



**Implementasi Protokol Komunikasi Data
Modbus TCP/IP pada Perangkat Kamera Cerdas
Berbasis *Raspberry Pi***

Tugas Akhir

**Oleh:
Yeni Aryani (4222001005)**

**Program Studi Teknik Robotika
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2023**

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul : “Implementasi Protokol Komunikasi Data *Modbus TCP/IP* pada Perangkat Kamera Cerdas Berbasis *Raspberry Pi* ” adalah **hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri**. Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam, 29 Desember 2023

Yeni Aryani
NIM: 4222001005

Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)
di
Politeknik Negeri Batam

Oleh:
Yeni Aryani (4222001005)

Dengan judul:
Implementasi Protokol Komunikasi Data Modbus TCP/IP pada Perangkat Kamera Cerdas Berbasis
Raspberry Pi

Tanggal Sidang: 21 12, 2023

Disetujui oleh :

Dosen Penguji I



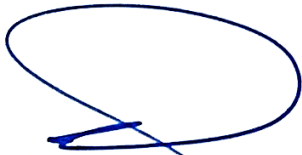
1. Ryan Satria Wijaya, S.Tr.T., M.Tr.T.
NIK: 121249

Dosen Pembimbing



1. Eko Rudiawan Jamzuri, S.ST., M.Sc
NIK: 113117

Dosen Penguji II



2. Ir. Ahmad Riyad Firdaus, Ph.D
NIK: 100013

Implementasi Protokol Komunikasi Data Modbus TCP/IP pada Perangkat Kamera Cerdas Berbasis Raspberry Pi

Yeni Aryani, dan Eko Rudiawan Jamzuri *

Department of Electrical Engineering, Politeknik Negeri Batam
Jl. Ahmad Yani, Kel. Tlk. Tering, Kec. Batam Kota, Kota Batam, Kepulauan Riau, 29461, Indonesia

*Corresponding author. Email: ekorudiawan@polibatam.ac.id

Abstract— The Modbus TCP/IP protocol was designed as a solution to the complexity of human-machine interaction and the increasing need for high safety in industrial environments. Serving as a data bridge, this protocol has been proven to support industrial Occupational Health and Safety systems. With a transfer rate of up to 0,01994 Mbps, latency of 2,01229 ms, and integration of Object Monitoring, this protocol provides a comprehensive solution to improve performance and safety in various industrial sectors. The use of Modbus TCP/IP Protocol can improve worker safety, minimize the risk of accidents, and optimize productivity, making it an important innovation in achieving high safety standards and efficiency in industrial environments.

Keywords— Latency ; Modbus TCP/IP ; Transmission

Abstrak— Protokol Modbus TCP/IP dirancang sebagai solusi bagi kompleksitas interaksi antara manusia dan mesin, serta meningkatnya kebutuhan akan keselamatan tinggi di lingkungan industri. Berfungsi sebagai jembatan data, protokol ini telah terbukti mendukung sistem Kesehatan dan Keselamatan Kerja industri. Dengan kecepatan transfer mencapai 0,01994 Mbps, latensi 2,01229 ms, dan integrasi Pemantauan Objek, protokol ini memberikan solusi komprehensif untuk meningkatkan kinerja dan keamanan di berbagai sektor industri. Penggunaan Protokol Modbus TCP/IP mampu meningkatkan keselamatan pekerja, meminimalisir risiko kecelakaan, dan mengoptimalkan produktivitas, menjadikannya inovasi penting dalam mencapai standar keselamatan tinggi dan efisiensi di lingkungan industri.

Kata kunci— Latensi ; Modbus TCP/IP; Transmisi ;

I. PENDAHULUAN

Dalam era industri yang semakin terkoneksi dan otomatis, komunikasi yang efisien antara perangkat-perangkat otomasi dan pengendalian menjadi sangat penting dalam menjaga performa, keamanan, dan produktivitas operasi[1]. Lingkungan industri modern sering kali melibatkan berbagai jenis perangkat seperti PLC (*Programmable Logic Controller*), sensor, aktuator, mesin, dan sistem pengawasan yang tersebar di seluruh pabrik atau fasilitas[2]. Tantangan utama didalam industri yaitu menemukan cara untuk mengintegrasikan perangkat sehingga dapat bertukar data, berkomunikasi serta beroperasi secara terkoordinasi untuk meraih tujuan produksi yang diinginkan.

Di sinilah Modbus TCP muncul sebagai solusi yang sangat efektif. Protokol ini memanfaatkan infrastruktur jaringan TCP/IP yang telah dikenal luas dan digunakan secara umum dalam komputasi modern[3]. Dengan Modbus TCP, perangkat yang terletak jauh satu sama lain, bahkan di lokasi yang berbeda secara geografis, dapat terhubung dan berkomunikasi secara real-time[4]. Ini menciptakan sistem terdistribusi yang terkoneksi dengan baik, di mana data dan perintah dapat ditransmisikan dengan cepat dan andal di seluruh jaringan industri[5].

