

Penggunaan Kit iTCLab sebagai Media Pembelajaran Sistem Dinamika dan Kontrol

The Use of iTCLab Kit as a Learning Media for Dynamic Systems and Control

¹Ahriyad Fachrezi*, ²Basuki Rahmat, ³Muhammad Risal

^{1,3}Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Handayani Makassar

²Program Studi Sistem Teknik Infomatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

^{1,3}Jl. Adiyaksa Baru No.1, Makassar, Indonesia

²Jl. Raya Rungkut Madya No.1, Surabaya, Indonesia

*e-mail: ahriyadf@gmail.com

(received: 26 July 2026, revised: 13 August 2025, accepted: 15 August 2025)

Abstrak

Kit Internet-Based Temperature Control Lab (iTCLab) merupakan alat bantu pembelajaran yang dirancang untuk memfasilitasi pemahaman konsep dasar dalam sistem dinamika dan kontrol, khususnya Pengontrol Proportional-Integral-Derivative (PID). Latar belakang penelitian ini adalah adanya kesenjangan antara pemahaman teoretis mahasiswa dan penerapannya pada sistem nyata, yang kerap menjadi hambatan dalam pembelajaran mata kuliah Sistem Dinamika dan Kontrol. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas penggunaan iTCLab dalam meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap teori dan aplikasi praktis kontrol PID. Metode penelitian meliputi tiga tahap: pengembangan modul pembelajaran, implementasi, dan evaluasi pada 30 mahasiswa Informatika. Pengukuran dilakukan melalui tes pengetahuan (pre-test dan post-test) dan kuesioner persepsi. Hasil menunjukkan peningkatan skor rata-rata dari 52,30 menjadi 76,48 (+46,26%, $p < 0,001$, Cohen's $d = 1,86$), serta penilaian positif pada aspek keterkaitan teori-praktik (4,30), kemudahan penggunaan (4,10), relevansi materi (4,40), dan kepuasan pembelajaran (4,20) pada skala 1–5. Temuan ini mengindikasikan bahwa iTCLab efektif dalam memperkuat pemahaman konseptual dan keterampilan teknis mahasiswa. Implikasi praktisnya, iTCLab layak diintegrasikan ke dalam Rencana Pembelajaran Semester (RPS) dan dikembangkan lebih lanjut untuk mendukung pembelajaran jarak jauh berbasis Internet of Things (IoT).

Kata kunci: iTCLab, dinamika, kontrol, PID

Abstract

The Internet-Based Temperature Control Lab (iTCLab) kit is a learning aid designed to facilitate understanding of basic concepts in dynamic systems and control, particularly Proportional-Integral-Derivative (PID) controllers. The background of this research is the gap between students' theoretical understanding and its application in real-world systems, which often poses a barrier in learning the subject of Dynamics and Control Systems. This study aims to evaluate the effectiveness of using the iTCLab in enhancing students' understanding of PID control theory and practical applications. The research methodology comprises three stages: development of learning modules, implementation, and evaluation involving 30 Computer Science students. Measurements were conducted through knowledge tests (pre-test and post-test) and perception questionnaires. The results showed an increase in the average score from 52.30 to 76.48 (+46.26%, $p < 0.001$, Cohen's $d = 1.86$), as well as positive evaluations in the aspects of theory–practice relevance (4.30), usability (4.10), relevance of materials (4.40), and learning satisfaction (4.20) on a scale of 1–5. These findings indicate that iTCLab is effective in strengthening students' conceptual understanding and technical skills. The practical implication is that iTCLab should be integrated into the Semester Learning Plan (RPS) and further developed to support Internet of Things (IoT)-based distance learning.

Keywords: iTCLab, dinamika, kontrol, PID

1 Pendahuluan

Kemajuan teknologi di era digital saat ini menuntut adanya metode pembelajaran yang mampu menjembatani antara teori dan praktik, terutama di bidang Teknik Elektro dan Informatika. Salah satu bidang yang menuntut pemahaman mendalam terhadap teori matematika dan aplikasinya dalam sistem nyata adalah sistem dinamika dan kontrol. Namun, dalam kenyataannya, banyak mahasiswa mengalami kesulitan dalam mengaitkan konsep teoritis dengan implementasi praktis di dunia nyata [1], [2]. Untuk mengatasi kendala tersebut, dikembangkanlah alat bantu pembelajaran berbasis Internet of Things (IoT) berupa Internet-Based Temperature Control Lab (iTCLab), yang menawarkan pendekatan pembelajaran eksperimental secara langsung, guna memperkuat pemahaman mahasiswa terhadap sistem kendali, khususnya pengontrol Proportional-Integral-Derivative (PID) [3], [4].

Kit iTCLab merupakan perangkat pembelajaran interaktif yang dirancang khusus untuk memperkenalkan konsep sistem kendali suhu berbasis IoT. Kit ini dilengkapi dengan mikrokontroler ESP32, dua elemen pemanas, LED indikator, serta dua sensor suhu. Mekanisme kerja kit ini didasarkan pada prinsip perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi dari elemen pemanas menuju sensor, sementara sebagian panas juga dipindahkan ke lingkungan [5], [6], [7]. Untuk mempertahankan suhu pada titik setel (setpoint) yang diinginkan, daya pemanas disesuaikan secara otomatis berdasarkan masukan dari sensor suhu. Penggunaan sistem ini memungkinkan mahasiswa untuk secara langsung mempraktikkan pengendalian suhu berbasis PID melalui eksperimen umpan balik dan antarmuka berbasis web atau aplikasi mobile [8], [9].

Selain sebagai sarana untuk memahami teknik kendali suhu, iTCLab juga memungkinkan mahasiswa mempelajari karakteristik sistem dinamika termal. Sistem ini dimodelkan berdasarkan hukum keseimbangan energi (energy balance law) dan direpresentasikan dalam bentuk model linier orde satu maupun orde dua untuk memudahkan proses analisis dan pengendalian [10], [11]. Proses pembelajaran ini tidak hanya melibatkan pemahaman konsep matematis, tetapi juga melatih keterampilan analisis sistem nyata dan penerapan algoritma kendali pada perangkat fisik.

