



Prototipe Penjemur Pelepah Pinang berbasis Mikrokontroler dengan Sistem Kontrol Suhu PID

Roy Efendy Yusuf¹⁾, Misbah²⁾, Yoedo Ageng Surya³⁾

^{1,2,3)} Fakultas Teknik, Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Gresik

E-mail: roy.efendy1999@gmail.com

ABSTRAK

Pudak adalah makanan khas dari provinsi Jawa Timur yang berada di kabupaten Gresik terbuat dari pelepah pinang dengan proses pengolahan terlebih dahulu dijemur dan bergantung pada kondisi sinar matahari untuk proses pengeringannya. Proses penjemuran yang kurang baik mengakibatkan kualitas pelepah pinang kurang baik, selain rentan terhadap jamur proses pengeringan yang kurang optimal dapat membuat pudak cepat membusuk. Untuk mengatasi permasalahan pengeringan, maka dibuat prototipe guna menambah efisiensi dan produktivitas petani pelepah pinang. Proses kerja prototipe ini menggunakan inputan 3 sensor (Sensor DS18B20, Sensor LDR, sensor hujan) dan disertai pemanas/heater dengan sistem kontrol PID untuk menstabilkan suhu pada saat proses pengeringan. Berdasarkan hasil dapat disimpulkan bahwa sistem rancang bangun alat pengering pelepah pinang ini mampu memberikan solusi efektif dalam mempercepat proses pengeringan. Alat ini terbukti dapat mengeringkan pelepah pinang secara optimal dalam waktu relatif singkat, yaitu sekitar 20 jam. Sistem dilengkapi dengan kendali suhu berbasis metode PID menggunakan pendekatan tuning Ziegler–Nichols, yang menghasilkan parameter kontrol dengan nilai $K_p = 12,9$, $K_i = 1,22$, dan $K_d = 0,3$. Parameter tersebut mampu menghasilkan grafik tanggapan sistem yang stabil. Penerapan kendali PID dalam alat ini berkontribusi secara signifikan terhadap kualitas pelepah pinang yang dihasilkan, karena suhu pengeringan dapat dijaga pada titik setel (*setpoint*) 40°C secara konsisten. Hasil pemantauan proses pengeringan menunjukkan bahwa pelepah pinang dengan berat antara 250 hingga 500 gram dapat dikeringkan secara sempurna dalam durasi 20 jam.

Kata Kunci: DS18B20, LDR, PID, Pinang, PWM

ABSTRACT

Pudak is a typical food from the province of East Java, Gresik district in the form of a traditional cake that has a sweet taste and very suitable for souvenirs because this food does not spoil easily and can last a long time. For the process so that it can be used as packaging for pudak, first of all the areca nut fronds are dried in the sun and depend on sunlight conditions for the drying process. A poor drying process results in poor quality of areca fronds. Apart from being susceptible to fungus, a less than optimal drying process can make pudak rot quickly. To overcome the problem of drying, this research was made, in order to increase the efficiency and productivity of areca nut farmers. The working process of this prototype uses 3 input sensors (DS18B20 sensor, LDR sensor, rain sensor) and is accompanied by a heater with a PID control system to stabilize the temperature during the drying process. The results indicate that the design system for this areca nut frond dryer is able to provide an effective solution in accelerating the drying process. This tool is proven to be able to dry areca nut fronds optimally in a relatively short time, which is around 20 hours. The system is equipped with a PID-based temperature control method using the Ziegler–Nichols tuning approach, which produces control parameters with values of $K_p = 12.9$, $K_i = 1.22$, and $K_d = 0.3$. These parameters produce a stable system response graph. The application of PID control contributes significantly to the quality of the areca nut fronds produced because the drying temperature can be maintained at a set point of 40°C consistently. The results of monitoring the drying process show that areca nut fronds weighing between 250 and 500 grams can be dried perfectly in a duration of 20 hours.

Keyword: DS18B20, LDR, PID, Pinang, PWM

1. Pendahuluan

Pohon pinang dikenal sebagai tanaman multifungsi yang memiliki nilai guna tinggi di berbagai bidang kehidupan, seperti kesehatan, kerajinan, pangan, budaya, serta industri skala kecil dan besar. Komponen utama yang dimanfaatkan dari pohon ini adalah biji dan pelepah daunnya. Secara tradisional, pelepah daun pinang dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan, antara lain sebagai wadah ikan, bahan mainan anak-anak, bahan baku pembuatan mangkuk atau piring, serta sebagai pembungkus makanan tradisional seperti pudak. Pudak merupakan makanan khas dari Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Makanan ini berupa kue tradisional dengan cita rasa manis yang tahan lama dan tidak mudah basi, sehingga cocok dijadikan oleh-oleh. Keunikan pudak terletak pada kemasannya, yaitu menggunakan pelepah pinang sebagai pembungkus, yang memberikan aroma khas dan menambah daya tarik makanan tersebut. Namun, proses pengeringan pelepah pinang sebelum digunakan masih sangat bergantung pada kondisi cuaca, khususnya sinar matahari. Pengeringan yang tidak optimal dapat menurunkan kualitas pelepah, menyebabkan pertumbuhan jamur, dan mempercepat pembusukan pudak.

