

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan jaringan komunikasi pada sistem kendali modern telah mendorong berkembangnya *networked control system* (NCS), yaitu sistem kendali yang memanfaatkan jaringan digital sebagai media pertukaran data antara sensor, pengendali, dan aktuator secara *real-time* sehingga proses pengendalian tidak lagi bergantung pada koneksi kabel secara langsung (*point-to-point*) [1]. Pendekatan ini memberikan berbagai keuntungan seperti fleksibilitas instalasi, efisiensi infrastruktur, kemudahan monitoring jarak jauh, serta integrasi sistem yang lebih baik dibandingkan sistem kendali konvensional [1].

Implementasi NCS saat ini banyak diterapkan pada berbagai sistem *real-time* seperti robotika, *industrial internet of things* (IIoT), kendaraan otomatis, *unmanned aerial vehicle* (UAV), dan sistem otomasi industri yang membutuhkan komunikasi data secara cepat dan efisien [2]. Akan tetapi, penggunaan komunikasi berbasis jaringan pada sistem kendali juga menimbulkan tantangan baru berupa *network-induced delay*, *jitter*, dan kemungkinan kehilangan paket data (*packet loss*) yang dapat mempengaruhi performa sistem kendali secara signifikan [3]. Pada sistem kendali tertutup, waktu tunda (*delay*) komunikasi dapat menyebabkan keterlambatan respons sistem sehingga meningkatkan *overshoot*, memperbesar *settling time*, memperlambat *rise time*, bahkan menyebabkan osilasi dan ketidakstabilan sistem apabila tidak ditangani dengan baik [4]. Alobaidy dan Awad (2023) menyatakan bahwa peningkatan beban jaringan dan jumlah *node* komunikasi dapat meningkatkan *overshoot*, *rise time*, dan *settling time* pada respons sistem kendali.

Selain permasalahan performa komunikasi, aspek keamanan data pada sistem NCS juga menjadi perhatian penting. Data kendali dan umpan balik (*feedback*) yang dikirim melalui jaringan memiliki risiko penyadapan, manipulasi data, maupun gangguan komunikasi dari pihak yang tidak berwenang. Serangan siber pada sistem kendali berbasis jaringan seperti *man-in-the-middle* (MitM) dan *false data injection* dapat mempengaruhi keamanan data dan menurunkan performa sistem secara langsung [5]. Oleh karena itu, diperlukan mekanisme keamanan

berbasis kriptografi yang mampu menjaga kerahasiaan (*confidentiality*) data tanpa mengurangi performa komunikasi *real-time* pada sistem kendali.

Salah satu algoritma kriptografi yang sesuai untuk komunikasi *real-time* adalah Salsa20. Salsa20 merupakan algoritma *stream cipher* ringan (*lightweight cryptography*) yang dirancang untuk menghasilkan proses enkripsi dengan kompleksitas komputasi rendah dan *throughput* tinggi [6]. Berbeda dengan beberapa metode enkripsi berbasis *block cipher*, Salsa20 bekerja secara kontinu terhadap aliran data sehingga mampu mengurangi beban komputasi (*computational overhead*) dan menghasilkan latensi komunikasi yang relatif rendah [7]. Karakteristik tersebut menjadikan Salsa20 sesuai diterapkan pada sistem yang membutuhkan komunikasi data cepat, efisien, dan stabil secara *real-time*. Hal ini penting pada sistem kendali *real-time* agar performa respons sistem dapat tetap terjaga.

Nguyen dkk. (2023) menunjukkan bahwa penerapan *encrypted control* pada sistem kendali kontinu dapat digunakan untuk meningkatkan keamanan komunikasi data pada sistem kendali tertutup. Namun demikian, *computational overhead* dan *delay* komunikasi akibat proses enkripsi-dekripsi dapat mempengaruhi dinamika sistem kendali tertutup yang sebelumnya telah disesuaikan pada kondisi komunikasi konvensional tanpa *delay* tambahan [4].

Berdasarkan penelitian sebelumnya, sebagian besar penelitian yang ada masih berfokus pada analisis pengaruh enkripsi terhadap performa sistem kendali tanpa mempertimbangkan perubahan karakteristik dinamika sistem dan strategi penyesuaian parameter *proportional-integral-derivative* (PID) akibat *delay* komunikasi terenkripsi. Di sisi lain, penelitian terkait kompensasi *delay* pada NCS umumnya belum mengintegrasikan mekanisme keamanan komunikasi berbasis enkripsi ke dalam sistem kendali secara langsung [10]. Hal ini menunjukkan bahwa kajian yang menggabungkan antara keamanan sistem, pengaruh *delay* akibat enkripsi, serta penyesuaian parameter PID akibat pengaruhnya masih relatif terbatas.