Dengan pendekatan berbasis eksperimen dan teknologi terkini, iTCLab tidak hanya membantu mahasiswa dalam menghubungkan teori dan praktik, tetapi juga memperkenalkan mereka pada pengembangan sistem kendali berbasis Internet of Things yang relevan dengan kebutuhan industri modern. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi pemanfaatan kit iTCLab sebagai media pembelajaran praktis untuk mendalami sistem dinamika dan kendali suhu berbasis PID.

2 Tinjauan Literatur

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) telah mendorong lahirnya berbagai sistem otomatisasi, khususnya dalam hal pemantauan dan pengendalian suhu. Penelitian oleh Silalahi et al. [12] memperkenalkan sistem pemantauan suhu dan kelembaban untuk ruang produksi obat, menggunakan Arduino yang terhubung ke antarmuka berbasis web. Sistem ini mampu menyajikan data lingkungan secara real-time. Dalam konteks berbeda, Masrukin et al. [13] mengembangkan sistem inkubator otomatis berbasis mikrokontroler dan sensor DHT11, yang dapat menjaga suhu stabil untuk mendukung proses penetasan telur. Selain itu, Pramudito dan Rusimamto [14] menggunakan pendekatan logika fuzzy untuk mengatur suhu secara adaptif. Ketiga studi tersebut menitikberatkan pada fungsi otomatisasi, namun belum menjangkau aspek pendidikan praktis seperti yang diangkat dalam penelitian ini.

Pemanfaatan IoT juga tampak dalam sektor pertanian dan laboratorium. Oktaviani et al. [15] merancang sistem monitoring dan kontrol suhu udara untuk tanaman stroberi berbasis NodeMCU dan sensor suhu digital, yang mampu menjaga kestabilan suhu secara otomatis. Viko dan Suryadharma [16] mengaplikasikan ESP32 untuk memantau suhu pada inkubator mikroba dalam skala laboratorium. Meskipun kedua sistem telah menunjukkan efektivitasnya dalam lingkungan aplikasi tertentu, keduanya masih sebatas perangkat fungsional dan tidak dirancang sebagai media pembelajaran bagi peserta didik.

Implementasi lain tampak pada ranah smart home dan industri ringan. Mutaqin et al. [17] menggabungkan konsep rumah pintar dan energi hijau dalam sistem pengendalian suhu berbasis Arduino ESP32. Syafii et al. [18] menekankan pentingnya pengawasan suhu ruang server untuk mencegah kerusakan perangkat keras, sementara Wijaya dan Wellem [19] sistem yang dapat

<http://sistemasi.ftik.unisi.ac.id>

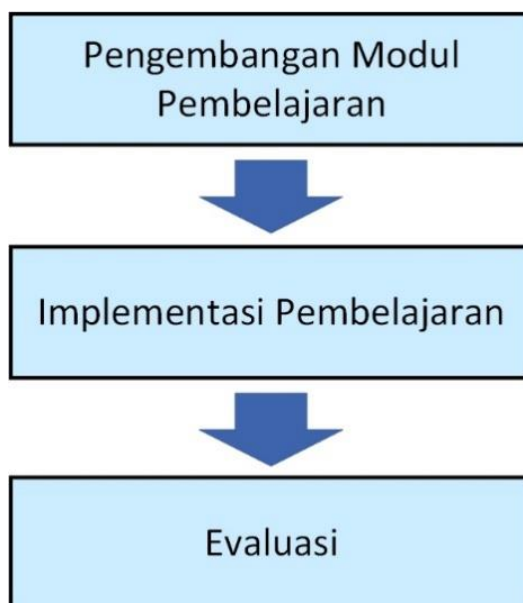
memantau suhu dan ketinggian air dalam akuarium secara bersamaan. Meski beragam dari sisi aplikasi, fokus dari penelitian-penelitian tersebut tetap pada fungsi kontrol dan pemantauan otomatis, bukan pada kegiatan pembelajaran interaktif atau eksploratif.

Berbeda dengan studi-studi terdahulu, penelitian ini secara khusus dikembangkan untuk mendukung pembelajaran teknik kontrol melalui serangkaian modul berbasis eksperimen langsung. Kit iTCLab digunakan sebagai media interaktif untuk memahami dinamika sistem dan algoritma kendali, termasuk kontrol PID. Mahasiswa tidak hanya memantau data, tetapi juga melakukan pengaturan, evaluasi, dan tuning parameter kontrol secara manual maupun otomatis. Proses pembelajaran ini menggabungkan teori, praktik, dan keterampilan pemrograman secara terpadu.

Oleh karena itu, kontribusi utama dari penelitian ini tidak hanya terletak pada implementasi teknologi, tetapi juga pada rancangan sistem pembelajaran yang kontekstual dan aplikatif. Dengan mengintegrasikan kendali berbasis PID dan teknologi IoT melalui pendekatan eksperimental, serta melibatkan algoritma pembelajaran mesin untuk tuning otomatis, penelitian ini mampu menjembatani kebutuhan kurikulum teknik dengan perkembangan teknologi industri yang dinamis.

3 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui tiga tahap utama, yaitu: Pengembangan Modul Pembelajaran, Implementasi Pembelajaran, dan Evaluasi, seperti diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Tahap penelitian penggunaan kit iTCLab sebagai media pembelajaran sistem dinamika dan kontrol

3.1. Pengembangan Modul Pembelajaran

Modul pembelajaran yang dirancang mencakup pemrograman sistem dinamika dan kontrol terutama Kontrol PID Berbasis Kit iTCLab. Pemrograman menggunakan Bahasa Pemrograman Arduino dan Python. Modul ini disusun sesuai dengan kebutuhan kurikulum Program Studi Informatika terutama untuk Mata Kuliah Mikrokontroller, 3 SKS. Berikut Gambar 2 adalah kit iTCLab.



