

## ANALISIS PERANGKAT *REFLOW* MESIN SOLDER BERBASIS KOMPOR LISTRIK MENGGUNAKAN METODE PID ZIEGLER-NICHLOS UNTUK PEMBUATAN ALAT NAVIGASI AIS

Ezra Adillafasyah Ahmada<sup>1</sup>, Afif Zuhri Arfianto<sup>2</sup>, Dimas Pristovani Riananda<sup>3</sup>  
Purwidi Asri<sup>4</sup>, Zindhu Maulana Ahmad Putra<sup>5</sup>, Ryan Yudha Adhitya<sup>6</sup>, Dwi Sasmita  
Aji Pambudi<sup>7</sup>,

125Teknik Otomasi, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia  
346Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia

Email korespondensi: ahmadaezra@gmail.com

### ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis performa mesin solder berbasis kompor listrik yang diatur menggunakan metode PID (Proportional-Integral-Derivative) Ziegler-Nichols untuk pembuatan perangkat navigasi AIS (Automatic Identification System). Penggunaan kompor listrik sebagai sumber panas menawarkan kontrol suhu yang presisi dan efisiensi energi. Untuk mencapai kestabilan dan akurasi suhu optimal, metode PID Ziegler-Nichols dipilih karena kemampuannya menentukan parameter kontrol optimal melalui prosedur sistematis yang efektif dalam berbagai aplikasi industri. Penelitian ini melibatkan perancangan dan pengembangan mesin solder, implementasi algoritma PID Ziegler-Nichols untuk pengaturan suhu, serta pengujian dan evaluasi performa mesin dalam berbagai kondisi operasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mesin solder dengan pengaturan PID Ziegler-Nichols mencapai kontrol suhu lebih akurat dan stabil dibandingkan metode konvensional. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan teknologi mesin solder yang lebih efisien dan ramah lingkungan serta menjadi referensi untuk pengembangan sistem kontrol suhu pada mesin industri lainnya.

**Kata kunci :** Mesin solder, PID; Ziegler-Nichols, Kontrol suhu, Teknologi solder.

### PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi telah menjadi pengaruh utama perubahan sosial, ekonomi, dan budaya. Dari revolusi industri hingga era digital, setiap tahap kemajuan teknologi mencerminkan upaya manusia untuk menjadikan dunia lebih efisien, lebih nyaman, dan lebih mudah dipahami. Dengan demikian, teknologi telah

menciptakan paradigma baru dan memperluas domain konvensional seperti komunikasi dan produksi. Salah satu bentuk kemajuan teknologi saat ini adalah perkembangan perangkat elektronika, yang terdiri dari berbagai jenis perangkat yang dapat digunakan oleh manusia sesuai dengan kebutuhan mereka. Proses penyolderan adalah tahap penting dalam pembuatan perangkat elektronika yang

berkontribusi terhadap kehidupan manusia dengan mendukung teknologi modern .

Dalam teknologi elektronika kontemporer, komponen *Surface Mount Device* (SMD) adalah komponen penting. Bentuknya yang datar dan padat memungkinkan penempatan yang lebih rapat, mendukung desain PCB yang lebih kecil dan efisien (Teknik Elektro *et al.*, n.d.). Karena dimensi dan berat komponen SMD yang kecil dan ringan, pemasangan banyak komponen SMD pada PCB dengan solder uap sangat sulit. Jika teknisi tidak melakukannya dengan benar, komponen-komponen tersebut mungkin terbang atau mengalami kerusakan fatal. Akibatnya, diperlukan perangkat yang dapat melakukan proses penyolderan dengan sempurna tanpa merusak komponen SMD.