Menanggapi permasalahan tersebut, penulis merancang dan mengembangkan sebuah sistem penjemuran pelepah pinang otomatis berbasis mikrokontroler dengan kendali PID (*Proportional-Integral-Derivative*). Sistem ini bertujuan untuk menjaga kualitas pelepah pinang melalui pengaturan suhu yang stabil dan proses pengeringan yang efisien. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno, yang dikombinasikan dengan beberapa sensor, yaitu sensor DS18B20 untuk pengukuran suhu, sensor LDR untuk deteksi intensitas cahaya, dan sensor hujan untuk mendeteksi kondisi cuaca. Sensor LDR berfungsi untuk mengidentifikasi kondisi siang dan malam guna mengatur aktivasi elemen pemanas (*heater*). Saat intensitas cahaya menurun atau malam tiba, pemanas akan aktif secara otomatis. Sensor hujan akan mendeteksi tanda-tanda hujan dan mengaktifkan motor servo untuk menutup sistem pengering, sehingga pelepah tidak terkena air. Sementara itu, sensor suhu DS18B20 digunakan untuk membaca temperatur lingkungan, dan sistem kendali PID akan mengatur suhu secara otomatis agar tetap berada pada nilai optimal untuk proses pengeringan. Sistem yang dirancang ini tidak hanya menawarkan solusi berbasis teknologi tepat guna, tetapi juga menekankan pada efisiensi energi serta keberlanjutan. Kontrol PID memungkinkan sistem merespons perubahan suhu dengan cepat dan presisi, sehingga suhu pengeringan tetap terjaga pada titik optimal tanpa pemborosan energi. Selain itu, pengendalian suhu yang akurat mampu mencegah kerusakan pelepah yang disebabkan oleh suhu terlalu tinggi atau rendah, serta memperpendek waktu pengeringan.

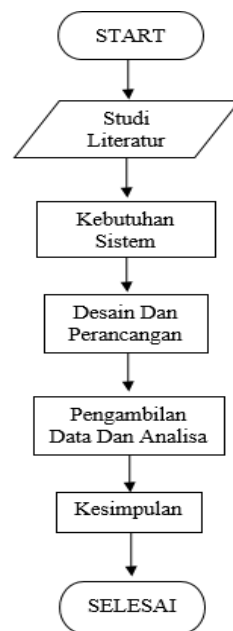
Penelitian ini merujuk dan melanjutkan pengembangan dari studi sebelumnya. Seperti yang dilakukan oleh Kalandro et al. dalam rancang bangun mesin pengering kulit pohon kina berbasis PID untuk stabilisasi suhu pengering [1], serta oleh Zulyanda et al. yang mengembangkan sistem pengeringan kulit sapi dengan kendali PID untuk menjaga kadar air tetap optimal [2]. Suzantry et al. juga menunjukkan bahwa penggunaan metode PID efektif dalam otomatisasi mesin pengering pelet berbasis kontroler Autronics TK4S [3]. Efektivitas PID juga terbukti dalam sistem oven pengering eceng gondok [4], pengering cat dengan sensor DHT22 [5], dan aplikasi lainnya seperti pengering batik [6]. Semua penelitian tersebut memperkuat landasan bahwa kendali PID sangat tepat untuk aplikasi pengeringan yang menuntut kestabilan suhu dan efisiensi proses.

Dengan merancang sistem penjemuran otomatis ini, diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas petani pelepah pinang, mengurangi ketergantungan terhadap cuaca, serta menjaga kualitas pelepah untuk pembungkus pudak agar tetap higienis dan tahan lama. Sistem ini juga menjadi solusi teknologi tepat guna dalam mendukung pelestarian makanan tradisional serta pemberdayaan sektor UMKM berbasis sumber daya lokal.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian ini diawali dengan kegiatan studi literatur, yaitu proses penelusuran dan pengumpulan informasi dari berbagai sumber relevan, seperti buku, jurnal ilmiah, artikel, dan data daring yang berkaitan dengan parameter-parameter yang digunakan dalam penelitian. Studi literatur ini bertujuan untuk memperoleh landasan teoritis yang kuat serta memahami perkembangan terkini dalam topik yang diteliti. Selain itu, proses ini diperkuat melalui diskusi dan konsultasi dengan dosen pembimbing serta pihak-pihak yang memiliki keahlian di bidang terkait, guna memperoleh masukan dan klarifikasi yang

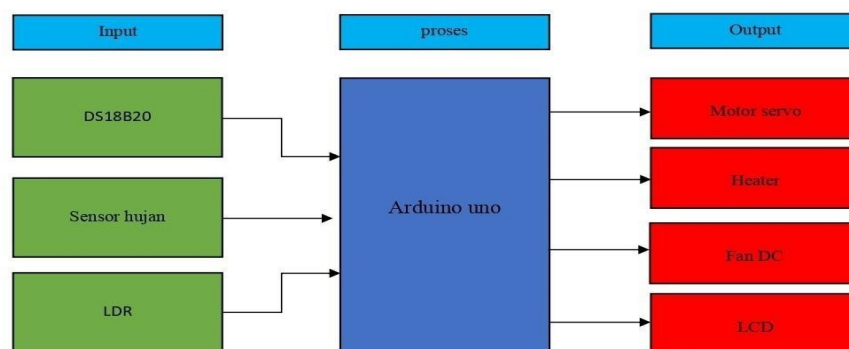
mendalam terhadap permasalahan penelitian. Alur pelaksanaan metode penelitian ini dapat dijelaskan secara sistematis melalui diagram alir (flowchart) yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

A. Perancangan Sistem

Tahap perancangan sistem mencakup penyusunan struktur sistem berdasarkan pemahaman terhadap konsep dasar, arsitektur sistem, serta teknologi yang akan diterapkan. Proses desain meliputi pemilihan komponen perangkat keras dan perangkat lunak, perancangan alur kerja sistem, serta penggambaran u diagram blok untuk memberikan gambaran visual mengenai cara kerja sistem yang dikembangkan. Tahapan ini berfungsi sebagai blueprint yang akan menjadi acuan dalam implementasi sistem secara teknis. Berikut penjabaran dari konsep rancangan dan rencana sistem. Pada tahap ini akan dilakukan perancangan sistem pengering pelepah pinang yang dilakukan oleh sensor DS18B20, sensor LDR, sensor hujan, dimana hasil pendeteksian akan ditampilkan pada LCD. adapun konsep awal dalam pembuatan prototype ini dapat dilihat pada Gambar 2.

