan *digital rotary encoder* berakurasi tinggi. Nilai arus keluaran ditampilkan secara *real-time* melalui LCD display dengan resolusi hingga 0,01 mA, sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan penyesuaian dan pemantauan sinyal (Probots, 2023).



Gambar 2.18 Signal Generator ProMax CSG01 4-20mA¹¹

2.1.11 Motor DC

Motor DC 775 merupakan aktuator yang berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Motor ini bekerja pada tegangan 12–24 VDC, memiliki karakteristik torsi tinggi dan kecepatan putar hingga 12.000 RPM, serta dilengkapi *double ball bearing* dan kipas pendingin internal untuk mendukung kinerja yang stabil pada berbagai aplikasi otomasi dan industri (eBay, 2023).



Gambar 2.19 Motor DC¹²

¹¹ Probots. (2023). *ProMax CSG01 4-20ma Current Signal Generator*. www.probots.co.in

¹² eBay. (2023). *775 / 795 DC Motor 12V-24V 12000RPM*.

2.1.12 Push Button

Schneider Electric Harmony XA2 Push Button Flush 22 mm 1NC Merah (XA2EA42) merupakan perangkat input digital yang digunakan pada sistem kontrol industri. Push button ini memiliki diameter standar 22 mm dengan desain flush mounting, sehingga mudah dipasang pada panel kontrol dan memberikan tampilan yang rapi. Berdasarkan jenis kontakannya, push button industri umumnya dibedakan menjadi *Normally Open* (NO) dan *Normally Closed* (NC) (Schneider Electric Indonesia, 2025).

Pada tipe *Normally Open* (NO), rangkaian berada dalam kondisi terbuka pada keadaan normal dan akan tertutup saat tombol ditekan. Sebaliknya, pada tipe *Normally Closed* (NC) seperti pada XA2EA42, rangkaian berada dalam kondisi tertutup pada keadaan normal dan akan terbuka ketika tombol ditekan..



Gambar 2.20 Push Button Schneider XA2EA42¹³

2.1.13 Selector Switch

Selector switch Schneider Electric Easy Harmony XA2ED33 merupakan sakelar putar industri yang digunakan untuk memilih mode operasi atau kondisi kerja sistem. Switch ini memiliki tiga posisi tetap (*stay put*) dengan konfigurasi kontak 2 *Normally Open* (2NO), diameter pemasangan 22,5 mm, serta tingkat perlindungan IP65 sehingga sesuai digunakan pada panel kontrol industri (Schneider, 2026).



Gambar 2.21 Selector Switch¹⁴

¹³ Schneider Electric Indonesia. (2025). *PES_Schneider Electric_Easy-Harmony-XA2_XA2EA42*.

¹⁴ Schneider. (2026). *selector switch - Ø22 - standard handle - 3 positions - 2NO*.

2.1.14 Emergency Button

Selector switch Schneider Electric Easy Harmony XA2ED33 merupakan sakelar putar industri yang digunakan untuk memilih mode operasi atau kondisi kerja sistem. Switch ini memiliki tiga posisi tetap (*stay put*) dengan konfigurasi kontak 2 *Normally Open* (2NO), diameter pemasangan 22,5 mm, serta tingkat perlindungan IP65 sehingga sesuai digunakan pada panel kontrol industri (Omron, 2025).



Gambar 2.22 Emergency Button¹⁵

2.1.15 LED Lamp Indicator

Pilot Lamp LED 22 mm AD22-22DS (AD2222DS) merupakan lampu indikator panel yang digunakan untuk menampilkan status operasi sistem pada panel kontrol dan sistem otomasi industri. Lampu indikator ini tersedia dalam beberapa warna, yaitu merah, hijau, dan kuning, yang masing-masing umumnya merepresentasikan kondisi *alarm/stop*, *normal/run*, dan *warning/standby* (ele-b2b, 2021).



Gambar 2.23 LED¹⁶

2.1.16 Alarm Buzzer

Pilot Lamp Buzzer LED 22 mm merk EWIG (DC 24 V) merupakan perangkat indikator visual dan audio yang digunakan pada panel kontrol industri untuk memberikan peringatan atau status operasi sistem. Produk ini

¹⁵ Omron. (2025). *Install in 22-dia. or 25-dia. Panel Cutout (When Using a Ring)*.

¹⁶ ele-b2b. (2021). *Description Voltage Contour Indicator Type Color*. www.xindali.com

menggabungkan lampu LED sebagai indikator visual dan buzzer sebagai indikator suara dalam satu unit (Ewig Electronics, 2016).



