

RANCANG BANGUN KONTROL SUHU PENERING BELIMBING WULUH DENGAN PID KONTROLLER

Ramadan Fiqri¹, Azhar², Aidi Finawan³

^{1,2,3}) Program Studi Teknologi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol
Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe
Email: fikri.ms456@gmail.com¹, azhar@pnl.ac.id², aidifinawan@pnl.ac.id³.

ABSTRAK

Belimbing wuluh yang sudah melalui proses pengeringan dan penggaraman (Asam Sunti) merupakan suatu produk yang dijadikan sebagai bumbu dapur khas dari Aceh. Proses pengeringan dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi kadar air dari belimbing wuluh sesuai dengan kriteria dari Asam Sunti (memiliki kadar air akhir 16% dari kadar air awal 95.62%). Namun proses pengeringannya masih menggunakan metode konvensional dengan pemanfaatan sinar matahari secara langsung. Pengeringan dengan metode tersebut dikatakan kurang efisien karena ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi seperti faktor cuaca dan waktu karena cahaya matahari yang didapatkan tidak 24jam. Oleh karena itu, sangat diperlukannya suatu alat yang dapat mengeringkan belimbing wuluh tanpa dipengaruhi oleh faktor-faktor yang disebutkan di atas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah alat yang dapat mengendalikan suhu secara otomatis dengan menggunakan PID controller (*Proportional-Integral-Derivative*) yang dapat mengendalikan pemanas agar suhu tetap stabil pada *setpoint* 60°C. Perancangan bangun ruang menggunakan pengendali PID ini telah berhasil dilakukan dengan menggunakan metode *Tuning Ziegler Nichols*. Sehingga diperoleh nilai parameter pengendali PID yaitu $K_p = 2.4$, konstanta Integral $K_i = 2.4$, dan konstanta derivative $K_d = 0.6$. Sensor suhu menggunakan DHT 22 dan kelembaban digunakan untuk mematikan oven secara otomatis dengan kelembaban 30%. Waktu pengeringan dengan alat ini hanya membutuhkan waktu 18 jam.

Kata kunci: PID Controller, DHT 22, Belimbing Wuluh, Kadar Air.

I. PENDAHULUAN

Di Aceh, belimbing wuluh dijadikan bumbu kuliner, baik segar maupun olahan. Belimbing Wuluh mengalami proses pengeringan dan penggaraman. Asam Sunti merupakan produk yang dipakai sebagai bumbu khas masakan Aceh. Pembuatan asam sunti terdiri dari tiga tahap yaitu penggaraman, fermentasi, dan pengeringan. Namun, proses yang digunakan untuk mengolah belimbing wuluh segar menjadi asam sunti ini berbeda-beda, tergantung pada kebiasaan masyarakat setempat atau permintaan konsumen. Selain lamanya proses pengeringan asam sunti. Pengeringan asam sunti dengan cara tradisional juga memiliki beberapa kelemahan yaitu kurang higienis saat proses pengeringan, karena proses pengeringan dilakukan di tempat terbuka yang mungkin langsung terkena debu.

Berkembangnya berbagai teknologi modern dan otomasi alat elektronik saat ini menjadikan berkembangnya mesin pengering, baik itu mesin pengering yang menggunakan liquefied petroleum gas (LPG) dan mesin pengering yang menggunakan energi listrik sebagai sumber panasnya atau biasa disebut dengan mesin pengering elektrik.[1]

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tanaman Belimbing Wuluh

Belimbing wuluh adalah buah dengan rasa asam dan tidak beraroma yang diperkirakan berasal dari Kepulauan Maluku, Indonesia dan tersebar hingga ke Sri Lanka, Myanmar, Malaysia, dan Filipina. Belimbing wuluh memiliki batang yang kasar berbenjol-benjol, bercabang sedikit, arahnya condong keatas. Cabang

muda berambut halus seperti beludru, warna coklat muda. Daun berupa daun majemuk menyirip ganjil dengan 21-45 pasang anak daun. Anak daun bertangkai pendek, bentuknya bulat telur sampai lonjong, ujung runcing, pangkal memudar tepi rata, panjang 2-10 cm, lebar 1-3 cm, warna hijau, permukaan bawah berwarna hijau muda.[2]