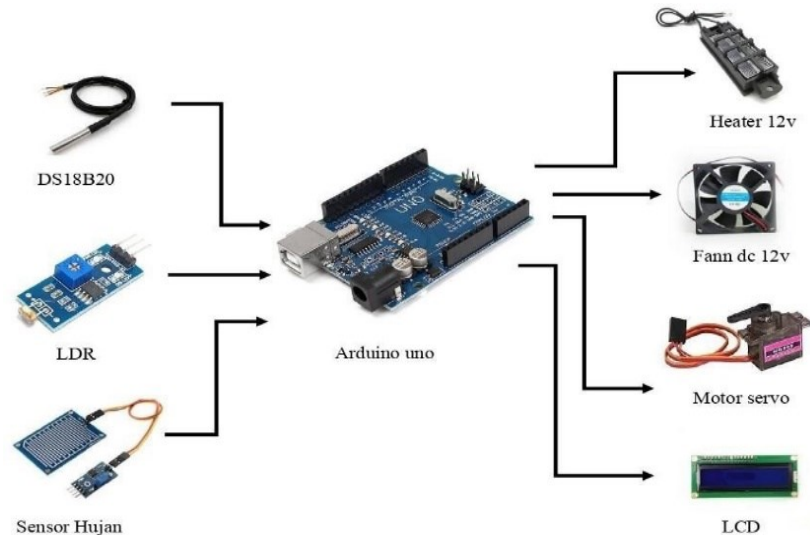


Gambar 2. Konsep Blok Sistem

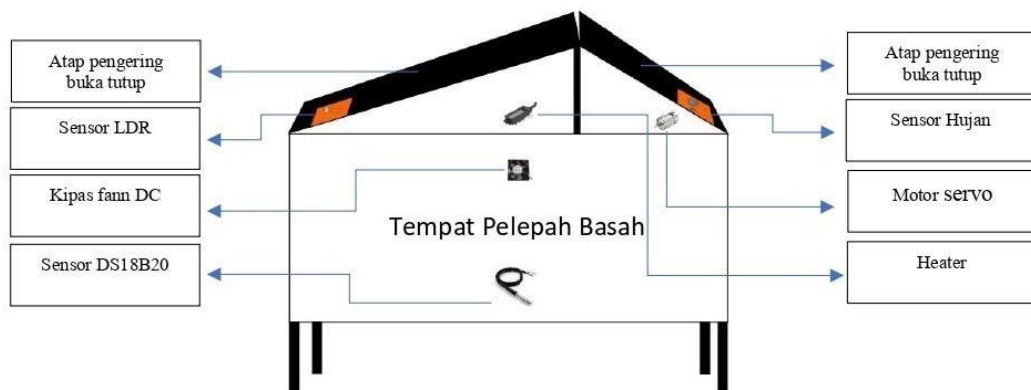
Dari Gambar 2 dapat dijelaskan bahwa dalam sistem ini menggunakan tiga masukan yang akan diproses sehingga menghasilkan tiga keluaran. Sensor DS18B20 adalah sensor Suhu yang akan monitoring, sensor hujan adalah sensor yang akan memonitoring cuaca, sedangkan sensor LDR adalah sensor untuk monitoring cahaya.

B. Konsep Hardware

Penelitian ini menggunakan sensor hujan sebagai pendeteksi cuaca dan sensor DS18B20 sebagai sensor suhu, dimana pada alat ini disertai *driver* untuk menerima *data pulse* dari arduino untuk mengaktifkan pemanas dan menggerakkan motor DC untuk sistem buka tutup. Desain *wiring hardware* dan desain *hardware* berturut-turut ditampilkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Desain Wiring Hardware