Untuk mengatasi masalah dengan *solder blower*, penelitian ini melakukan analisa terhadap alat *reflow soldering machine* (Batubara *et al.*, n.d.). Kelebihan alat ini adalah dapat meningkatkan efisiensi saat *soldering* dan *desoldering*, serta membantu teknisi memasang komponen SMD yang sulit dengan meminimalkan kerusakan komponen atau jalur PCB. Alat *reflow* ini nantinya akan dilengkapi dengan pengaturan suhu, kompor listrik (*HOTPLATE*) dan waktu untuk memastikan timah pasta pada kaki komponen dapat matang dengan sempurna. Algoritma yang akan digunakan sebagai pengendali suhu adalah kendali PID (*Proportional, Integral, Derivative*). Komponen proporsional, integral, dan derivatif terdiri dari algoritma ini. Teknik kendali ini memiliki kelebihan karena konstruksinya yang sederhana dan perhitungan yang tergolong mudah namun efektif (Mila Diah Ika Putri *et al.*, 2022)(Akhyar *et al.*, 2022)(Nggala *et al.*, 2023).

Analisa pada perangkat *reflow soldering machine* dilakukan dengan melakukan pendekatan *transfer function* terhadap hasil keluaran alat, dan dilakukan proses analisa serta perhitungan manual pada konstanta PID Ziegler-Nichols yang paling sesuai dengan grafik hasil dari simulasi pada aplikasi MATLAB(Maulana & Teknologi Rekayasa

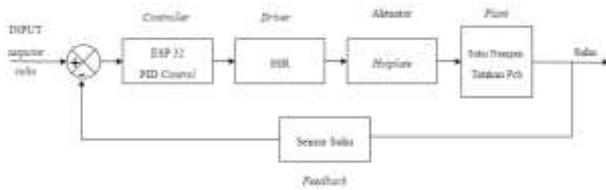
Instrumentasi dan Kontrol, 2022).

Aplikasi MATLAB menyediakan dua metode untuk menyelesaikan masalah program linear. Metode pertama melibatkan penggunaan command window di mana berbagai formula dapat diterapkan untuk mencari solusi. Metode ini memanfaatkan kemampuan interaktif MATLAB untuk melakukan perhitungan secara langsung. Metode kedua adalah dengan menggunakan Optimtool, sebuah alat bantu khusus di MATLAB yang dirancang untuk menyelesaikan masalah optimasi dengan lebih efisien. Optimtool menyediakan antarmuka yang user-friendly dan fitur-fitur canggih yang memudahkan pengguna dalam mengatur dan menyelesaikan berbagai persoalan program linear secara efektif. Kedua metode ini menawarkan fleksibilitas dan kemudahan bagi pengguna dalam menyelesaikan berbagai macam masalah program linear, mulai dari yang sederhana hingga yang kompleks (Febrianti & Harahap, 2021).

Tujuan dan manfaat penelitian ini adalah untuk mengembangkan perangkat yang memudahkan teknisi dalam melakukan *soldering* komponen SMD dengan efisien dan minim kerusakan . Penelitian ini bertujuan menganalisa pengaturan suhu kompor listrik menggunakan metode PID Ziegler-Nichols untuk mencapai kematangan timah yang tepat, dan memonitor suhu menggunakan sensor MAX6675 (Septiana *et al.*, 2019). Manfaatnya meliputi peningkatan efisiensi proses *soldering*, memberikan referensi pembelajaran bagi mahasiswa PPNS, serta sebagai dasar pengembangan penelitian dan produksi *hardware* di Laboratorium Komunikasi dan Navigasi PPNS.

## METODE PENELITIAN

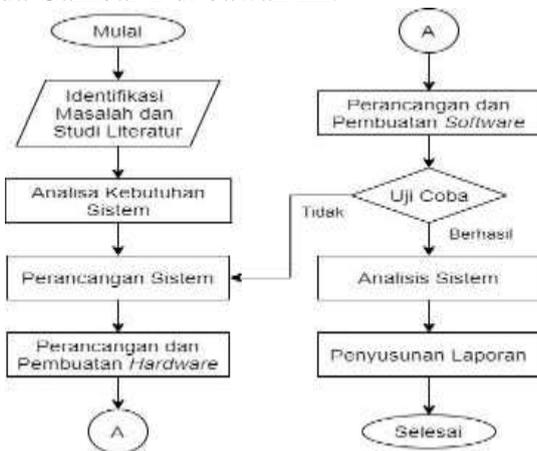
Konsep penelitian ini digunakan sebagai acuan atau landasan bagi penulis untuk menyelesaikan penelitiannya. Fokus dari penelitian ini adalah implementasi PID untuk SSR.