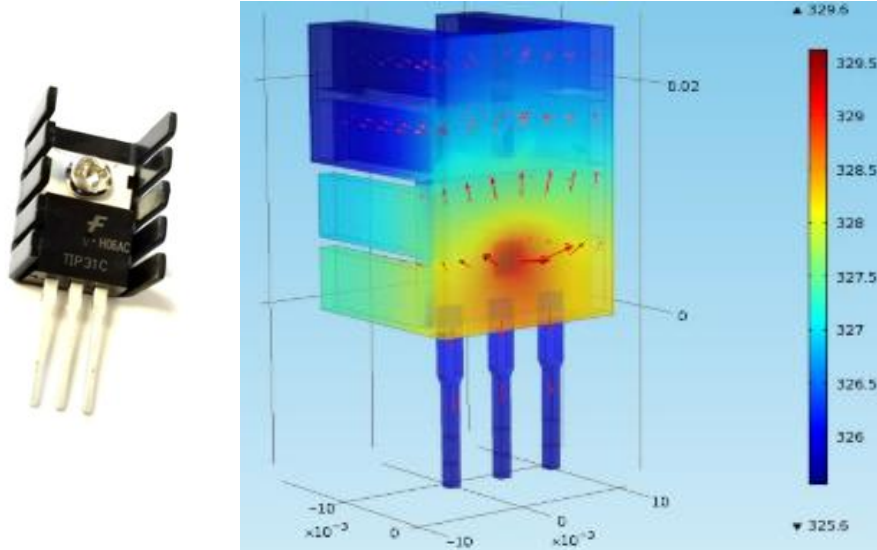
Gambar 2 Kit iTCLab

Modul Pembelajaran iTCLab sebagai Media Pembelajaran Sistem Dinamika dan Kontrol di Program Studi Informatika, terdiri dari 14 modul pembelajaran, yang terdiri dari:

1. iTCLab_Testing adalah program pengujian Kit iTCLab sederhana, untuk memperoleh nilai suhu terukur
2. PWM_Testing adalah program sederhana untuk menguji Modulasi Lebar Pulsa (PWM) dari Kit iTCLab.
3. Pengujian iTCLab Menggunakan Python
4. Simulasi PID Menggunakan Python Jupyter Notebook
5. Pemrograman PID-iTCLab Menggunakan Arduino
6. Pemrograman PID-iTCLab Menggunakan Python
7. Pemrograman PID-iTCLab Menggunakan GUI Python
8. Pemrograman Internet of Things (IoT) On/Off
9. Pemrograman Monitor Internet of Things (IoT)
10. Pemrograman Kontrol Internet of Things (IoT)
11. Pemrograman Gerbang XOR menggunakan Deep Learning
12. Penalaan Parameter PID Menggunakan Deep Learning
13. Penalaan Parameter PID Menggunakan Deep Learning pada Kit iTCLab
14. Penalaan Parameter PID pada Kit iTCLab dilengkapi Pemantauan Menggunakan Internet of Things (IoT)

Secara lengkap ke-14 Modul Pembelajaran Sistem Dinamika dan Kontrol Berbasis Kit iTCLab ini, dapat diakses melalui alamat: <https://github.com/bsrahmat>.

Pemodelan awal dilakukan dengan menurunkan model dinamis sistem menggunakan perkiraan nilai parameter. Tiga komponen utama dalam kendali loop tertutup iTCLab meliputi perangkat pengukuran (sensor suhu), aktuator (transistor), serta kemampuan pengendalian terkomputerisasi melalui antarmuka USB. Pada keluaran maksimum, transistor membuang daya sekitar 1 Watt ketika pemanas beroperasi pada 100%. Massa gabungan transistor dan heat sink bersirip diperkirakan sekitar 4 gram. Ilustrasinya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Pemanas iTCLab

Pemanas iTCLab memiliki kapasitas panas sebesar 500 J/kgK, dengan luas permukaan pemanas dan sensor sekitar 1,2 cm². Koefisien perpindahan panas konvektif untuk udara diam tercatat sekitar 10 W/m²K. Panas yang dihasilkan transistor dialirkan melalui perangkat terutama melalui mekanisme konveksi, meskipun radiasi juga berkontribusi. Faktor perpindahan panas secara radiasi dapat dimasukkan ke dalam model untuk menghitung proporsi panas yang hilang akibat konveksi dan radiasi. Efisiensi perpindahan panas meningkat melalui kopling termal yang menghubungkan kedua komponen. Rincian lengkap karakteristik pemanas iTCLab tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1 Karakteristik pemanas iTCLab

<i>Quantity</i>	<i>Value</i>
Initial temperature (T_0)	300.15 K (27°C)
Ambient temperature (T_∞)	300.15 K (27°C)
Heater output (Q)	0 to 1 W
Heater factor (α)	0.01 W/(% heater)
Heat capacity (C_p)	500 J/kg-K
Surface Area (A)	$0.12 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ (1.2 cm ²)
Mass (m)	0.004 kg (4 gm)
Overall Heat Transfer Coefficient (U)	10 W/m ² -K
Emissivity (ϵ)	0.9
Stefan Boltzmann Constant (σ)	$5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{-K}^4$

Selanjutnya dilakukan pemodelan dinamis untuk menganalisis hubungan antara daya yang diberikan ke transistor dan suhu yang terdeteksi oleh termistor. Proses ini diawali dengan penerapan prinsip keseimbangan energi sebagai dasar penurunan model, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$Mc_p \frac{dT}{dt} = \sum \dot{h}_{in} - \sum \dot{h}_{out} + Q \quad (1)$$

Istilah-istilah yang dibutuhkan untuk keperluan ini diperluas atau disederhanakan. Keseimbangan energi secara lengkap telah mencakup komponen konveksi dan radiasi. Persamaan (1) kemudian dikembangkan menjadi Persamaan (2) [12].

$$M c_p \frac{dT}{dt} = UA (T_{\infty} - T) + \epsilon \sigma A (T_{\infty}^4 - T^4) + \alpha Q \quad (2)$$

Parameter M merepresentasikan massa, c_p adalah kapasitas panas, T adalah suhu, U adalah koefisien perpindahan panas, A adalah area, T_{∞} adalah suhu sekitar, $\epsilon = 0,9$ adalah emisivitas, $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ adalah konstanta Stefan-Boltzmann, dan Q persentase keluaran pemanas. Nilai α digunakan sebagai faktor penghubung antara keluaran pemanas (0–100%) dan daya yang dilepaskan transistor dalam satuan Watt. Persamaan ini dapat diperluas untuk simulasi respons suhu yang dinamis karena adanya dorongan (mati, hidup, mati) pada keluaran pemanas. Biarkan pemanas hidup untuk waktu yang cukup untuk mengamati kondisi yang hampir stabil.