Selain itu, Modbus TCP telah terbukti menjadi tulang punggung dalam menghubungkan berbagai perangkat di dunia manufaktur, otomasi, dan kontrol proses. Dukungan yang luas dari berbagai produsen perangkat industri membuatnya menjadi pilihan yang populer dalam berbagai aplikasi industri, mulai dari produksi pabrik, pengendalian sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) di gedung, hingga aplikasi di industri minyak dan gas[6]. Keunggulan Modbus TCP dalam hal interoperabilitas, keamanan data, dan performa yang andal menjadikannya salah satu protokol komunikasi yang sangat diandalkan dalam menghadapi kompleksitas lingkungan industri yang terus berkembang[7].

Dikembangkan oleh *Modicon*, Modbus awalnya dirancang sebagai protokol komunikasi serial untuk menghubungkan PLC (*Programmable Logic Controller*) dengan perangkat perifer[8]. Namun, seiring berjalannya waktu dan perkembangan teknologi, Modbus mengalami evolusi menjadi Modbus TCP/IP, memanfaatkan infrastruktur jaringan TCP/IP yang luas dan menjadi pilihan utama dalam komunikasi industri yang luas[9].

Dalam komunikasi kabel konvensional, jarak fisik sering menjadi hambatan. Modbus TCP mengatasi batasan ini dengan memungkinkan perangkat di lokasi yang berjauhan secara geografis untuk berkomunikasi melalui infrastruktur jaringan

yang sudah ada dan tanpa perawatan khusus[10]. Selain itu, Modbus TCP biasanya merupakan solusi yang lebih terjangkau daripada beberapa alternatif, seperti protokol khusus atau infrastruktur jaringan yang mahal. Ini membuatnya menjadi pilihan yang ekonomis untuk banyak aplikasi industri.

Pada penelitian ini akan berfokus pada Modbus TCP, sebagai protokol komunikasi industri yang andal, dapat digunakan untuk mentransfer data kritis yang dapat digunakan untuk pemantauan dan pengendalian objek dalam lingkungan industri[11]. Dalam konteks pemantauan manusia yang mendekati, data yang paling penting adalah koordinat objek tersebut. Ketika Modbus TCP digunakan untuk mentransfer data koordinat objek manusia, ini memungkinkan sistem untuk secara real-time memantau posisi dan pergerakan objek tersebut. Dalam pemantauan objek mendekati benda kerja, sistem memberikan tiga kondisi utama: "safe" (aman), "warning" (peringatan), dan "danger" (bahaya). Ketika objek berada dalam kondisi aman, sistem mengeluarkan output 1 (*True*), menunjukkan situasi normal. Saat objek mendekat dan menjadi berpotensi berbahaya, sistem mengganti output menjadi 0 (*False*), memberi peringatan untuk tindakan lebih cermat. Ketika objek sangat mendekat atau mengancam keamanan, sistem tetap pada output 0 (*False*), mengindikasikan kebutuhan tindakan pengendalian ketat. Dengan pendekatan ini, sistem memberikan informasi langsung dan memungkinkan operasi yang efisien dan aman

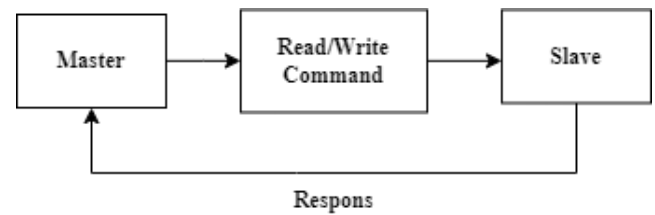
Dengan mengintegrasikan Modbus TCP dalam pemantauan objek manusia, perusahaan industri dapat meningkatkan keamanan dan efisiensi operasi mereka. Protokol ini memungkinkan sistem untuk secara tepat waktu merespons perubahan dalam lingkungan dan mengambil tindakan yang sesuai, yang merupakan langkah penting dalam memastikan keselamatan kerja dan pengendalian yang baik di dalam fasilitas industri.

II. METODE

Pada bagian ini adalah metode yang digunakan. Ada beberapa hal yang dilakukan yaitu pengaplikasian protokol Modbus TCP/IP serta pengaplikasiannya.

A. Modbus

Protokol Modbus, yang pertama kali diperkenalkan oleh Modicon (sekarang bagian dari Schneider Electric) tahun 1979, adalah sebuah protokol komunikasi yang beroperasi di lapisan tinggi (lapisan ketujuh) dari model arsitektur komunikasi *Open System Interconnection* (OSI)[12]. Modbus adalah varian protokol komunikasi yang sangat prevalen dan sering digunakan dalam berbagai aplikasi sistem otomasi dan industri. Protokol ini memberikan kemampuan yang kritis bagi perangkat elektronik seperti *Programmable Logic Controllers* (PLC), komputer, *Remote Terminal Unit* (RTU), dan berbagai perangkat lainnya untuk saling berkomunikasi dan bertukar data melalui jaringan yang diimplementasikan dengan protokol TCP/IP[13]. Dengan menggunakan Modbus, perangkat-perangkat ini dapat mengirim dan menerima informasi secara efisien, memungkinkan integrasi yang mulus dalam konteks sistem otomasi dan industri yang kompleks.[14]. Dalam mengatur komunikasi, protokol Modbus menerapkan struktur hubungan *master-slave* yang sederhana antara perangkat-perangkat yang terlibat. Dalam konteks ini, *Master* berfungsi sebagai inisiator dalam transaksi, memulai permintaan data atau perintah yang diperlukan[15]. Di sisi lain, *Slave* akan merespons dengan memberikan data yang diminta kepada *server* atau menjalankan perintah yang diberikan, dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur hubungan *Master* dan *Slave*