**Gambar 1.** Diagram Blok Konsep Penelitian  
(Sumber: Dokumen Peneliti, 2023)

Berdasarkan diagram blok penelitian pada Gambar 1 hal yang harus dilakukan pada sistem PID adalah memberikan *input* berupa *setpoint* berupa suhu naman pada kompor listrik, kemudian *setpoint* tersebut diolah oleh kontroller ESP32. Kemudian mikrokontroller akan memberikan instruksi pada *driver* SSR sebagai *driver* dari aktuator kompor listrik. Oleh karena itu *feedback* dari sensor suhu diperlukan untuk mendeteksi adanya *error*. Nilai *error* yang terdeteksi akan kembali diolah oleh kontroller menggunakan metode PID. Kemudian akan menghasilkan keluaran yang akan menjadi *input trigger* yang akan mengatur kompor listrik.

Tahapan penelitian Tugas Akhir ini dilakukan dengan terencana yang disajikan pada Gambar 2 di bawah ini.



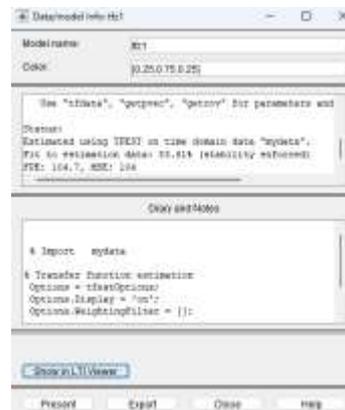
**Gambar 2.** Flowchart Tahapan Penelitian  
(Sumber: Dokumen Peneliti, 2023)

Pada gambar menunjukkan bahwa proses pertama adalah melakukan identifikasi masalah, untuk permasalahannya mengacu pada faktor optimalisasi SSR yang dikontrol melalui PID. Setelah mengetahui permasalahannya, selanjutnya melakukan studi literatur agar dapat memahami fokus permasalahan tersebut.

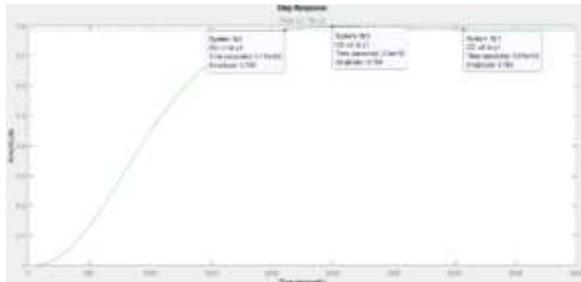
Selanjutnya yaitu tahap perencanaan dan desain sistem yang berfungsi agar penelitian yang dibuat sesuai dengan keinginan peneliti dan dapat bermanfaat untuk instansi. Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan alat dan dilanjutkan dengan pengujian alat. Jika pengujian gagal maka akan diuji hingga alat tersebut dapat bekerja dengan baik. Setelah itu dilakukan analisis data dari pengujian alat tersebut dan setelah pengujian selesai dilakukan penyusunan laporan.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mendapatkan model matematis atau yang biasa disebut Transfer Function yang sesuai, diperlukan data respons hotplate dari pengujian secara realtime. Data tersebut diperoleh melalui sensor suhu Max6675 yang memberikan monitoring suhu hotplate. Dalam analisis transfer function menggunakan system identification toolbox pada software MATLAB, data yang diperoleh dari pengujian mendapatkan hasil sampel output sebanyak 2294 data, dengan sampel waktu sebanyak 0.666 detik. Data yang dikumpulkan ini kemudian diolah untuk mendapatkan Transfer Function yang merepresentasikan karakteristik dinamis dari hotplate, memungkinkan perancangan kontrol yang lebih efisien dan efektif. Proses ini memastikan bahwa hasil yang didapatkan adalah representasi yang akurat dari sistem, memberikan wawasan yang mendalam tentang dinamika operasional hotplate secara keseluruhan.