Saat ini, metode kendali dengan pengendali PID banyak digunakan karena memiliki struktur sederhana, mudah diimplementasikan, dan mampu memberikan performa kendali yang baik pada berbagai jenis objek kendali (*plant*) [8]. Namun

demikian, pada penerapan dan perancangan pengendali PID dengan sistem kendali langsung (*direct control*) belum tentu menghasilkan performa yang sesuai ketika diterapkan pada NCS dengan komunikasi terenkripsi. Alcaina dkk. (2019) menjelaskan bahwa *delay* komunikasi pada NCS dapat menyebabkan parameter PID yang diperoleh pada *direct control* tidak lagi menghasilkan performa yang optimal ketika diterapkan pada sistem berbasis jaringan. Akibatnya, perlu dilakukan penentuan ulang (*retuning*) terhadap parameter PID agar sistem dapat tetap stabil dan responsif meskipun terdapat gangguan *delay* akibat komunikasi nirkabel [10].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis pengaruh komunikasi terenkripsi Salsa20 terhadap karakteristik respons sistem pengendali PID berbasis NCS untuk pengendalian posisi sudut motor *direct current* (DC), serta *retuning* parameter PID untuk mengompensasi degradasi performa akibat *delay* komunikasi dan beban komputasi enkripsi. Analisis respons sistem akibat pengaruh enkripsi berfokus pada respons transien sistem seperti *delay time*, *rise time*, *peak time*, *overshoot*, *settling time*, dan *steady-state error*. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat serta kontribusi terhadap pengembangan sistem kendali yang tidak hanya aman pada sisi komunikasi data, tetapi juga memiliki performa kendali yang tetap optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penerapan enkripsi Salsa20 pada NCS terhadap performa respons sistem berdasarkan parameter *delay time*, *rise time*, *peak time*, *overshoot*, *settling time*, dan *steady-state error*?
2. Bagaimana menentukan kembali parameter PID yang sesuai untuk mengompensasi pengaruh komunikasi jaringan dan enkripsi sehingga karakteristik respons sistem mendekati *direct control*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Menganalisis pengaruh penerapan enkripsi Salsa20 pada NCS terhadap performa respons sistem berdasarkan parameter *delay time*, *rise time*, *peak time*, *settling time*, *overshoot*, dan *steady-state error*.
2. Menentukan kembali parameter PID yang sesuai agar karakteristik respons sistem pada kondisi komunikasi jaringan terenkripsi dapat mendekati *direct control*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa:

1. Memberikan informasi empiris mengenai pengaruh implementasi enkripsi Salsa20 terhadap karakteristik respons sistem kendali dan parameter jaringan pada NCS.
2. Menghasilkan parameter PID hasil *retuning* yang mampu memperbaiki karakteristik respons sistem pada kondisi komunikasi jaringan terenkripsi sehingga lebih mendekati *direct control*.
3. Menjadi referensi dalam pengembangan NCS yang memerlukan mekanisme pengamanan komunikasi dengan tetap mempertahankan performa respons sistem.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan masalah sebagai berikut :

1. Penelitian hanya menggunakan metode enkripsi Salsa20 tanpa memodifikasi struktur internal algoritma maupun pengujian ketahanan terhadap serangan siber secara kompleks (*cryptanalysis*).
2. Sistem fisis yang dikendalikan adalah posisi sudut Motor DC (bukan kecepatan), menggunakan *feedback* dari sensor posisi.
3. Penentuan parameter PID dilakukan menggunakan PID Tuner MATLAB untuk parameter awal dan metode penalaan eksperimental untuk memperoleh

parameter PID hasil *retuning*.

4. Pengujian dilakukan pada *transmission control protocol* (TCP) dan *user datagram protocol* (UDP) dalam jaringan lokal nirkabel (*wireless local area network* atau WLAN).
5. Analisis kinerja dibatasi pada parameter respons sistem yang meliputi *delay time*, *rise time*, *peak time*, *settling time*, *overshoot*, dan *steady-state error* serta parameter pendukung karakteristik jaringan berupa *round-trip time* (RTT), *bandwidth*, dan *throughput*.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan yang ingin dicapai, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas mengenai landasan teori pendukung yang digunakan dalam penyelesaian masalah pada tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI

Bab ini berisikan penjelasan mengenai metode yang mencakup diagram alir penelitian, prinsip kerja, alat yang digunakan, perancangan jaringan dan teknik pengujian yang dilakukan.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Bab ini berisikan informasi hasil dan pembahasan dari penelitian tugas akhir ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk penelitian selanjutnya