B. PID (*Proportional Integral Derivative*)

PID(Proportional-Integral Derivative)Controller adalah salah satu teknik kontrol yang paling umum dan luas digunakan dalam berbagai aplikasi industri. Teknologi ini digunakan untuk mengatur dan menjaga stabilitas suatu sistem dengan cara meminimalkan error antara nilai yang diinginkan (*setpoint*) dan nilai yang diukur (proses variabel). *PID Controller* menawarkan kontrol yang fleksibel dan presisi melalui tiga komponen utamanya: Proportional, Integral, dan Derivative. Pengendali PID merupakan sebuah kontroler mekanisme umpan balik yang biasanya controller PID tersebut sering dipakai pada suatu sistem kontrol industri. Sebuah kontroler PID secara kontinyu menghitung nilai kesalahan sebagai beda antara SP (*setpoint*) yang diinginkan dan variabel proses terukur (PV : Proses Variable).

C. Arduino Uno

Arduino Uno merupakan suatu board pengembangan mikrokontroler yang terkenal di kalangan pencipta dan pengembang, Memiliki mikrokontroler ATmega328P dan dilengkapi dengan sejumlah pin *input/output* (I/O) yang bisa digunakan untuk menghubungkan sensor, motor, serta komponen lainnya.

Arduino Uno bisa diprogram melalui IDE (*Integrated Development Environment*) Arduino yang memungkinkan pencipta membuat serta memasukkan kode ke papan Arduino tersebut guna mengendalikan beragam perangkat dan sistem elektronik.[3]

Tabel I
Data Spesifikasi Arduino Uno

SPESIFIKASI	
Mikrokontroler	ATmega328P
Tegangan Pengoperasian	5V
Tegangan Input yang disarankan	7-12V
Batas Tegangan Input	6-20V
Jumlah pin I/O digital	14 pin digital (6 diantaranya menyediakan keluaran PWM)
Jumlah pin Input Analog	6
Arus DC tiap pin I/O	40 mA
Arus DC untuk pin 3,3 V	50 mA
Memory Flash 32 KB	(ATmega328P)
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	Hz

D. Software Arduino IDE (*Ingrated Development Enviroment*)

IDE (*Ingrated Development Environment*) yang diperuntukan untuk membuat perintah atau source code, melakukan pengecekan kesalahan, kompilasi, upload program, dan menguji hasil kerja arduino melalui serial monitor.[4] Pada software Arduino IDE (*Ingrated Development Environment*) terdapat beberapa menu yang memiliki fungsi yang berbeda-beda. Beberapa menu yang terdapat pada software Arduino IDE adalah File, Edit, *Sketch*, *Tools*, dan *Help*

E. DHT 22

Sensor DHT22 merupakan sensor digital yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban udara. Sensor DHT22 memiliki tingkat stabilitas dan keandalan tinggi dalam jangka panjang. Sensor DHT22 menggunakan sensor kelembaban bersifat resistif dan sensor suhu berbasis NTC yang terhubung pada mikrokontroler 8 bit. Sehingga sensor DHT22 memiliki kualitas yang sangat baik, kemampuan antri-gangguan, respon yang cepat serta biaya yang terjangkau. Cara kerja dari sensor DHT22, bahan semikonduktor pada sensor suhu dan kelembaban membaca nilai suhu dan kelembaban kemudian data dikirimkan ke wemos dalam bentuk digital secara beriringan, waktu pengiriman data antara data suhu dan kelembaban sangatlah singkat yaitu kurang dari 40ms, sehingga pembacaan akan terlihat seperti bersamaan. Untuk dapat mengirim data digital pengukuran pertama mikrokontroler 10 mengirimkan data hasil pengukuran suhu kemudian kelembaban secara beriringan.