**Gambar 3.** Pemodelan Transfer Function



**Gambar 4.** Step Respon Alat Pada Sistem Close Loop

$$\frac{3,21e-07 s + 1.208e-08}{s^3 + 0.006028 s^2 + 1.501e-05 s + 1.537e-08} \quad (1)$$

Pada tahap tuning Ziegler-Nichols 2, metode ini digunakan untuk sistem dengan fungsi *transfer* yang memiliki karakteristik integrator 1/s. Tujuan utamanya adalah mencapai stabilitas suhu dalam rentang 130°C - 170°C. Tahap awal eksperimen menentukan nilai Kcr dan Pcr dengan meningkatkan gain hingga sistem mencapai osilasi 100%, menandai titik batas kestabilan. Nilai Kcr, atau gain pada titik batas kestabilan, ditemukan sebesar 7.4 melalui grafik root locus. Selanjutnya, nilai Pcr, yaitu periode satu siklus grafik *transfer function*, dihitung menggunakan rumus  $2\pi/\text{frekuensi}$  pada titik batas kestabilan, menghasilkan nilai 1.506.

Dengan nilai Kcr dan Pcr, tuning dilakukan sesuai rumus pada tabel I. Referensi Ziegler-Nichols 2 di bawah ini:

**Tabel I.** Referensi Ziegler-Nichols 2

Tipe kontrol	Kp	Ti	Td
P	0.5Kcr	Infinity	0
PI	0.45Kcr	1/1.2 Pcr	0
PID	0.6Kcr	0.5Pcr	0.125Pcr

Untuk menentukan konstanta P pada sistem kontrol Proporsional dapat digunakan rumus Kp yang didapatkan dari tabel referensi Ziegler-Nichols 2. Perhitungan konstanta P dapat dilihat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} K_p &= 0.5 \times K_{cr} \\ K_p &= 0.5 \times 7.44 \\ \mathbf{K_p} &= 3.72 \end{aligned} \quad (2)$$

Untuk menentukan konstanta P dan I pada sistem kontrol Proportional-Integral metode

PID Ziegler-Nichols 2 dapat menggunakan rumus Kp-Ti-Ki perhitungan kontanta PI dapat dilihat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} K_p &= 0.45 \times K_{cr} \\ \mathbf{K_p} &= 0.45 \times 7.44 = 3.348 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} T_i &= \frac{1}{1.2} \times P_{cr} \\ \mathbf{T_i} &= 0.83 \times 1.506 = 1.250 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} K_i &= \frac{T_i}{K_p} \\ \mathbf{K_i} &= \frac{1.250}{3.348} = 373.3572 \end{aligned} \quad (5)$$

Untuk menentukan konstanta P dan D pada sistem kontrol Proportional-Derivatife dengan metode PID Ziegler-Nichols 2 dapat menggunakan rumus Kp-Td-Kd perhitungan kontanta PD dapat dilihat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} K_p &= 0.6 \times K_{cr} \\ \mathbf{K_p} &= 0.6 \times 7.44 = 4.464 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} T_d &= 0.125 \times P_{cr} \\ \mathbf{T_d} &= 0.125 \times 1.506 = 188.25 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} K_d &= T_d \times K_p \\ \mathbf{K_d} &= 188,25 \times 4.464 = 840.834 \end{aligned} \quad (8)$$

Langkah selanjutnya untuk menentukan konstanta P, I dan D pada sistem kontrol *Proportional-Integral-Derivatife* pada metode PID Ziegler-Nichols 2 dapat menggunakan rumus Kp-Ti-Td-Ki dan Kd perhitungan kontanta PID dapat dilihat sebagai berikut :