Gambar 4. Desain Hardware

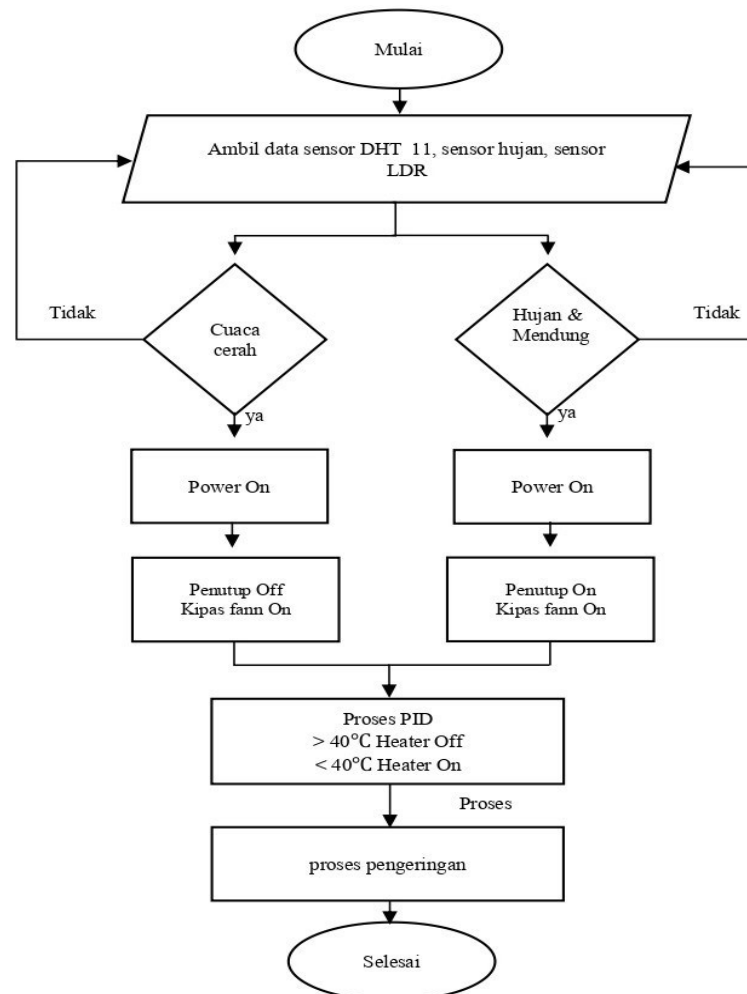
C. Proses Kerja Sistem

Proses kerja sistem secara keseluruhan dapat dilihat dari *flowchart* yang menggambarkan bagaimana prinsip kerja sensor dan aktuatornya. *Flowchart* sistem dapat dilihat pada Gambar 5.

Pada sistem ini, beberapa data masukan diproses secara otomatis oleh Arduino Uno untuk mengontrol proses pengeringan. Sensor suhu digital DS18B20 berfungsi mengukur temperatur lingkungan secara

akurat, sementara sensor hujan memantau kondisi cuaca selama proses pengeringan pelepeh pinang [6]. Data tersebut diolah menggunakan algoritma kontrol *Proportional-Integral-Derivative* (PID) agar suhu pemanas tetap stabil sesuai *setpoint*, yakni 40 °C. Ketika suhu di bawah ambang tersebut, PID akan mengaktifkan elemen pemanas; sebaliknya, saat suhu melebihi *setpoint*, elemen pemanas dimatikan, sehingga menjaga agar suhu tidak melampaui batas yang dapat merusak pelepeh [7]. Hasil pengukuran dan status sistem ditampilkan pada layar LCD, memberikan *feedback real-time* kepada pengguna.

Sistem juga dilengkapi mekanisme adaptif: apabila sensor hujan mendeteksi adanya pertanda hujan, penutup alat akan menutup secara otomatis untuk mencegah air masuk dan merusak bahan yang sedang dikeringkan. Setelah kondisi cuaca kembali normal, penutup akan kembali terbuka dan siklus pengeringan dijalankan dengan prinsip yang sama, menggunakan kontrol PID untuk menjaga kestabilan suhu [8]. Penggunaan sensor DS18B20 dalam berbagai aplikasi pengeringan berbasis Arduino telah terbukti efektif; misalnya, dalam pengering kopi otomatis, MAE hanya mencapai 0,375 % dan deviasi hanya 0,4316 % dibandingkan alat komersial [9], serta pada pengering anggur berbasis tenaga surya, sensor yang sama digunakan dalam mengatur aliran udara dengan kontrol PID [10]. Sistem ini mengintegrasikan sensor dan kontrol PID secara optimal, sehingga mampu menjaga kualitas pengeringan, meningkatkan efisiensi energi, serta menjaga keamanan material dari gangguan cuaca.



Gambar 5. Flowchart Sistem

D. Perencanaan Pengambilan dan Analisis Data

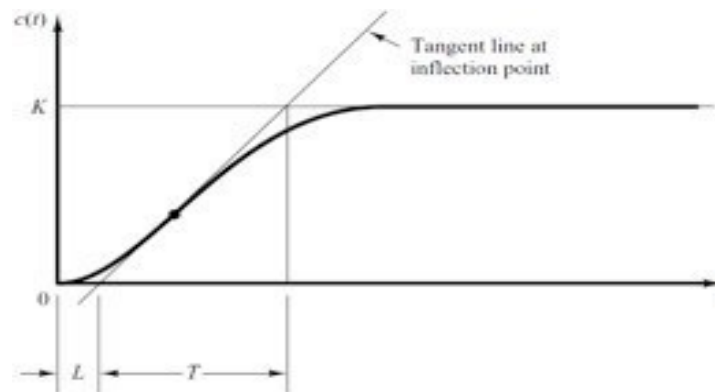
1. Pengambilan dan Analisis Pengujian Sistem PID dengan Metode Ziegler–Nichols

Pengujian sistem kendali PID dilakukan dengan metode tuning Ziegler–Nichols open-loop. Pendekatan ini dimulai dengan memberikan input berupa unit-step pada sistem (plant), yang menghasilkan kurva tanggapan berbentuk huruf S. Kurva ini memiliki dua parameter utama, yaitu waktu tunda (L) dan konstanta waktu (T), yang dapat diperoleh dengan menggambar garis singgung (tangensial) pada titik infleksi kurva. Perpotongan garis tangensial tersebut dengan sumbu waktu dan garis nilai keluaran $c(t)=Kc(t) = Kc(t)=K$ membentuk dasar untuk menghitung parameter kontrol PID, sebagaimana terlihat pada Gambar 6.