Dalam jaringan Modbus, hanya satu perangkat yang diberi peran sebagai *master*, yang bertanggung jawab atas koordinasi komunikasi, sementara perangkat lainnya berperan sebagai *slave* yang biasanya adalah PLC (*Programmable Logic Controller*) atau perangkat lain yang memumpuni. PLC ini mengendalikan perangkat dengan opsi input dan output sederhana, menjadikannya bagian penting dalam sistem otomasi industri.

B. TCP/IP

Pada protokol Modbus dapat diimplementasikan diatas beberapa jaringan komunikasi yang berbeda termasuk TCP/IP dan UDP[16]. Pada penelitian ini akan difokuskan menggunakan TCP/IP. TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) adalah seperangkat protokol komunikasi yang digunakan untuk menyusun dan mengirimkan data di jaringan komputer, khususnya di internet. Implementasi TCP/IP menggunakan *Local Area Network* (LAN) untuk interaksi antara unit kontrol dan *Human Machine Interface* (HMI) hal ini lebih memudahkan peningkatan sistem pengawasan dibandingkan pengawasan secara manual[17].

Protokol ini tidak memiliki mekanisme bawaan untuk menangani aspek keamanan seperti autentikasi pengguna, izin akses, atau enkripsi data[18]. Akibatnya, setiap permintaan yang dibuat dengan format yang benar dianggap valid dan akan direspon tanpa memerlukan langkah-langkah keamanan tambahan. Dengan kata lain, tanpa adanya prosedur keamanan yang ekstra, protokol Modbus menerima setiap permintaan yang sesuai dengan formatnya tanpa memerlukan proses otentikasi atau enkripsi data.

Untuk menggunakan protokol TCP/IP memerlukan pengaturan konfigurasi *IP Address*[19]. Alamat *IP Master* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 169.254.214.11, sementara alamat *IP Slave* adalah 169.254.214.10, dengan koneksi melalui *port* 502[20]. Dengan konfigurasi jaringan *Ethernet* menggunakan pengaturan ini, telah berhasil membangun infrastruktur komunikasi yang diperlukan untuk pertukaran data antara perangkat. Ini merupakan langkah kunci dalam pengembangan infrastruktur komunikasi dalam konteks penelitian ini.

C. *Transmission speed*

Transmission speed pada Modbus TCP/IP merujuk pada kecepatan dan kestabilan transfer data antara perangkat yang terhubung melalui protokol Modbus TCP/IP[21]. Kecepatan ini memiliki peran krusial dalam menentukan respons dan kinerja sistem secara keseluruhan. Semakin tinggi *Transmission speed*, semakin cepat perangkat dapat bertukar informasi, memungkinkan sistem untuk merespons lebih efisien terhadap permintaan dan perintah[22]. Faktor-faktor yang memengaruhi *Transmission speed* melibatkan kualitas dan kapasitas jaringan, konfigurasi Modbus, serta optimalisasi penggunaan fungsi-fungsi Modbus yang spesifik. Pengaturan yang tepat pada tingkat *Transmission speed* dapat meningkatkan efektivitas komunikasi antar perangkat, mengoptimalkan waktu respons,

dan menghasilkan kinerja sistem yang lebih handal dalam konteks protokol Modbus TCP/IP. Pada persamaan (1) TS_{avg} ialah rata-rata transfer, $\sum TS_i$ adalah jumlah total transfer untuk N pengukuran dan N adalah jumlah total pengukuran transfer.

$$TS_{avg} = \frac{\sum TS_i}{N} \quad (1)$$

Dalam konteks Modbus TCP/IP, *Transmission speed* atau kecepatan transfer data, dapat diukur dalam satuan Megabit per detik (Mbps). Untuk mengukur kecepatan ini, umumnya digunakan metrik permintaan per detik (*requests/second*) [23]. Namun, agar pemahaman lebih menyeluruh, perlu dilakukan konversi data dari permintaan per detik menjadi Megabit per detik. Konversi ini dapat dilakukan dengan menggunakan rumus yang mempertimbangkan ukuran data per permintaan dan faktor konversi dari bit ke Megabit.

$$TS_{avg} = \left(\frac{Req}{s} \times Req (bit) \right) \times \frac{1}{bit \text{ in } 1Mb} \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan (2) $\frac{Req}{s}$ adalah jumlah permintaan perdetik, $Req (bit)$ adalah ukuran data yang ditransfer dalam setiap permintaan dan *bit in 1Mb* adalah jumlah bit dalam 1 Megabit. Perhitungan *Transmission speed* dalam konteks Modbus TCP/IP didasarkan pada prinsip bahwa 1 byte setara dengan 8 bit dan 1 Megabit setara dengan 10^6 bit. Oleh karena itu, untuk mendapatkan kecepatan transfer dalam Megabit per detik (Mbps), kita dapat mengalikan jumlah permintaan per detik dengan ukuran data per permintaan dalam bit, dan hasilnya dibagi dengan 10^6 . Dengan kata lain, perhitungan ini mempertimbangkan konversi dari satuan data yang umum digunakan (*byte*) ke satuan bit, dan kemudian melakukan normalisasi terhadap ukuran Megabit. Melalui langkah-langkah ini, rumus tersebut memberikan gambaran yang lebih akurat tentang kecepatan transfer data Modbus TCP/IP, yang sangat relevan untuk evaluasi dan peningkatan kinerja sistem komunikasi industri.