Pendekatan kedua dalam pemodelan sistem pemanas iTCLab dilakukan menggunakan model linear Orde Satu dengan Waktu Tunda atau First-Order Plus Dead-Time (FOPDT). Model ini merupakan deskripsi empiris yang umum digunakan untuk merepresentasikan berbagai proses dinamis yang stabil. FOPDT dimanfaatkan untuk menentukan konstanta awal dalam penalaan pengendali.

Parameter-parameter yang mempengaruhi keluaran dari sistem linear orde satu plus waktu tunda ini terdiri dari parameter gain K_p , konstanta waktu τ_p , dan waktu tunda θ_p . Persamaan FOPDT dinyatakan dalam bentuk.

$$\tau_p \frac{dy(t)}{dt} = -y(t) + K_p u(t - \theta_p) \quad (3)$$

Persamaan (3) memiliki variabel keluaran $y(t)$ dan masukan $u(t)$ dan tiga parameter yang tidak diketahui yaitu gain proses K_p , konstanta waktu τ_p , dan waktu tunda θ_p .

a. Gain proses K_p .

Gain proses adalah perubahan keluaran y yang diinduksi oleh perubahan satuan pada masukan u . Gain proses dihitung dengan menggunakan persamaan (4) yaitu cara mengevaluasi perubahan dalam $y(t)$ dibagi dengan perubahan $u(t)$ pada kondisi awal dan akhir kondisi tunak (*steady state*).

$$K_p = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{y_{ss2} - y_{ss1}}{u_{ss2} - u_{ss1}} \quad (4)$$

Gain proses mempengaruhi besarnya respon, terlepas dari kecepatan respon.

b. Konstanta waktu τ_p .

Pada persamaan (5) diberikan perubahan $u(t) = \Delta u$, solusi untuk diferensial orde satu linier (tanpa waktu tunda) menjadi.

$$y(t) = \left(e^{-\frac{t}{\tau_p}} \right) y(0) + \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_p}} \right) K_p \Delta u \quad (5)$$

Jika kondisi awal $y(0)=0$ dan pada $t=\tau_p$, maka solusinya disederhanakan sebagai persamaan (6) berikut:

$$y(\tau_p) = \left(1 - e^{-\frac{\tau_p}{\tau_p}} \right) K_p \Delta u = (1 - e^{-1}) K_p \Delta u = 0.632 K_p \Delta u \quad (6)$$

Maka konstanta waktu proses adalah jumlah waktu yang diperlukan untuk mencapai keluaran $(1-\exp(-1))$ atau 63.2% menuju kondisi tunak. Konstanta waktu proses mempengaruhi kecepatan respon.

c. Waktu tunda θ_p .

Waktu tunda dinyatakan sebagai pergeseran waktu yang terdapat didalam variabel input $u(t)$ pada persamaan (7).

$$u(t - \theta_p) \quad (7)$$

Misalkan sinyal masukan berbentuk fungsi step yang pada umumnya berubah dari nilai 0 menjadi 1 pada waktu $t=0$ tetapi pergeseran ini tertunda 5 detik. Fungsi masukan $u(t)$ dan fungsi keluaran $y(t)$ digeser waktunya 5 detik. Solusi persamaan diferensial orde satu dengan waktu tunda ditunjukkan pada Persamaan (8), yang diperoleh dengan mengganti seluruh variabel t dengan $t-\theta_p$ dan menerapkan hasil kondisional berdasarkan waktu tunda θ_p . Hubungan lengkap antara masukan dan keluaran setelah mengalami pergeseran waktu tersebut disajikan pada Persamaan (9).

$$y(t < \theta_p) = y(0) \quad (8)$$

$$Y(t \geq \theta_p) = \left(e^{-\frac{(t-\theta_p)}{\tau_p}} \right) y(0) + \left(1 - e^{-\frac{(t-\theta_p)}{\tau_p}} \right) K_p \Delta u \quad (9)$$

Pendekatan ketiga dalam pemodelan sistem pemanas iTCLab dilakukan menggunakan model linear Orde Dua dengan Waktu Tunda atau Second-Order Plus Dead-Time (SOPDT). Model linear orde dua dengan waktu tunda ini merupakan deskripsi empiris yang digunakan untuk merepresentasikan proses dinamis yang memiliki kemungkinan berosilasi.

Persamaannya.

$$\tau_s^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + 2\zeta \tau_s \frac{dy}{dt} + y = K_p u(t - \theta_p) \quad (10)$$

Persamaan (10) memiliki keluaran $y(t)$ dan masukan $u(t)$ dan empat parameter yang tidak diketahui. Keempat parameter tersebut adalah gain K_p , faktor redaman ζ , konstanta waktu orde dua τ_s , dan waktu tunda θ_p .

Sebagai alternatif dari pendekatan penyesuaian grafik respons model, dapat digunakan metode optimasi untuk menyelaraskan keluaran model SOPDT dengan data aktual. Tujuannya adalah meminimalkan total kesalahan kuadrat yang menyebabkan perbedaan antara model SOPDT dan data. Melalui algoritma optimasi, parameter disesuaikan agar cocok dengan data pada titik-titik waktu tertentu.

3.2. Implementasi Pembelajaran

Implementasi Pembelajaran atau proses pembelajaran Sistem Dinamika dan Kontrol Berbasis Kit iTCLab, disampaikan secara teori dan praktek. Teori yang disampaikan sesuai kebutuhan praktek berbasis ke-14 Modul Pembelajaran Berbasis Kit iTCLab. Diantaranya teori Mengenal Mikrokontroler ESP32 sebagai otak sistem kendali dari Kit iTCLab yang digunakan. Selanjutnya bagaimana memprogram berbasis Mikrokontroler ESP32 menggunakan Arduino dan Python. Kemudian teori atau konsep pengendalian berbasis PID. Termasuk bagaimana cara pemrograman pemantauan dan pengendalian berbasis PID, menggunakan Arduino dan Python. Selanjutnya bagaimana teori atau konsep pemantauan dan pengendalian PID secara jarak jauh menggunakan Internet of Things (IoT). Selanjutnya teori atau konsep bagaimana memahami cara pemantauan dan pengendalian PID menggunakan Kit iTCLab yang dilengkapi metode penalaan berbasis sistem cerdas terutama Deep Learning. Termasuk cara pemantauan dan pengendalian jarak jauhnya menggunakan Internet of Things (IoT).