Gambar 2.24 Alarm Buzzer¹⁷

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai implementasi *Edge Industrial Internet of Things* (IIoT) terus berkembang seiring meningkatnya kebutuhan sistem monitoring dan kontrol secara *real-time*. Berbagai penelitian memanfaatkan perangkat *Industrial Edge Computer* untuk melakukan pemrosesan data di sisi *edge* sehingga mampu mengurangi latensi komunikasi dan meningkatkan efisiensi sistem.

Salah satu penelitian dilakukan oleh Halenar et al. (2024), yang mengembangkan sistem *predictive maintenance* berbasis *Edge Computing* menggunakan Revolution Pi sebagai perangkat *edge*. Sistem tersebut melakukan pemrosesan data sensor secara lokal sehingga mampu mengurangi beban komunikasi menuju server pusat. Namun, penelitian ini masih berfokus pada fungsi monitoring kondisi mesin dan belum mengintegrasikan kontrol dua arah maupun antarmuka berbasis web.

Penelitian lain dilakukan oleh Kucera et al. (2022), yang mengembangkan sistem monitoring berbasis Edge IIoT menggunakan PLC industri dan protokol OPC UA. Pendekatan tersebut mampu menjaga interoperabilitas dan keandalan komunikasi industri. Namun, sistem yang dikembangkan masih menggunakan arsitektur komunikasi industri konvensional dan belum mendukung komunikasi berbasis web secara *real-time*.

Selanjutnya, Beňo et al. (2024), yang mengembangkan sistem otomasi

¹⁷ Ewig Electronics. (2016). *Beli EWIG Pilot Lamp Buzzer Red 22mm 1pc* | [monotaro.id](https://www.monotaro.id/s030438415.html).
<https://www.monotaro.id/s030438415.html>

berbasis *Edge Computing* menggunakan pendekatan *containerization* pada *industrial PC*. Pendekatan tersebut memberikan fleksibilitas dan skalabilitas dalam proses *deployment*. Namun, kompleksitas sistem dan kebutuhan sumber daya komputasi menjadi lebih tinggi sehingga kurang sesuai untuk media pembelajaran..

Selain penelitian akademik, pengembangan media pembelajaran berbasis Revolution Pi juga telah tersedia dalam bentuk *training kit* komersial. Salah satunya adalah RevPi Next Plus Training Kit yang dikembangkan oleh (techsquare, 2023). *Training kit* tersebut mengintegrasikan Revolution Pi, modul I/O, sensor, aktuator, serta komunikasi industri untuk mendukung proses pembelajaran otomasi dan implementasi Industri 4.0. Fokus utamanya adalah pada konfigurasi perangkat, integrasi sistem, dan komunikasi menggunakan protokol industri standar sehingga peserta didik dapat mempelajari implementasi dasar sistem otomasi industri.

Produk komersial lainnya adalah RevPi Trainingsboard V1206Pi-S1 yang dikembangkan oleh PLC4Training. (2023). *Training kit* ini menyediakan berbagai komponen praktikum berupa tombol, sakelar, indikator LED, *buzzer*, masukan analog, serta modul simulasi seperti *traffic light* dan *conveyor* yang digunakan untuk pembelajaran, pengujian, dan simulasi menggunakan Revolution Pi maupun CODESYS. Pendekatan tersebut sangat mendukung pembelajaran logika kontrol berbasis PLC, namun implementasinya masih berorientasi pada simulasi kontrol industri konvensional dan belum menitikberatkan pada integrasi komunikasi WebSocket maupun dashboard berbasis web sebagai media monitoring dan kontrol secara *real-time*.

Meskipun berbagai *training kit* tersebut telah mendukung proses pembelajaran otomasi industri, pengembangannya umumnya masih berorientasi pada skenario praktikum yang bersifat tetap (*fixed*). Selain itu, sebagian besar *trainer kit* belum menerapkan arsitektur perangkat lunak yang bersifat modular sehingga pengembangan skenario pembelajaran baru masih memerlukan perubahan program secara menyeluruh. Kondisi tersebut menyebabkan fleksibilitas *trainer kit* sebagai media pembelajaran dan penelitian menjadi terbatas.