D. Latency Speed

Latensi sebagai parameter penting dalam penilaian kinerja sistem komunikasi Modbus TCP/IP, menunjukkan sejauh mana waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan dan menerima data antara perangkat pengirim dan penerima. Dalam landasan Modbus TCP/IP, latensi memiliki peran sentral dalam menentukan respons sistem terhadap permintaan atau perintah yang diberikan [24]. Lingkungan industri khususnya mengutamakan kecepatan tanggapan sebagai faktor kritis yang dapat mempengaruhi kelancaran operasi [25]. Dengan demikian, pemahaman yang mendalam tentang latensi dalam konteks Modbus TCP/IP menjadi penting untuk mengoptimalkan kinerja dan efisiensi sistem komunikasi dalam berbagai aplikasi industri.

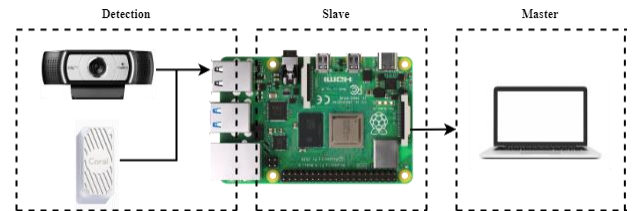
$$L_{avg} = \frac{\sum L_i}{N} \quad (3)$$

Pada persamaan (3) L_{avg} adalah rata-rata latensi, $\sum L_i$ ialah jumlah total latensi pengukuran dan N adalah jumlah total pengukuran. Melalui rumus tersebut dapat dilakukan evaluasi yang lebih cermat terhadap tingkat latensi rata-rata melalui serangkaian pengukuran yang dilakukan. Dengan demikian, diperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang kinerja

jaringan Modbus TCP/IP dan potensi dampaknya terhadap operasional sistem secara keseluruhan. Analisis tingkat latensi rata-rata ini memberikan wawasan yang berharga untuk pengoptimalan dan penyesuaian yang mungkin diperlukan guna memenuhi kebutuhan spesifik dalam berbagai lingkungan industri.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Rancangan Perangkat Keras



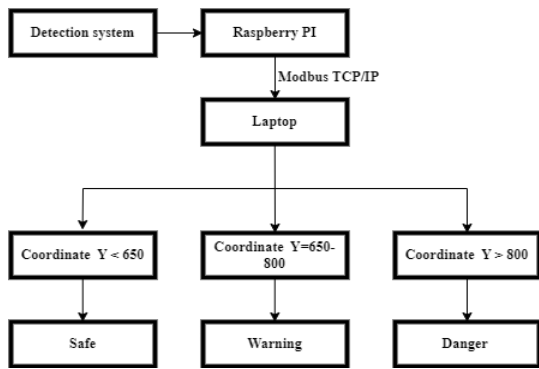
Gambar 2. Rancangan Perangkat Keras

Terlihat pada Gambar 2. pendekatan pendeteksian dalam sistem ini memanfaatkan kamera *Logitech C930* dan *Coral Edge TPU* untuk mengeksekusi tugas pendeteksian objek. Keputusan ini didasarkan pada pertimbangan ekonomis dan ketersediaan perangkat yang mudah didapatkan. *Logitech C930* dipilih sebagai kamera karena keandalan dan kualitas gambar yang baik, sementara *Coral Edge TPU* dipilih untuk memproses tugas pendeteksian secara cepat dan efisien. Selain itu, implementasi perangkat keras melibatkan dengan menggunakan *Raspberry Pi 4* sebagai *slave* untuk mendukung kinerja sistem secara lokal, sedangkan bagian *master* dipegang oleh laptop atau PC untuk mengelola dan mengkoordinasikan operasional keseluruhan sistem. Dengan penggunaan perangkat keras yang ekonomis dan konfigurasi yang mudah diperoleh, sistem ini dirancang untuk memberikan solusi yang efisien dan terjangkau untuk tujuan pendeteksian objek.