$$\mathbf{K_p} = 0.6 \times K_{cr} = 0.6 \times 7.4 = 4.44 \quad (9)$$

$$\mathbf{T_i} = 0.5 \times P_{cr} = 0.5 \times 1.506 = 0.753 \quad (10)$$

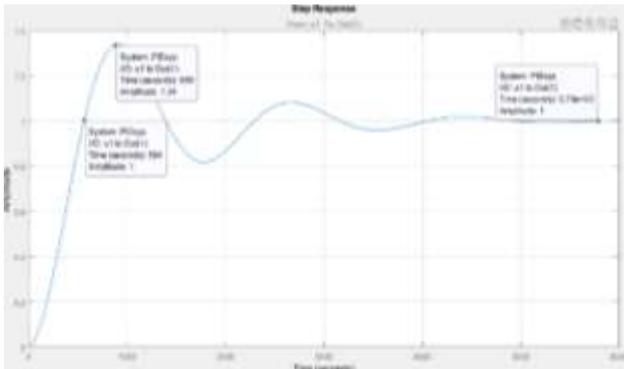
$$\begin{aligned} \mathbf{T_d} &= 0.125 \times P_{cr} = 0.125 \times 1.506 \\ &= 0.18825 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\mathbf{K_i} = \frac{T_i}{K_p} = \frac{0.753}{4.44} = 0.1696 \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{K_d} &= T_d \times K_p = 0.18825 \times 4.44 \\ &= 0.835 \end{aligned} \quad (13)$$

Sehingga didapatkan nilai Kp = 4.44, Ki = 0,1696, Kd = 0,835

Pada tahap simulasi tuning konstanta P, I dan D pada *software* MATLAB dilakukan penginputan hasil dari perhitungan 13 yang mengacu pada rumus tabel referensi Ziegler-nichols 2, kemudian hasil dari simulasi akan ditampilkan oleh *scope software* MATLAB, hasil dari simulasi konstanta P dan D dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Respon Sistem dengan Kontrol Proporsional Proporsional-Integral-Derivative

Hasil respon sistem PID menunjukkan bahwa sistem memiliki waktu naik (*rise time*) sebesar 564 detik, osilasi sebesar 34%, serta mencapai keadaan tunak (*steady state*) dengan nilai 1. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *steady state* adalah 5790 detik.

Berdasarkan tuning dengan menggunakan metode PID Ziegler-Nichols 2, ditemukan bahwa waktu naik (*rise time*) dioptimalkan menjadi hanya 28% dari respons yang diperoleh tanpa kontrol PID. Ini berarti bahwa sistem mencapai kondisi yang diinginkan jauh lebih cepat dibandingkan dengan ketika kontrol PID tidak diterapkan. Selain itu, sistem dengan

## KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan kontrol PID memberikan peningkatan yang signifikan pada respons sistem dibandingkan dengan kondisi tanpa kontrol PID. Penelitian ini mengungkapkan bahwa penggunaan metode PID berhasil mengoptimalkan waktu naik (*rise time*) menjadi hanya 28% dari respons yang diperoleh tanpa kontrol PID. Hal ini menunjukkan perbaikan substansial dalam kecepatan respon sistem. Selain itu, sistem yang menggunakan kontrol PID berhasil mencapai keadaan tunak (*steady state*) pada titik setel (*set point*) yang diinginkan, sesuatu yang tidak dapat dicapai oleh sistem tanpa ol .

Keberhasilan ini mengindikasikan bahwa

kontrol PID berhasil mencapai keadaan tunak (*steady state*) pada *set point* yang diinginkan. Sebaliknya, tanpa menggunakan kontrol PID, sistem tidak dapat mencapai *set point* tersebut, menunjukkan ketidakmampuan untuk mempertahankan kondisi yang diharapkan.

Hasil tuning ini sangat penting karena menunjukkan bahwa penerapan kontrol PID tidak hanya mempercepat waktu respon awal tetapi juga meningkatkan kemampuan sistem untuk mencapai dan mempertahankan kondisi stabil yang diinginkan. Ini sangat penting dalam berbagai aplikasi di mana presisi dan stabilitas adalah kunci keberhasilan. Dengan demikian, dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penerapan kontrol PID memberikan peningkatan signifikan pada respon sistem dibandingkan dengan kondisi tanpa kontrol PID. Sistem yang menggunakan kontrol PID tidak hanya lebih cepat dalam mencapai *set point*, tetapi juga lebih stabil dan dapat diandalkan dalam mempertahankan kondisi tersebut. Oleh karena itu, kontrol PID terbukti sebagai metode yang sangat efektif untuk meningkatkan kinerja keseluruhan sistem, menjadikannya pilihan yang lebih baik untuk aplikasi-aplikasi yang memerlukan presisi dan stabilitas tinggi.