Sedangkan untuk Praktek pembelajaran Sistem Dinamika dan Kontrol Berbasis Kit iTCLab, dilakukan secara berkelompok. Masing-masing kelompok dibekali dengan 1 modul Kit iTCLab.

Masing-masing kelompok harus menyelesaikan ke-14 Modul Pembelajaran Berbasis Kit iTCLab. Hasil dari prakteknya, masing-masing dilaporkan dalam bentuk LogBook, dan Laporan Kemajuan serta Laporan Akhir. Jika terdapat kendala, masing-masing kelompok, akan dibahas dan dicarikan solusi pada saat sesi kelas.

3.3. Evaluasi

Evaluasi dilakukan melalui presentasi progres masing-masing kelompok, di saat jadwal Evaluasi Tengah Semester (ETS) dan Evaluasi Akhir Semester (EAS). Masing-masing juga diperiksa sesuai LogBook dan Laporan Kemajuan, serta Laporan Akhirnya. Hal ini dilakukan untuk mengukur peningkatan pemahaman, serta menilai persepsi mahasiswa terhadap pembelajaran menggunakan Kit iTCLab.

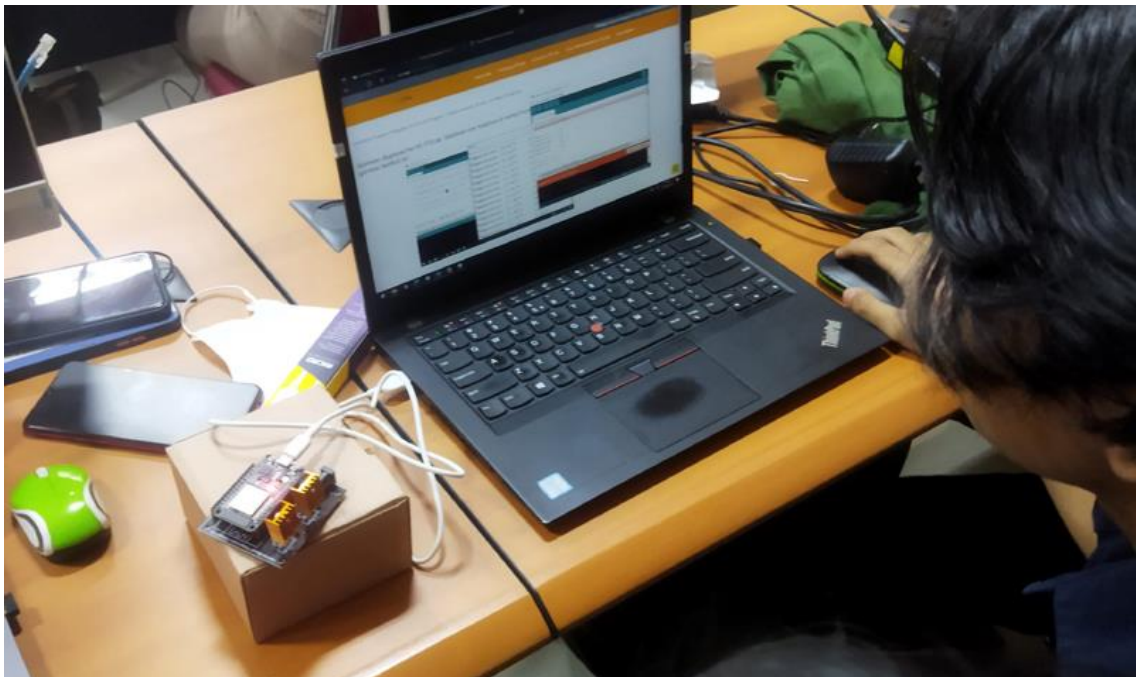
4 Hasil dan Pembahasan

Pelaksanaan pembelajaran Sistem Dinamika dan Kontrol berbasis Kit iTCLab dilakukan secara terintegrasi antara teori dan praktik melalui 14 modul pembelajaran. Modul tersebut mencakup pengenalan Mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, pemrograman menggunakan Arduino dan Python, penerapan kontrol PID, pemantauan dan pengendalian PID melalui antarmuka IoT menggunakan protokol MQTT, serta integrasi metode penalaan cerdas seperti Deep Learning. Penyusunan modul ini dirancang agar mahasiswa memperoleh pemahaman konseptual yang kuat sekaligus keterampilan praktis dalam mengoperasikan dan mengembangkan sistem kendali suhu.