Penelitian ini memusatkan perhatian pada penggunaan Modbus TCP/IP dengan konfigurasi 1 *master* dan 1 *slave*, meskipun secara umum protokol ini mendukung 1 *master* dengan banyak *slave*. Fokus pada konfigurasi ini bertujuan untuk menyederhanakan dan mengoptimalkan komunikasi antara perangkat *master* dan *slave*, sehingga dapat memudahkan pemahaman dan pengelolaan sistem. Lebih lanjut, penelitian ini menargetkan deteksi objek sebanyak 1-3 orang dengan jarak 1-5 meter dengan ketinggian kamera 186 cm. Dengan membatasi jumlah objek dan jarak tertentu, penelitian ini berupaya mencapai tingkat presisi yang tinggi dalam mendeteksi dan memonitor pergerakan objek di lingkungan yang spesifik. Pemilihan parameter ini diharapkan dapat memberikan solusi yang lebih efektif dan responsif terhadap kebutuhan aplikasi tertentu, memastikan kehandalan sistem dalam mengenali dan merespons perubahan lingkungan sekitar dengan akurasi yang tinggi.

B. Rancangan Perangkat Lunak

Dalam rancangan perangkat lunak, setiap elemen memiliki peran dan tugasnya masing-masing, yang tergambar dengan jelas dalam diagram berikut. Melalui representasi visual ini, dapat dipahami dengan jelas bagaimana perangkat lunak diatur untuk mencapai tujuan tertentu dengan membagi peran dan tanggung jawab secara terstruktur di antara berbagai elemen yang membentuk keseluruhan sistem.



Gambar 3. Diagram Alur

Merujuk pada Gambar 3. konteks evaluasi objek berbasis visual, seperti *bounding box* pada deteksi objek, penilaian dapat dilakukan berdasarkan posisi y_coord *bounding box*. Jika nilai y_coord kurang dari 650, klasifikasinya dianggap "safe," menunjukkan bahwa objek berada dalam posisi yang aman dan mesin dapat bekerja dengan maksimal. Namun, jika nilai y_coord berada dalam rentang 650 hingga 800, hasilnya dikategorikan sebagai "warning," menandakan adanya potensi perhatian lebih lanjut. Situasi menjadi lebih kritis jika nilai y_coord melebihi 800, menghasilkan klasifikasi "danger.", maka dalam kondisi ini mesin akan berhenti bekerja sampai tidak ada lagi objek yang terdeteksi atau objek bergerak ke tempat yang lebih aman. Dalam konteks ini, klasifikasi "safe," "warning," dan "danger" memberikan panduan terkait tingkat risiko atau keamanan berdasarkan letak vertikal objek pada gambar.

C. Pengujian Sistem

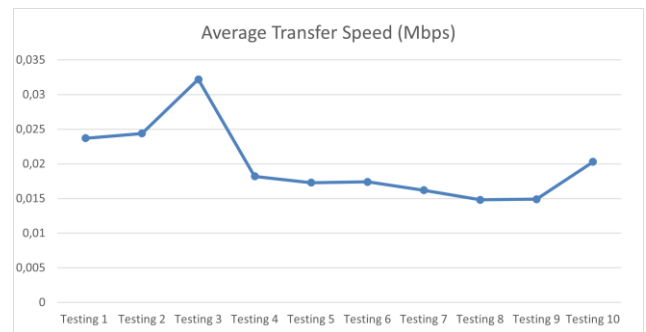
Bagian ini akan memaparkan hasil pengujian sistem Modbus TCP/IP. Pengujian dilakukan dengan *Raspberry Pi 4* bertindak sebagai perangkat pengirim yang mengirimkan data ke laptop melalui protokol TCP/IP. Selama pengujian, dilakukan perhitungan *Transmission speed* dan *Latency Speed* dengan tingkat akurasi yang tinggi. Sebanyak 10 kali pengujian dilakukan, dan setiap pengujian terdiri dari serangkaian percobaan sebanyak 100 data.

Pendekatan ini memberikan gambaran menyeluruh tentang kinerja sistem dalam berbagai kondisi, dan hasilnya dapat digunakan untuk evaluasi mendalam terhadap kehandalan dan responsivitas Modbus TCP/IP dalam skenario penggunaan yang beragam.

TABEL I. MODBUS TCP/IP DATA

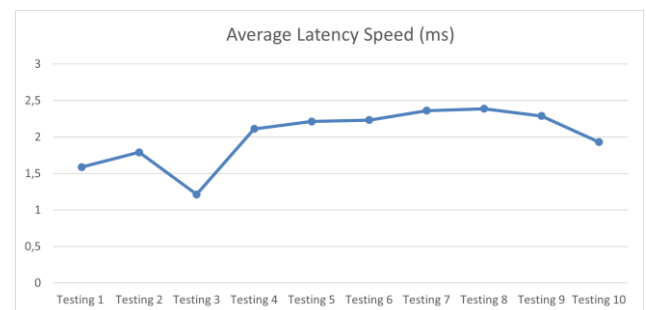
Testing	Transmission (Mbps)	Latency(ms)
Testing 1	0,0237	1,5884
Testing 2	0,0244	1,7913
Testing 3	0,0322	1,2137
Testing 4	0,0182	2,1120
Testing 5	0,0173	2,2124
Testing 6	0,0174	2,2338
Testing 7	0,0162	2,3624
Testing 8	0,0148	2,3887
Testing 9	0,0149	2,2892
Testing 10	0,0203	1,9310
Average	0,01994	2,01229

Dalam penelitian ini, Tabel 1. menunjukkan metode Modbus TCP/IP memberikan hasil yang menunjukkan nilai *Transmission speed* sebesar 0,01994 Mbps dan *Latency Speed* sebesar 2,01229 ms. Data ini dapat ditemukan dalam grafik yang memvisualisasikan kinerja sistem. *Transmission speed* mencerminkan seberapa cepat data dapat ditransmisikan melalui jaringan, sementara *Latency Speed* mengukur seberapa cepat sistem merespons perintah atau permintaan. Hasil ini memberikan wawasan yang penting terkait dengan efisiensi dan kinerja sistem menggunakan metode Modbus TCP/IP dalam konteks penelitian ini.