Selain aspek perangkat keras, mekanisme komunikasi juga menjadi faktor penting dalam implementasi sistem Edge IIoT. (Pimentel & Nickerson, 2012). menjelaskan bahwa WebSocket menyediakan mekanisme komunikasi *full-duplex*

melalui koneksi TCP persisten sehingga mampu menurunkan latensi komunikasi dibandingkan metode *HTTP polling*. Mekanisme tersebut memungkinkan proses pertukaran data sensor dan perintah kontrol berlangsung secara kontinu tanpa melakukan proses *request-response* secara berulang. Hasil penelitian (Nuratch, 2018) juga menunjukkan bahwa WebSocket efektif diterapkan pada arsitektur *Device-to-Cloud* untuk mendukung proses monitoring dan kontrol dua arah secara *real-time* pada sistem IIoT.

Selain mekanisme komunikasi, sistem monitoring dan kontrol juga memerlukan antarmuka pengguna yang mampu menyajikan data secara interaktif serta mengirimkan perintah kontrol kepada perangkat *edge*. Salah satu platform yang mendukung kebutuhan tersebut adalah NI G Web Development Software. Platform ini memungkinkan pengembangan *dashboard* berbasis web yang dapat diintegrasikan dengan sistem pengukuran dan kontrol berbasis LabVIEW, sehingga proses monitoring dan pengendalian perangkat dapat dilakukan melalui *web browser* tanpa memerlukan aplikasi desktop.

Berdasarkan kajian penelitian terdahulu dapat diketahui bahwa berbagai penelitian telah berhasil mengimplementasikan konsep *Edge Computing*, Revolution Pi, maupun *training kit* berbasis otomasi industri. Namun, penelitian-penelitian tersebut umumnya masih berfokus pada fungsi monitoring atau kontrol secara terpisah, menggunakan komunikasi industri konvensional, serta belum mengintegrasikan komunikasi WebSocket, *dashboard* berbasis web, dan media pembelajaran yang fleksibel dalam satu sistem. Selain itu, implementasi *trainer kit* yang menerapkan arsitektur perangkat lunak berbasis Python secara modular sehingga memungkinkan pengembangan skenario praktikum baru juga masih sangat terbatas.

Oleh karena itu, pada proyek akhir ini dikembangkan *Trainer Kit Edge Industrial Internet of Things (IIoT)* Berbasis Revolution Pi dengan Komunikasi WebSocket dan Dashboard NI G Web sebagai media pembelajaran yang merepresentasikan implementasi sistem industri modern. Trainer kit ini mengintegrasikan Revolution Pi sebagai *Industrial Edge Computer*, berbagai sensor dan aktuator, komunikasi WebSocket, *dashboard* NI G Web, serta sistem basis data dalam satu platform yang mendukung proses monitoring, kontrol, dan

pencatatan data secara *real-time*. Selain menyediakan beberapa skenario praktikum, yaitu *Metal Part Conveyor Monitoring System* dan *Automatic Mixxing Tank Process Control*, trainer kit ini dirancang untuk memberikan pemahaman kepada peserta didik mengenai keseluruhan arsitektur sistem Edge IIoT, mulai dari proses akuisisi data sensor, pemrosesan data pada perangkat *edge*, komunikasi data secara *real-time*, visualisasi melalui *dashboard* berbasis web, hingga penyimpanan data ke dalam basis data (*database*). Data yang tersimpan selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai bahan analisis untuk mengevaluasi performa sistem, seperti pengukuran *latency*, *success rate*, *throughput*, stabilitas komunikasi dan *round trip time analysis*. Di samping itu, trainer kit ini menerapkan arsitektur perangkat lunak berbasis Python yang dirancang secara modular sehingga peserta didik dapat mempelajari pengembangan perangkat lunak industri, melakukan integrasi sensor dan aktuator, membangun mekanisme komunikasi, serta mengembangkan skenario praktikum baru dengan memanfaatkan *baseline* program yang telah disusun tanpa mengubah keseluruhan struktur sistem. Dengan demikian, trainer kit ini tidak hanya berfungsi sebagai media praktikum, tetapi juga sebagai platform pembelajaran yang mendukung penguasaan konsep, implementasi, analisis, dan pengembangan sistem Edge Industrial Internet of Things (IIoT) secara menyeluruh.

Dengan pendekatan tersebut, peserta didik tidak hanya mempelajari penggunaan perangkat keras dan perangkat lunak secara terpisah, tetapi juga memahami alur implementasi sistem Edge Industrial Internet of Things (IIoT) secara end-to-end, mulai dari akuisisi data, pemrosesan pada perangkat *edge*, komunikasi data, visualisasi, pengendalian, pencatatan data (*data logging*), hingga analisis performa komunikasi berdasarkan data yang diperoleh.