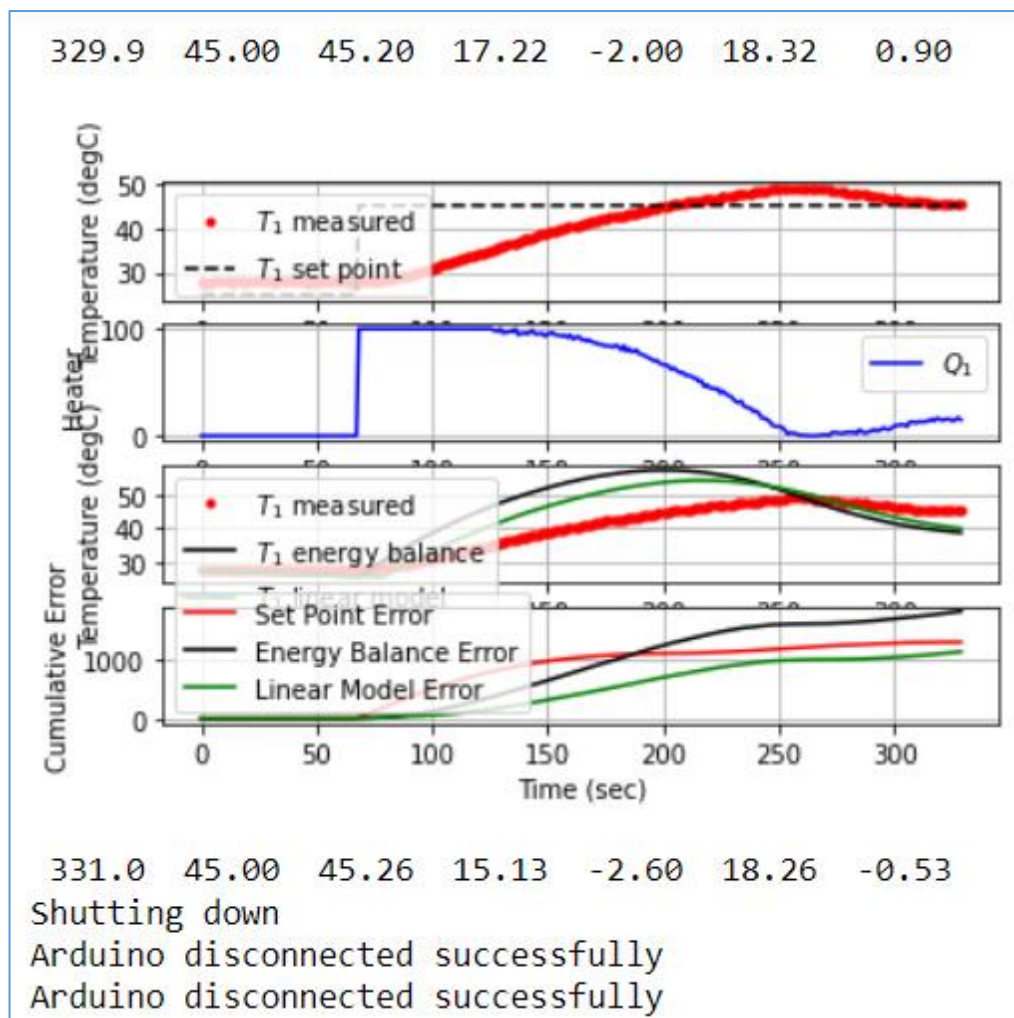
Praktikum dilaksanakan secara berkelompok, masing-masing dengan satu kit iTCLab. Seluruh kelompok diwajibkan menyelesaikan semua modul, mencatat hasil eksperimen dalam logbook, dan menyusun laporan akhir. Ilustrasi alur pembelajaran ditunjukkan pada Gambar 4, sedangkan Gambar 5 dan Gambar 6 memperlihatkan contoh keluaran eksperimen dan antarmuka IoT.

Hasil eksperimen pada Gambar 5 menunjukkan perbandingan antara keluaran pengendalian PID (garis merah) dengan model dinamis Keseimbangan Energi (garis hitam). Mahasiswa mempelajari dinamika sistem melalui simulasi model tersebut sekaligus mempraktikkan penalaan PID. Gambar 6 menampilkan antarmuka pada perangkat seluler untuk pemantauan dan penalaan parameter PID secara jarak jauh.

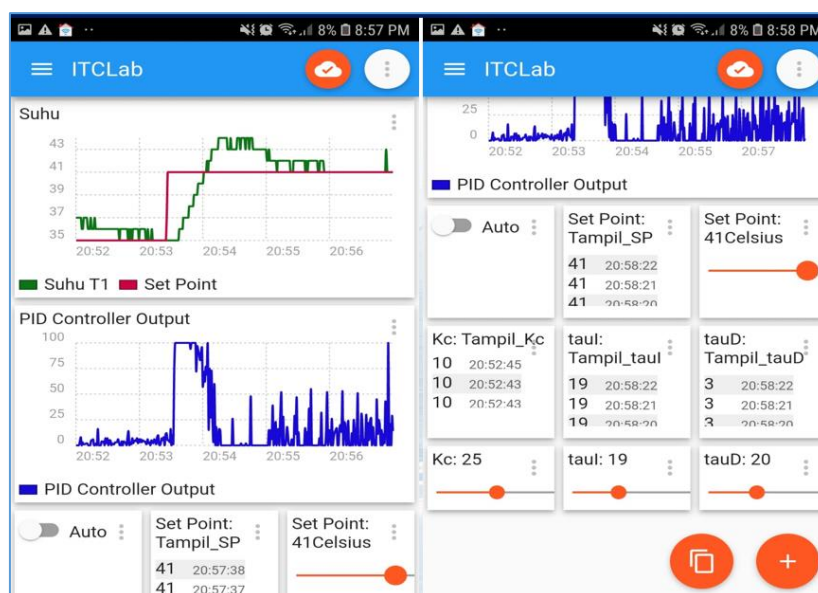
Efektivitas penggunaan Kit iTCLab dibuktikan melalui hasil tes pengetahuan (pre-test dan post-test), kuesioner persepsi, dan analisis tematik laporan praktikum.



Gambar 4 Gambaran pembelajaran berbasis Kit iTCLab



Gambar 5 Hasil pengendalian suhu PID-iTCLab via IoT



Gambar 6 Hasil pengendalian suhu PID-iTCLab via IoT

Rekapitulasi Skor Tes Pengetahuan (N = 30):

- Pre-test: rata-rata 52,30 (SD = 9,80)
- Post-test: rata-rata 76,48 (SD = 7,20)
- Peningkatan: +24,18 poin atau +46,26%
- Uji paired t-test: $t(29) = 10,20$, $p < 0,001$, Cohen's $d = 1,86$ (efek besar)

Hasil Kuesioner Persepsi Mahasiswa (skala 1–5):

- Keterkaitan teori–praktik: 4,30
- Kemudahan penggunaan kit: 4,10
- Relevansi materi: 4,40
- Kepuasan pembelajaran: 4,20
- Kepercayaan diri praktikum: 4,00
- Reliabilitas instrumen: Cronbach's $\alpha = 0,89$

Analisis Tematik Laporan Mahasiswa mengidentifikasi tiga temuan utama:

1. Pemahaman hubungan parameter PID dengan respons sistem meningkat setelah melakukan eksperimen dan penalaan.
2. Kemampuan menerapkan model FOPDT/SOPDT berkembang setelah proses fitting data dan perbandingan melakukan proses fitting data dan membandingkannya dengan hasil simulasi.
3. Keterampilan teknis pemrograman, dokumentasi, dan analisis data semakin baik melaluimeningkat seiring penyelesaian modul secara bertahap.