Gambar 4. Grafik Transfer Speed

Berdasarkan Gambar 4. penelitian ini memiliki rata-rata kecepatan transfer yang relatif rendah dengan metode Modbus TCP/IP, namun perlu ditekankan bahwa tingkat kecepatan tersebut masih memadai untuk memenuhi kebutuhan sistem. Meskipun tidak mencapai tingkat kecepatan yang tinggi, namun metode ini mampu memberikan keandalan dan stabilitas dalam mentransfer data. Oleh karena itu, aspek kecepatan yang lebih rendah dapat dianggap sebagai *trade-off*.



Gambar 5. Grafik Latency

Pada Gambar 5. latensi yang dihasilkan oleh metode Modbus TCP pada penelitian ini mencapai rata-rata 2,01229 ms, menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan respons yang relatif cepat terhadap permintaan dan perintah. Meskipun angka ini tidak mencapai tingkat latensi yang sangat rendah, namun tetap berada dalam batas yang dapat diterima untuk kebanyakan aplikasi industri. Kelebihan stabilitas dan konsistensi yang dimiliki oleh metode Modbus TCP/IP dapat mengkompensasi nilai latensi yang sedikit lebih tinggi, menjadikannya pilihan yang solid untuk sistem yang memprioritaskan keandalan dan ketahanan.

D. Pemantauan Objek dengan sistem Modbus TCP/IP

Dalam hasil pemantauan menggunakan sistem Modbus TCP/IP, terlihat bahwa objek dapat dideteksi dengan efektif. Perlu dicatat bahwa pada sistem ini, satu objek digunakan untuk menentukan jarak aman, sehingga jika ada banyak orang dalam satu frame kamera, orang yang paling dekat dengan kamera menjadi penentu kondisi pada sistem tersebut. Dengan kata lain,

jarak orang terdekat dengan kamera menjadi acuan untuk menentukan parameter keamanan pada sistem ini.

```
Response: WriteMultipleRegisterResponse (1002,5)
Safe
Send Coil data : 1
Send Coordinate data: 534
Send String data: Safe!
Response: WriteMultipleRegisterResponse (1000,1)
Response: WriteMultipleRegisterResponse (1001,1)
Response: WriteMultipleRegisterResponse (1002,5)
Safe
Send Coil data : 1
Send Coordinate data: 529
Send String data: Safe!
Response: WriteMultipleRegisterResponse (1000,1)
Response: WriteMultipleRegisterResponse (1001,1)
Response: WriteMultipleRegisterResponse (1002,5)
```

Gambar 6. Kondisi Aman

Melalui analisis nilai sistem dapat mengidentifikasi dan membedakan antara kondisi. Pada Gambar 6. menandakan kondisi aman (*safe*). Secara khusus, ketika kondisi aman atau peringatan terdeteksi, nilai *coil* tetap berada pada 1 atau benar, menandakan bahwa mesin masih beroperasi normal.

```
Send Coil data : 1
Send Coordinate data: 749
Send String data: Warning!
Response: WriteMultipleRegisterResponse (1000,1)
Response: WriteMultipleRegisterResponse (1001,1)
Response: WriteMultipleRegisterResponse (1002,8)
Warning
Send Coil data : 1
Send Coordinate data: 669
Send String data: Warning!
Response: WriteMultipleRegisterResponse (1000,1)
Response: WriteMultipleRegisterResponse (1001,1)
Response: WriteMultipleRegisterResponse (1002,8)
```

Gambar 7. Kondisi Peringatan

Pada Gambar 7. menandakan kondisi peringatan (*warning*) menandakan objek harus berhati-hati dan tetap menjaga jarak. Pada kondisi ini mesin dapat diinstruksikan untuk melambat atau berhenti sementara.

```
Send Coil data : 0
Send Coordinate data: 933
Send String data: Danger!
Response: WriteMultipleRegisterResponse (1000,1)
Response: WriteMultipleRegisterResponse (1001,1)
Response: WriteMultipleRegisterResponse (1002,7)
Danger
Send Coil data : 0
Send Coordinate data: 968
Send String data: Danger!
Response: WriteMultipleRegisterResponse (1000,1)
Response: WriteMultipleRegisterResponse (1001,1)
Response: WriteMultipleRegisterResponse (1002,7)
```