Berdasarkan bentuk kurva S tersebut, metode Ziegler–Nichols memberikan rumus empiris untuk menentukan parameter proporsional (K_p), integral (T_i), dan derivatif (T_d) seperti tercantum dalam Tabel 1. Karena sistem menggunakan konfigurasi kontrol PID paralel, maka parameter T_i dan T_d perlu dikonversi menjadi K_i dan K_d melalui persamaan (1) dan persamaan (2).

$$K_i = K_p/T_i \quad (1)$$

$$K_d = K_p/T_d \quad (2)$$



Gambar 6. Tanggapan Kurva S

Tabel 1. Aturan tuning Zigler-Nichols open loop

Tipe Kendali	K_p	T_i	T_d
P	T/L	∞	0
PI	$0,9T/L$	$L/0,3$	0
PID	$1,2T/L$	$2L$	$0,5L$

1. Pengambilan dan Analisis Pengujian Sensor DS18B20

Sensor DS18B20 digunakan untuk memantau suhu pemanas selama proses pengeringan berlangsung. Pengambilan data dilakukan untuk memastikan bahwa sensor ini dapat membaca suhu dengan akurat dan responsif. Setiap pengujian dilakukan pada titik *setpoint* tertentu, sesuai dengan kebutuhan suhu untuk pengeringan, termasuk aplikasi khusus seperti tinta sablon dengan warna berbeda. Dengan dukungan kontrol PID dan sinyal PWM, sistem diharapkan mampu mempertahankan suhu yang stabil sepanjang proses.

2. Pengambilan dan Analisis Pengujian Sensor Hujan

Sensor hujan berfungsi sebagai pendeteksi kondisi cuaca sekitar. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sensor mampu membedakan antara kondisi hujan dan tidak hujan selama proses penjemuran pelepah pinang. Sensor akan mengeluarkan nilai logika digital, yaitu 1 untuk kondisi tidak hujan dan 0 untuk kondisi hujan, sebagai dasar pengambilan keputusan oleh sistem untuk membuka atau menutup penutup pengering.

3. Pengambilan dan Analisis Pengujian Sensor LDR

Sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) berfungsi untuk mendeteksi intensitas cahaya. Tujuan pengujian sensor ini adalah memastikan bahwa sistem dapat mengidentifikasi siang atau malam hari berdasarkan

perubahan intensitas cahaya. Hasil pembacaan sensor dinyatakan dalam bentuk logika digital: 1 menunjukkan adanya cahaya (siang hari), dan 0 menunjukkan kondisi gelap (malam hari), yang kemudian digunakan untuk mengaktifkan elemen pemanas secara otomatis ketika intensitas cahaya menurun.

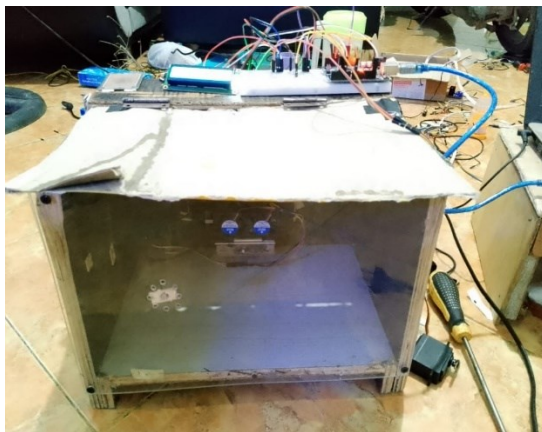
4. Pengambilan dan Analisis Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian menyeluruh dilakukan dengan menjalankan sistem prototipe secara utuh. Sistem terdiri dari sensor DS18B20 sebagai pengukur suhu, sensor hujan untuk mendeteksi kondisi cuaca, dan sensor LDR sebagai pendeteksi cahaya, yang semuanya dikendalikan oleh mikrokontroler dengan bantuan algoritma PID. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa seluruh komponen dapat bekerja secara sinergis dan sistem mampu mengontrol suhu secara otomatis dan efisien selama proses pengeringan pelepah pinang berlangsung.

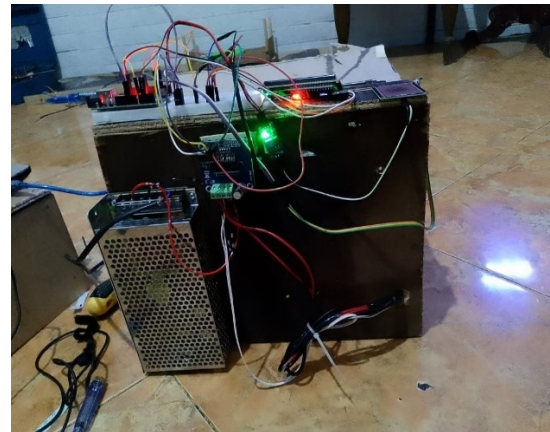
3. Hasil dan Pembahasan

A. Rancangan Alat

Rancangan sistem pada alat ini menggunakan mikrokontroler Arduino Uno dengan memakai sensor DS18B20 untuk membaca suhu yang di berikan sisitem PID. Alat ini dirancang menggunakan pengendali PID. Berikut rancangan alat yang sudah ditentukan ditampilkan pada Gambar 7.