Data ini menunjukkan bahwa Kit iTCLab berkontribusi signifikan dalam peningkatan pemahaman konseptual dan keterampilan teknis mahasiswa.

Pemodelan awal menggunakan estimasi parameter fisik iTCLab, yang terdiri dari sensor suhu, aktuator transistor, dan kendali terkomputerisasi. Pada keluaran maksimum, transistor menghasilkan daya sekitar 1 Watt, dengan massa perangkat ± 4 gram. Karakteristik termal pemanas tercantum pada Tabel 1.

Dengan kapasitas panas 500 J/kg-K dan luas permukaan $\pm 1,2$ cm², perpindahan panas terjadi melalui konveksi dan radiasi. Model ini digunakan untuk mensimulasikan respons suhu terhadap masukan langkah.

Pendekatan FOPDT digunakan untuk memodelkan sistem sebagai proses dinamis stabil dengan parameter gain (K_p), konstanta waktu (τ_p), dan waktu tunda (θ_p). Pendekatan SOPDT digunakan untuk kondisi dengan osilasi, melibatkan parameter K_p , faktor redaman (ζ), konstanta waktu orde dua (τ_s), dan waktu tunda (θ_p). Hasil menunjukkan bahwa SOPDT memberikan MSE lebih rendah daripada FOPDT, sehingga lebih akurat untuk data dengan respon osilasi ringan.

Secara keseluruhan, hasil evaluasi membuktikan bahwa pembelajaran berbasis Kit iTCLab mampu meningkatkan pemahaman mahasiswa secara signifikan, baik secara kuantitatif melalui tes pengetahuan maupun kualitatif melalui persepsi mahasiswa dan analisis laporan. Implikasi praktisnya, Kit iTCLab layak diintegrasikan ke dalam RPS mata kuliah terkait, dengan potensi pengembangan untuk pembelajaran jarak jauh melalui antarmuka IoT.

Keterbatasan penelitian ini meliputi jumlah sampel yang terbatas, ketiadaan kelompok kontrol, durasi praktikum yang singkat, dan variasi perangkat keras antar kit. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan desain kuasi-eksperimental, memperpanjang durasi praktikum, serta menambahkan modul penalaan otomatis untuk memperkuat validitas dan generalisasi temuan. Dari Gambar 5, tampak dari keluaran hasil pengendalian PID berwarna merah, dapat dibandingkan dengan hasil keluaran menggunakan pemodelan dinamis Keseimbangan Energi (Energy Balance). Dari sini mahasiswa dapat belajar selain dinamika sistem berupa keluaran pemodelan dinamis Keseimbangan Energi, berwarna hitam. Mahasiswa juga belajar mengendalikan Kit iTCLab menggunakan sistem kontrol PID.

Dari Gambar 6, tampak tampilan di Telepon seluler, menggunakan modul IoT MQTT Panel. Dari sini, mahasiswa belajar praktek IoT, bagaimana melakukan pengaturan dan pemrograman berbasis IoT. Dimana hasil pembacaan sensor iTCLab ditampilkan di Telepon seluler. Selain itu, melalui Telepon seluler juga dapat dilakukan penalaan parameter PID dari jarak jauh, serta dilihat akibat perubahannya dapat dipantau juga melalui Telepon seluler.

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan implementasi pembelajaran Sistem Dinamika dan Kontrol menggunakan Kit iTCLab, diperoleh bukti kuantitatif bahwa media ini mampu meningkatkan pemahaman mahasiswa secara signifikan. Pengukuran dilakukan melalui tes pengetahuan sebelum dan sesudah pembelajaran, dengan rata-rata skor pre-test sebesar 52,30 (SD = 9,80) dan post-test sebesar 76,48 (SD = 7,20), sehingga terjadi peningkatan sebesar +24,18 poin atau +46,26%. Hasil uji paired t-test menunjukkan perbedaan signifikan ($t(29) = 10,20$, $p < 0,001$, Cohen's $d = 1,86$) yang mengindikasikan efek pembelajaran yang besar. Selain itu, data kuesioner memperlihatkan tingkat keterkaitan teori-praktik (4,30), kemudahan penggunaan kit (4,10), relevansi materi (4,40), kepuasan pembelajaran (4,20), dan kepercayaan diri praktikum (4,00) pada skala 1–5, dengan reliabilitas instrumen yang tinggi (Cronbach's $\alpha = 0,89$). Dengan integrasi pembelajaran teori dan praktik melalui 14 modul berbasis eksperimen langsung, mahasiswa tidak hanya memahami konsep sistem dinamika dan kontrol (terutama kontrol PID), tetapi juga menguasai keterampilan teknis seperti pemrograman Arduino dan Python, pemodelan FOPDT/SOPDT, serta pemantauan dan pengendalian berbasis IoT. Namun, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, antara lain ukuran sampel yang terbatas ($N = 30$), ketiadaan kelompok kontrol untuk perbandingan, durasi praktikum yang relatif singkat, serta perbedaan spesifikasi perangkat keras antar kit. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menerapkan desain kuasi-eksperimental dengan kelompok kontrol, memperpanjang periode praktikum, menambah variasi modul pembelajaran (terutama penalaan otomatis berbasis machine learning), dan memperluas penerapan ke mata kuliah lain yang relevan. Dengan demikian, Kit iTCLab terbukti efektif sebagai media pembelajaran yang menghubungkan teori dan praktik dalam penguasaan sistem dinamika dan kontrol, serta berpotensi untuk diadopsi secara lebih luas dalam kurikulum teknik maupun pelatihan industri.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Handayani Makassar dan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur atas dukungan sarana dan prasarana yang diberikan selama proses penelitian ini. Penghargaan yang setinggi-tingginya juga disampaikan kepada para dosen pembimbing atas bimbingan, motivasi, serta kontribusinya yang sangat berarti dalam penyusunan dan penyelesaian artikel ilmiah ini.