Gambar 8. Kondisi Bahaya

Pada Gambar 8. menandakan bahaya (*danger*). Dalam kondisi ini nilai *coil* menjadi 0 atau salah, mengindikasikan bahwa mesin akan berhenti beroperasi hingga objek berpindah ke kondisi yang berbeda. Dengan demikian, sistem ini berhasil memberikan respons yang sesuai terhadap perubahan kondisi objek dan mengamankan operasional mesin dengan efektif.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, metode Modbus TCP/IP memberikan nilai *Transmission speed* sebesar 0,01994 Mbps dan *Latency Speed* sebesar 2,01229 ms. Ditemukan bahwa metode ini memiliki beberapa kelebihan, meskipun demikian,

nilai *Transmission speed* dan *Latency Speed* tersebut perlu dievaluasi dalam konteks spesifik kebutuhan sistem. Kecepatan transfer yang relatif rendah dapat mempengaruhi respons sistem terhadap permintaan, sementara latensi yang cukup rendah dapat menunjukkan kinerja yang baik dalam menanggapi instruksi. Oleh karena itu, pemilihan metode Modbus TCP/IP harus dipertimbangkan dengan cermat sesuai dengan kebutuhan aplikasi dan kondisi lingkungan penggunaannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari *Project Based Learning* (PBL) pada Program Studi Diploma 4 Teknik Robotika, Politeknik Negeri Batam. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Batam dan Bareleng Robotics and Artificial Lab (BRAIL) yang telah menyediakan fasilitas dan sumber daya untuk melakukan penelitian.

REFERENSI

- [1] M. Javaid, A. Haleem, R. P. Singh, and R. Suman, "Substantial capabilities of robotics in enhancing industry 4.0 implementation," *Cogn. Robot.*, vol. 1, pp. 58–75, 2021.
- [2] N. Dutta, K. Tanchak, and K. Delvadia, "Modern methods for analyzing malware targeting control systems," *Recent Dev. Ind. Control Syst. Resil.*, pp. 135–150, 2020.
- [3] I. Siniosoglou, P. Radoglou-Grammatikis, G. Efstathiopoulos, P. Fouliras, and P. Sarigiannidis, "A Unified Deep Learning Anomaly Detection and Classification Approach for Smart Grid Environments," *IEEE Trans. Neww. Serv. Manag.*, vol. 18, no. 2, pp. 1137–1151, 2021, doi: 10.1109/TNSM.2021.3078381.
- [4] K. Nguyen Tan and T. Tran Ho Thuy, "An Integrated Data Collection and Remote Monitoring of Power Transmission Grid Using Internet of Things (IoT)," in *Proceedings of the 4th International Conference on Future Networks and Distributed Systems*, 2021. doi: 10.1145/3440749.3442658.
- [5] P. Lou, S. Liu, J. Hu, R. Li, Z. Xiao, and J. Yan, "Intelligent Machine Tool Based on Edge-Cloud Collaboration," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 139953–139965, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3012829.
- [6] H. Kayan, M. Nunes, O. Rana, P. Burnap, and C. Perera, "Cybersecurity of Industrial Cyber-Physical Systems: A Review," *ACM Comput. Surv.*, vol. 54, no. 11s, Sep. 2022, doi: 10.1145/3510410.
- [7] B. U. Deveci, H. Bas, E. Ummak, O. Albayrak, and P. Unal, "A Thorough Analysis and Comparison of Data Communication Protocols Used in Industry 4.0: the Case of Smart-CNC," in *2022 9th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*, 2022, pp. 199–206. doi: 10.1109/FiCloud57274.2022.00034.
- [8] S. Figueroa-Lorenzo, J. Añorga, and S. Arrizabalaga, "A Survey of IIoT Protocols: A Measure of Vulnerability Risk Analysis Based on CVSS," *ACM Comput. Surv.*, vol. 53, no. 2, Apr. 2020, doi: 10.1145/3381038.
- [9] B. Phillips, E. Gamess, and S. Krishnaprasad, "An Evaluation of Machine Learning-Based Anomaly Detection in a SCADA System Using the Modbus Protocol," in *Proceedings of the 2020 ACM Southeast Conference*, 2020, pp. 188–196. doi: 10.1145/3374135.3385282.
- [10] G. Yadav and K. Paul, "Architecture and security of SCADA systems: A review," *Int. J. Crit. Infrastruct. Prot.*, vol. 34, p. 100433, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2021.100433>.
- [11] S. Jaloudi, "Communication protocols of an industrial internet of things environment: A comparative study," *Futur. Internet*, vol. 11, no. 3, p. 66, 2019.
- [12] D. Zaheri and M. H. Refan, "Design and Implementation of Modbus RTU/TCP to Profibus Gateway Using Raspberry Pi," in *2023 15th International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)*, 2023, pp. 109–113. doi: 10.1109/ICCAE56788.2023.10111395.
- [13] J. Onyiego, "Supervisory Control and Data Acquisition (Scada) System Live Memory Acquisition for the Modbus Protocol Forensics. A Case of the Petroleum Depots in Kenya," University of Nairobi, 2020.
- [14] I. González, A. J. Calderón, and J. M. Portalo, "Innovative Multi-Layered Architecture for Heterogeneous Automation and Monitoring Systems: Application Case of a Photovoltaic Smart Microgrid,"