kontrol PID tidak hanya mempercepat respon awal sistem tetapi juga memastikan bahwa sistem dapat mempertahankan titik setel dengan stabilitas yang lebih baik. Stabilitas yang ditingkatkan ini sangat penting untuk aplikasi yang memerlukan presisi tinggi. Dengan demikian, implementasi kontrol PID terbukti efektif dalam meningkatkan kinerja keseluruhan sistem. Ini menjadikannya pilihan yang lebih unggul untuk aplikasi yang memerlukan presisi dan keandalan tinggi. Kesimpulannya, penelitian ini menegaskan bahwa kontrol PID adalah solusi yang sangat efektif untuk memperbaiki respons dan stabilitas sistem secara keseluruhan.

Lebih lanjut, penelitian ini juga memperlihatkan bahwa kontrol PID mampu

mengurangi *overshoot* yang terjadi pada sistem tanpa kontrol. Pengurangan *overshoot* ini penting untuk menghindari ketidakstabilan dan osilasi yang tidak diinginkan dalam sistem. Hal ini menunjukkan bahwa kontrol PID tidak hanya meningkatkan respons awal tetapi juga meningkatkan kualitas keseluruhan dari sistem yang dikendalikan.

Implementasi kontrol PID juga terbukti efisien dalam menjaga konsistensi kinerja sistem di berbagai kondisi operasi yang berbeda. Hal ini menegaskan bahwa kontrol PID mampu beradaptasi dengan perubahan dinamis dalam sistem, memberikan fleksibilitas yang lebih besar dalam aplikasi praktis. Kemampuan untuk menyesuaikan diri dengan perubahan kondisi ini menunjukkan bahwa kontrol PID adalah pilihan yang sangat baik untuk sistem yang memerlukan kinerja stabil dalam berbagai situasi.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa kontrol PID memberikan manfaat yang signifikan dalam hal peningkatan respons sistem, stabilitas, efisiensi energi, dan adaptabilitas terhadap kondisi operasi yang berubah. Dengan semua keuntungan ini, kontrol PID merupakan pilihan yang sangat efektif dan efisien untuk berbagai aplikasi yang memerlukan kontrol presisi dan kinerja tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- J. Teknik Elektro, W. Muldayani, U. Jember, U. Jember Catur Suko Sarwono, U. Jember Sumardi, and I. Fibriani, 'Kontrol Adaptasi PID pada Solder Oven untuk Komponen SMD'.
- L. H. Nggala, N. Nachrowie, and S. Subairi, 'Implementasi Metode Proportional Integral Derivative (PID) Ziegler Nichols pada Kontrol Mesin Penyangrai Biji Kopi', *Energy - Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, vol. 13, no. 1, pp. 16–27, Jul. 2023, doi: 10.51747/energy.v13i1.1209.
- M. Akhyar, J. Teknik Elektro, and P. Negeri Lhokseumawe, 'RANCANG BANGUN MESIN PENGEPRES KOPI DENGAN MENGENDALIKAN SUHU MENGGUNAKAN METODE PID BERBASIS ATMEGA 2650', 2022.
- Mila Diah Ika Putri et al., '10773-36916-1-PB\_mila', 2022.
- N. H. Batubara et al., 'Copyright @ Efektivitas ContraFlux-FM dan Isopropyl Alcohol Pada Proses Preventive Maintenance Dari Mesin Reflow', [Online]. Available: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>
- R. Septiana, I. Roihan, and J. A. Karnadi dan Raldi Koestoer, 'Calibration of K-Type Thermocouple and MAX6675 Module With Reference DS18B20 Thermistor Based on Arduino DAQ', 2019.
- F. Maulana and P. Teknologi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol, 'RANCANG BANGUN KONTROL SUHU DAN KELEMBABAN PADA INKUBATOR ANAK AYAM', *JURNAL TEKRO*, vol. 06, no. 02, 2022.