(a)



(b)

Gambar 7. (a) Prototipe Pengereng Pelepah Pinang dan (b) Rangkaian Alat Pengereng Pelepah Pinang.

B. Pengujian Sensor

Pada tahapan ini melakukan sebuah pengujian pada komponen-komponen yang akan digunakan dalam penelitian alat penjemur pelepah pinang. Pengujian sensor dilakukan dengan melakukan pembacaan sensor dengan memberikan sebuah perintah pada mrikokontroler berupa pemrograman Bahasa C pada aplikasi pemrograman Arduino IDE, bertujuan untuk mengetahui nilai data-data yang dihasilkan pada sensor melalui sebuah mekrokontroller Arduino nano bahwa apakah sensor dapat bekerja dengan semestinya atau tidak. Tidak hanya itu, setelah didapat data-data hasil dari pembacaan sensor, perlu juga membuat sebuah perbandingan seperti perbandingan antara sensor suhu DS18B20 dengan thermometer agar dapat mengetahui nilai keakuratan nilai data sensor tersebut.

1. Kalibrasi Pembacaan Sensor DS18B20

Pengujian sensor DS18B20 ini yaitu melakukan kegiatan untuk mengetahui proses kerja sensor apakah dapat berjalan dengan baik sesuai denga napa yang kita inginkan atau tidak. Data tersebut digunakan sebagai nilai acuan untuk menjalankan sostem otomatis pada alat Penjemur Pelepah Pinang penelitian ini. Tahapan-tahapan pengujian yang dilakukan yaitu menjalankan sensor suhu

atau DS18B20 untuk mendapatkan data nilai suhu dan kelembaban kemudian data nilai suhu tersebut akan dibandingkan dengan termometer di suatu ruangan. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

2. Kalibrasi Sensor LDR

Pengujian sensor LDR atau sensor cahaya yaitu percobaan sensor LDR dengan meletakkan sensor pada kondisi cuaca tertentu seperti pada saat kondisi mendung, hujan, malam, atau pada saat cuaca cerah. Dengan begitu sensor LDR akan memberikan sebuah nilai data yang akan terbaca oleh mikrokontroller. Proses dan hasil kalibrasi ditampilkan pada Gambar 8(a) dan Tabel 3.

3. Kalibrasi Pembacaan Sensor Hujan

Pengambilan data dan analisa pengujian sensor hujan merupakan monitoring cuaca, dimana sensor ini berperan dalam memantau proses pengeringan, dimana pengujian yang dilakukan untuk mengetahui apakah sensor hujan bekerja apabila terjadi hujan atau tidak. Percobaan sensor hujan dengan cara meneteskan air 0.1 ml atau 0.2 ml pada sensor hujan sensor hujan akan membaca nilai 1 dan 0. Proses dan hasil kalibrasi ditampilkan pada Gambar 8(b) dan Tabel 4.

Tabel 2. Kalibrasi Sensor Suhu DS18B20

No	Nilai Termometer	Hasil pengukuran nilai termometer	Hasil pengukuran nilai sensor	Media pengukuran	Error
1.		34,5	33,5	Suhu Tubuh	0,031%
2.		32,8	32	Suhu Ruang 1	0,035%
3.		32,8	32,5	Suhu ruang 2	0,031%



(a)



(b)

Gambar 8. Pengujian Sensor (a) LDR (b) Hujan

Tabel 3. Kalibrasi Sensor LDR

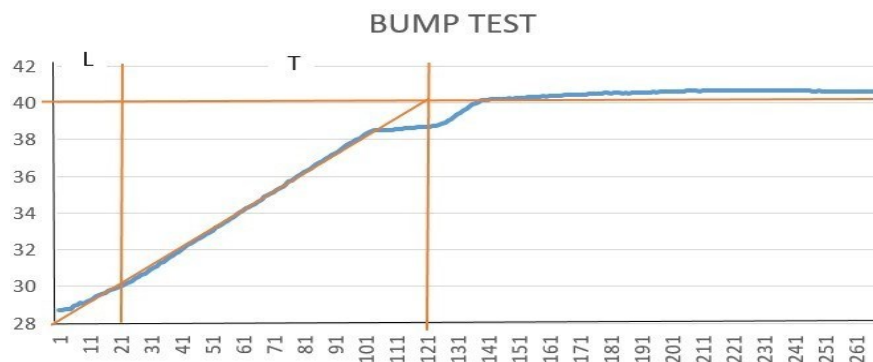
Kondisi Cuaca	Sensor Cahaya	Lux
Mendung	High	643
Malam	High	5
Siang	Low	1960

Tabel 4. Kalibrasi Sensor Hujan

No.	Jumlah Air Hujan (ml)	Sensor Hujan
1.	0,1 ml	High
2.	0,5 ml	Low
3.	1 ml	Low
4.	10 ml	Low

C. Pengujian Kendali PID

Kontrol PID digunakan untuk mengatur suhu elemen pemanas sesuai dengan referensi yang di inginkan sesuai inputan setpoint , penentuan parameter kontrol PID (K_p , T_i , T_d) dilakukan dengan eksperimen *bump test* dengan mengirimkan perubahan sinyal u (step) secara manual. Eksperimen pada perancangan ini dilakukan dengan mengirimkan nilai u dari 29° menjadi 40° yang ditunjukkan pada Gambar 9.