Referensi

- [1] B. Rahmat *et al.*, “iTCLab PID Control Tuning Using Deep Learning,” in *2023 IEEE 9th Information Technology International Seminar (ITIS)*, IEEE, Oct. 2023, pp. 1–4. doi: 10.1109/ITIS59651.2023.10420130.
- [2] B. Rahmat, M. Waluyo, and T. A. Rachmanto, “Temperature monitoring via the Internet of Things using PID-iTCLab,” in *Nusantara Science and Technology Proceedings*, 2023, pp. 197–203, doi: 10.11594/nstp.2023.3332.
- [3] B. Rahmat, M. Waluyo, and T. A. Rachmanto, “On/Off temperature monitoring and control via the Internet of Things using iTCLab Kit,” in *Nusantara Science and Technology Proceedings*, 2023, pp. 147–152, doi: 10.11594/nstp.2023.3325.
- [4] B. Rahmat, M. Waluyo, T. A. Rachmanto, M. I. Afandi, N. K. Sari, H. Widyantara, dan H. Harianto, “iTCLab Temperature Monitoring and Control System Based on PID and Internet of Things (IoT),” dalam *Food Sustainability, Environmental Awareness, and Adaptation and Mitigation Strategies for Developing Countries*, IGI Global, 2023, hlm. 199–210, doi: 10.4018/978-1-6684-5629-3.ch012.
- [5] S. Insuasti, J. L. Paredes and O. Camacho, "Controllers and Compensators Design for Undergraduate Control Students: Testing with TCLab Arduino kit," 2022 IEEE Sixth Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM), Quito, Ecuador, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/ETCM56276.2022.9935740.
- [6] G. Salazar, F. Rossomando and O. Camacho, "An Adaptive Neuro-Fuzzy PID Controller Approach for thermal Systems: An Experimental Validation," 2022 IEEE International

- Conference on Automation/XXV Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA), Curicó, Chile, 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICA-ACCA56767.2022.10006148.
- [7] S. S. Perez, A. Bedoya, D. A. Molina and O. Camacho, "Fuzzy Smith Predictor vs Smith Predictor: An experimental evaluation for a thermal process with dead time," 2022 IEEE Sixth Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM), Quito, Ecuador, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/ETCM56276.2022.9935744.
- [8] S. J. Kuntz and J. B. Rawlings, "Maximum Likelihood Estimation of Linear Disturbance Models for Offset-free Model Predictive Control," 2022 American Control Conference (ACC), Atlanta, GA, USA, 2022, pp. 3961-3966, doi: 10.23919/ACC53348.2022.9867344..
- [9] J. Park, R. A. Martin, J. D. Kelly, and J. D. Hedengren, "Benchmark temperature microcontroller for process dynamics and control," *Comput. Chem. Eng.*, vol. 135, p. 106736, 2020, doi: 10.1016/j.compchemeng.2020.106736.
- [10] B. Rahmat and M. Muljono, *Pemrograman Internet of Things (IoT) dengan Arduino dan Python Jilid 1*. Yogyakarta, Indonesia: Eureka Media Aksara, 2024.
- [11] B. Rahmat and M. Muljono, *Pemrograman Internet of Things (IoT) dengan Arduino dan Python Jilid 2*. Yogyakarta, Indonesia: Eureka Media Aksara, 2024.
- [12] F. D. Silalahi, J. Dian, and N. D. Setiawan, "Implementasi Internet of Things (IoT) dalam monitoring suhu dan kelembaban ruang produksi obat non steril menggunakan Arduino berbasis web," *JUPITER (Jurnal Teknik Elektro)*, vol. 10, Oct. 2021, doi: 10.5281/zenodo.3662.jupiter.2021.10.
- [13] S. M. Masrukin, A. I. Agung, N. Kholis, and M. S. Zuhrie, "Rancang Bangun Inkubator Penetasan Otomatis Guna Penyetabilan Suhu Dan Keberhasilan Penetasan Maksimal Berbasis Arduino Uno Dan Sensor DHT 11," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 11, no. 1, pp. 1-7, Jan. 2022. doi: 10.26740/jte.v11n1.p1-7.
- [14] A. Pramudito, P. R. Wanarti, M. Rohman, and L. A. Afiliati, "Analisis dan simulasi sistem kontrol suhu otomatis berbasis fuzzy logic," *J. Tek. Elektro*, vol. 14, no. 1, pp. 43–47, 2020, doi: 10.26740/jte.v14n1.p43-47."
- [15] A. M. Oktaviani and A. N. Yulkifli, "Rancang bangun sistem kontrol dan monitoring suhu udara pada smart farming stroberi berbasis IoT," *J. Fis. Unand*, vol. 5, no. 4, pp. 327–333, 2016, doi: 10.25077/jfu.5.4.327-333.2016.
- [16] B. Suryadharma and V. N. Ni'maturrakhmat, "OPEN ACCESS Integrasi IoT dalam Sistem Monitoring dan Kontrol Suhu Inkubator Mikroba Skala Laboratorium," vol. 4, no. 2, 2025, doi: 10.25047/plp.v4i2.6027.
- [17] M. Zaenal Mutaqin, M. Edra Favian, and Ade Kurniawan, "Sistem Smart Home Pemantauan dan Pengendalian Suhu Ruangan Menggunakan Arduino ESP32 Berbasis Green Energy," *JUPITER: Journal of Computer & Information Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 101–113, Aug. 2024, doi: 10.53990/jupiter.v5i2.355.
- [18] O. M. N. Syafii, I. R. I. Astutik, and H. Hindarto, "Penerapan Monitoring dan Controlling Suhu Ruang Server Berbasis Internet of Things (IoT)," *JURNAL MEDIA INFORMATIKA BUDIDARMA*, vol. 8, no. 1, p. 282, Jan. 2024, doi: 10.30865/mib.v8i1.7141.
- [19] P. Wijaya and T. Wellem, "Perancangan dan Implementasi Sistem Pemantauan Suhu dan Ketinggian Air pada Akuarium Ikan Hias berbasis IoT," *Jurnal Sistem Komputer dan Informatika (JSON)*, vol. 4, no. 1, p. 225, Oct. 2022, doi: 10.30865/json.v4i1.4539.