- Sustainability*, vol. 13, no. 4, 2021, doi: 10.3390/su13042234.
- [15] M. Eckhart, A. Ekelhart, and E. Weippl, "Automated Security Risk Identification Using AutomationML-Based Engineering Data," *IEEE Trans. Dependable Secur. Comput.*, vol. 19, no. 3, pp. 1655–1672, 2022, doi: 10.1109/TDSC.2020.3033150.
- [16] C. Parian, T. Guldemann, and S. Bhatia, "Fooling the Master: Exploiting Weaknesses in the Modbus Protocol," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 171, pp. 2453–2458, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.04.265>.
- [17] H. H. Jasim, O. N. Ucan, O. Bayat, and A. H. Dakheel, "EVALUATION OF ETHERNET SERIAL PROTOCOL CONVERTER FOR SCADA SYSTEMS USING RASPBERRY PI," *Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2019.
- [18] F. Katulić, D. Sumina, S. Groš, and I. Erceg, "Protecting Modbus/TCP-Based Industrial Automation and Control Systems Using Message Authentication Codes," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 47007–47023, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3275443.
- [19] Y. Si, N. Korada, R. Ayyanar, and Q. Lei, "A High Performance Communication Architecture for a Smart Micro-Grid Testbed Using Customized Edge Intelligent Devices (EIDs) With SPI and Modbus TCP/IP Communication Protocols," *IEEE Open J. Power Electron.*, vol. 2, pp. 2–17, 2021, doi: 10.1109/OJPEL.2021.3051327.
- [20] T. Martins and S. V. G. Oliveira, "Enhanced Modbus/TCP Security Protocol: Authentication and Authorization Functions Supported," *Sensors*, vol. 22, no. 20, 2022, doi: 10.3390/s22208024.
- [21] W. You and H. Ge, "Design and Implementation of Modbus Protocol for Intelligent Building Security," in *2019 IEEE 19th International Conference on Communication Technology (ICCT)*, 2019, pp. 420–423. doi: 10.1109/ICCT46805.2019.8946996.
- [22] Y. Yuanyuan and C. Meng, "The design of adaptive communication frame supporting high-speed transmission based on Modbus protocol," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 183, pp. 551–556, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.02.096>.
- [23] K. Lamshöft and J. Dittmann, "Assessment of Hidden Channel Attacks: Targeting Modbus/TCP," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 53, no. 2, pp. 11100–11107, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.258>.
- [24] O. N. Nyasore, P. Zavorsky, B. Swar, R. Naiyeju, and S. Dabra, "Deep Packet Inspection in Industrial Automation Control System to Mitigate Attacks Exploiting Modbus/TCP Vulnerabilities," in *2020 IEEE 6th Intl Conference on Big Data Security on Cloud (BigDataSecurity), IEEE Intl Conference on High Performance and Smart Computing, (HPSC) and IEEE Intl Conference on Intelligent Data and Security (IDS)*, 2020, pp. 241–245. doi: 10.1109/BigDataSecurity-HPSC-IDS49724.2020.00051.
- [25] C. Xu *et al.*, "5G-Based Industrial Wireless Controller: Protocol Adaptation, Prototype Development, and Experimental Evaluation," *Actuators*, vol. 12, no. 2, 2023, doi: 10.3390/act12020049.

**FORMULIR LOGBOOK BIMBINGAN DAN PENGAJUAN
SEMINAR PROPOSAL/SIDANG TUGAS AKHIR***

Nama : Yeni Aryani
 NIM : 4222001005
 Pembimbing : Eko Rudiawan Jamzuri S.ST, M.Sc
 Judul : Implementasi Protokol Komunikasi Data Modbus TCP/IP pada Perangkat Kamera Cerdas Berbasis Raspberry Pi

No	Hari/Tgl	Rincian Kegiatan	TTD Pembimbing
1	07/09/2023	Menentukan judul topik Tugas Akhir	GL
2	14/09/2023	Mencari referensi topik dan riset mendalam	GL
3	21/09/2023	Melakukan bimbingan berkala & membahas kesulitan	GL
4	28/09/2023	Melakukan penelitian & membandingkan dengan topik lainnya	GL
5	05/10/2023	Memulai uji coba Modbus TCP/IP	GL
6	12/10/2023	Melakukan Integrasi antara Master & slave	GL
7	19/10/2023	Pertemuan terkait perkembangan penelitian	GL
8	26/10/2023	Melakukan desain Hardware & software penelitian	GL
9	02/11/2023	Melakukan uji coba sistem secara keseluruhan	GL
10	09/11/2023	Integrasi Modbus TCP terhadap pundatannya	GL
11	16/11/2023	Melakukan bimbingan & memperbaiki sistem	GL
12	23/11/2023	Finalisasi sistem & pengambilan data pengujian	GL
13	30/11/2023	Pembahasan evaluasi & kinerja yang dilakukan	GL
14	07/12/2023	Pembuatan buku Tugas Akhir & validasi dosen	GL

Berdasarkan hasil bimbingan yang telah dilaksanakan selama 1 bulan dan telah disetujui oleh dosen pembimbing, maka dengan ini saya mengajukan diri sebagai peserta Seminar Proposal /Sidang Tugas Akhir*.

Batam, 20 Desember 2023

Peserta



NIM: 4222001005