Gambar 9. Output Suhu dari Eksperimen *Bump Test*

Dari gambar diatas didapatkan nilai:

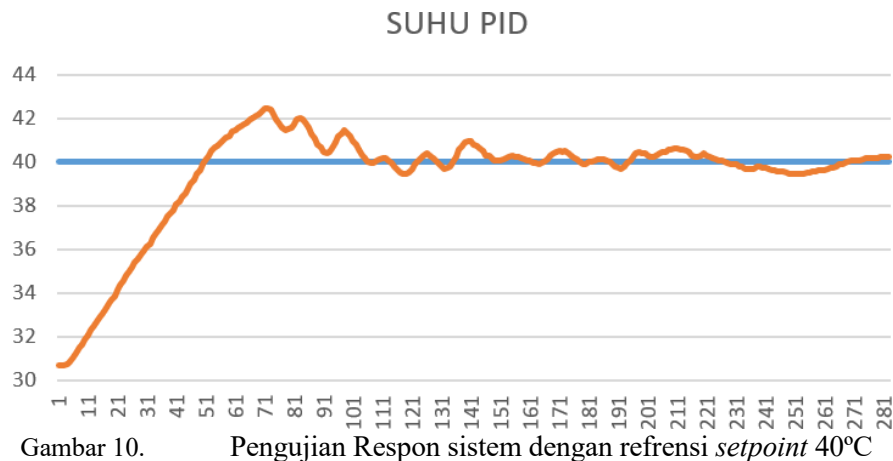
1. waktu keterlambatan (L) = 21
2. waktu transportasi(T) = 261

Maka berdaarkan Tabel 1 parameter K_p adalah $1,2 (T/L) = 12,9$, parameter T_i adalah $2L = 42$ dan parameter T_d adalah $0,5L = 10,5$. Berdasarkan persamaan (1) didapatkan nilai $K_i = K_p/T_i = 0,3$ dan berdasarkan persamaan (2) didapatkan nilai $K_d = K_p/T_d = 1,22$. Maka ditetapkan ketiga parameter PID ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Parameter PID

Parameter	Nilai
K_p	12,9
K_i	0,3
K_d	1,22

Dengan mengacu pada data perhitungan menurut teori ziegler-nichols, maka didapatkan grafik seperti Gambar 10. Dengan melakukan pengujian untuk mengatur setpoint 40°C sesuai refrensi yang di tetapkan, untuk mengetahui respon sitem alat ini bekerja dengan baik.



D. Pengujian *Output* Sinyal PWM

Pada pengujian pwm ini dilakukan dengan memprogram arduino untuk memberi sinyal *ke driver* PWM dengan menggunakan driver BTS7960, yang nantinya *driver* ini berperan dalam mengatur voltase dan arus yang dikeluarkan untuk memberi masukan ke elemen pemanas dan kipas, yang nantinya masukan tersebut dapat mnyesuaikan sesuai program PID yang telah di *setting* sebelumnya.

Tabel 6. Pengujian Kontrol PWM

No	Setpoint	Suhu	Output PWM
1	40°C	36,56	128,22
2	40°C	37,63	110,49
3	40°C	39,9	30,25
4	40°C	40,6	15,34
5	40°C	41,81	0,0
6	40°C	42,33	0,0

E. Pengujian Perbandingan Sistem PID dengan Metode Konvensional

Pada pengujian kali ini dilakukan mengambil pengujian sebanyak 10 kali dalam 3 kondisi, dimana pada pengambilan data ini waktu tetapkan selama 3 hari. Pengujian ini di lakukan sebagai pembanding antara metode konvensional dengan metode sistem PID.

Tabel 7. Pengujian Alat Pengering Pelepah Pinang Metode Konvensional

No	kondisi	Suhu	Sensor Hujan	Sensor LDR	Heater & kipas	Servo (penutup)	keterangan
1	Siang hari ke-1	33°C	High	Low	Mati	Terbuka	Kurang kering
2	Malam hari ke-1	28°C	High	High	Mati	Tutup	Kurang kering
3	Hujan hari ke-1	26°C	Low	High	Mati	Tutup	Kurang kering
4	Siang hari ke-2	35°C	High	Low	Mati	Terbuka	Kering

No	kondisi	Suhu	Sensor Hujan	Sensor LDR	Heater & kipas	Servo (penutup)	keterangan
5	Malam hari ke-2	28°C	High	High	Mati	Tutup	Kering
6	Hujan hari ke-2	26°C	Low	High	Mati	Tutup	Kering
7	Siang hari ke-3	35°C	High	Low	Mati	Terbuka	Kering
8	Malam hari ke-3	29°C	High	High	Mati	Tutup	Kering
9	Hujan hari ke-3	27°C	Low	High	Mati	Tutup	Kering

Dapat di lihat pada Tabel 7 dengan metode konvensional proses pengeringan membutuhkan waktu yang relatif lama dan itu pun perlu kondisi cuaca, sedangkan kondisi cuaca saat ini berubah-ubah.

Tabel 8. Pengujian Alat Pengering Pelepah Pinang Sistem PID

No	Kondisi	Suhu	Setpoint	PWM	Sensor LDR	Sensor hujan	Heater & kipas	Servo	Keterangan
1	Siang hari ke-1	33°C	40 °C	255	Low	High	Nyala	Terbuka	
2	Malam hari ke-1	28°C	40 °C	255	High	High	Nyala	Tutup	Kering
3	Hujan hari ke-1	26°C	40 °C	255	High	Low	Nyala	Tutup	
4	Siang hari ke-2	35°C	40 °C	255	Low	High	Nyala	Terbuka	
5	Malam hari ke-2	28°C	40 °C	255	High	High	Nyala	Tutup	Kering
6	Hujan hari ke-2	26°C	40 °C	255	High	Low	Nyala	Tutup	
7	Siang hari ke-3	35°C	40 °C	255	Low	High	Nyala	Terbuka	
8	Malam hari ke-3	29°C	40 °C	255	High	High	Nyala	Tutup	Kering
9	Hujan hari ke-3	27°C	40 °C	255	High	Low	Nyala	Tutup	

Monitoring juga dilakukan untuk menentukan tingkat kekeringan pada pelepah pinang yang baik. Dimana untuk hasil yang baik digunakan untuk kemasan pudak supaya tidak cepat busuk dikarenakan adanya kadar air yang banyak. Hasil monitoring ditampilkan pada Gambar 11 dan Tabel 9.



Gambar 11. Kondisi Berat Pelepah (a) Basah (b) Kering Sempurna

Tabel 9. Monitoring Pengeringan Pelepah Pinang

No	Berat Awal	Berat Akhir	Waktu	Keterangan
1	500 gr	411,6	6 jam	Masih basah
2	500 gr	337,3 gr	18 jam	Kurang kering
3	500 gr	330 gr	20 jam	Kering sempurna
4	300 gr	247,2 gr	6 jam	Masih basah

No	Berat Awal	Berat Akhir	Waktu	Keterangan
5	300 gr	202,7 gr	18 jam	Kurang kering
6	300 gr	198,6 gr	20 jam	Kering sempurna
7	250 gr	206 gr	6 jam	Masih basah
8	250 gr	168,9 gr	18 jam	Kurang kering
9	250 gr	165,5 gr	20 jam	Kering sempurna

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis yang telah dilakukan selama penelitian, dapat disimpulkan bahwa sistem rancang bangun alat pengering pelepah pinang ini mampu memberikan solusi efektif dalam mempercepat proses pengeringan. Alat ini terbukti dapat mengeringkan pelepah pinang secara optimal dalam waktu relatif singkat, yaitu sekitar 20 jam. Sistem dilengkapi dengan kendali suhu berbasis metode PID menggunakan pendekatan tuning Ziegler–Nichols, yang menghasilkan parameter kontrol dengan nilai $K_p = 12,9$, $K_i = 1,22$, dan $K_d = 0,3$. Parameter tersebut mampu menghasilkan grafik tanggapan sistem yang stabil. Penerapan kendali PID dalam alat ini berkontribusi secara signifikan terhadap kualitas pelepah pinang yang dihasilkan, karena suhu pengeringan dapat dijaga pada titik setel (setpoint) $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ secara konsisten. Hasil pemantauan proses pengeringan menunjukkan bahwa pelepah pinang dengan berat antara 250 hingga 500 gram dapat dikeringkan secara sempurna dalam durasi 20 jam. Namun, jika proses pengeringan dilakukan dalam waktu kurang dari 20 jam, pelepah yang dihasilkan masih dalam kondisi lembap atau belum sepenuhnya kering. Hal ini menunjukkan bahwa waktu dan kestabilan suhu menjadi faktor krusial dalam keberhasilan proses pengeringan pelepah pinang.

5. Daftar Pustaka

- [1] B. M. Basuki, A. A. Handaru, dan M. J. Afroni, “Rancang bangun alat pendeteksi hujan otomatis menggunakan modul GSM berbasis mikrokontroler Atmega 328p,” *Science Electro*, vol. 10, no. 1, 2019.
- [2] Y. Suzantry, H. Junas, dan K. Adhadi, “Otomatisasi pengontrol temperatur suhu untuk mesin pengering pelet menggunakan kontroler Autonics TK4S dengan metode PID,” *ELECTRICIAN – J. Rekayasa Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 1, 2023.
- [3] P. Giashinta, “Alat pengatur suhu kelembaban dan monitoring masa panen pada budidaya jamur tiram berbasis Arduino Uno,” 2018.
- [4] H. Hasan et al., “Pengujian suhu absorber dan sistem kontroler PID pada pengaturan aliran udara pengering anggur berbasis panel surya,” *CETICS Journal*, 2023.
- [5] G. D. Kalandro, D. Setiabudi, dan A. R. Chaidir, “Rancang bangun mesin pengering kulit pohon kina menggunakan kontrol PID berbasis mikrokontroler,” *J. J-Innovation*, vol. 11, no. 2, 2022.
- [6] I. Saputro dan A. Fahrudi, “Rancang bangun oven drying sebagai alat pengering eceng gondok pada suhu rendah menggunakan metode PID,” 2021.
- [7] B. Setiyono, K. Silvano, dan A. Triwiyatno, “Perancangan sistem pengaturan suhu pada prototype oven pengering cat (paint booth) menggunakan sensor DHT22 berbasis Arduino Mega 2560 dengan kendali PID,” 2017.
- [8] F. Susilo, “Rancang bangun alat pengering kain batik otomatis menggunakan sistem kendali PID dan sistem monitoring berbasis Internet of Things,” 2021.
- [9] D. Wahyudin dan L. Aditya, “Lemari pengering pakaian menggunakan heater berbasis Arduino Mega 2560,” *J. Ilm. Elektrokrisna*, vol. 9, no. 2, 2021.
- [10] L. Zulyanda, Jamaluddin, dan Azhar, “Rancang bangun sistem kontrol temperatur alat pengering kulit sapi dengan pengendali PID,” *Jurnal TEKTR0*, vol. 7, no. 1, 2023.