Tabel II
Spesifikasi Sensor DHT 22

Spesifikasi	
Suplai tegangan	3.3 - 5.5 VDC
Output sinyal	Sinyal digital, melalui antarmuka 1-wire bus
Elemen sensor	<i>Polymer Humidity Capacitor</i>
Jangkauan operasi	<i>Humidity</i> 0-100%RH (temperatur : -40°C~80°C)
Akurasi	<i>Humidity</i> ±2% - ±5%RH (temperatur : ±0.5°C)
Sensitivitas	<i>Humidity</i> 0.1%RH (temperatur 0.1°C)
Pengulangan kelembaman	: ±1%RH (temperatur : ±0.2°C)
Kelembaman hysteresis	±0.3%RH
Stabilitas jangka panjang	±0.5%RH/tahun

F. Solid State Relay

Solid state relay (SSR) adalah saklar elektronik, yang tidak sepertisebuah relay elektromekanis tidak berisi bagian yang bergerak. Jenis SSR adalah foto-coupled SSR, transformer-coupled SSR, dan hibrida SSR sebuah foto di gabungan SSR dan dikontrol oleh sinyal tegangan rendah yangterisolasi secara optik dari beban. Sinyal kontrol dalam foto yang biasanya digabungkan dengan SSR energi adalah sebuah LED yang mengaktifkan sebuah foto-dioda sensitif. Dioda berputar pada *back-to-backthyristor*, silikon penyearah terkendali, atau MOSFET transistor untuk mengaktifkan beban.

SSR Ditetapkan sebagaimana kontrol ON-OFF di mana arus bebandilakukan oleh satu atau lebih semikonduktor - misalnya, sebuah transistor daya, sebuah SCR, atau TRIAC. SCR dan TRIAC sering disebut "thyristors sebuah istilah yang diperoleh dengan menggabungkan thyatron dan transistor, karena dipicuthyristor semikonduktor *switch*.

G. Heater

Heater merupakan salah satu jenis dari Heat Exchanger yang berfungsi untukmemanaskan. Heater adalah objek yang dapat memancarkan panas atau dapa tmenyebabkan benda lainnya mengalami kenaikan suhu dari suhu yang rendah untuk mencapai suhu yang lebih tinggi. Dalam bidang rumah tangga atau domestic, heater biasanya merupakan peralatan yang digunakan untuk tujuanmenghangatkan ruangan. Jenis lain dari heater adalah oven dan tungku (*furnace*).Pemanas atau heater dapat memanaskan semua materi baik berupa padat, cairataupun gas. Ada 3 jenis mekanisme perpindahan panas yang terjadi didalamn yayaitu konduksi, konveksi dan radiasi.

H. Fan

Fan digunakan untuk memindahkan sejumlah volume udara atau gas melalui suatu saluran (duct). Selain itu, fan juga digunakan untuk memasok udara dalam proses pengeringan, pemindahan bahan tersuspensi di dalam aliran gas, pembuangan asap, menara pendingin, pemasokan udara untuk pembakaran

boiler, pembuangan debu, aerasi sampah, pengeringan, pendinginan proses-proses industrial, sistem ventilasi ruangan, dan aplikasi sistem ber aliran tinggi dan yang membutuhkan udara bertekanan lainnya.

I. LCD (Liquid Crystal Display)

LCD (Liquid Crystal Display) adalah suatu jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. LCD (Liquid Crystal Display) bisa menampilkan suatu gambar / karakter dikarenakan terdapat banyak sekali titik cahaya (piksel) yang terdiri dari satu buah kristal cair sebagai titik cahaya. Walau disebut sebagai titik cahaya, namun Kristal cair ini tidak memancarkan cahaya sendiri. LCD 16x2 dapat menampilkan sebanyak 32 karakter yang terdiri dari 2 baris dan tiap baris dapat menampilkan 16 karakter.

Tabel III
Spesifikasi LCD (Liquid Crystal Display)

No	Nama	Spesifikasi
1	Blue backlight	I2C
2	Display Format	16 Characters x 4 lines
3	Supply voltage	5V
4	Back lit	Blue with White char color
5	Supply voltage	5V
6	Pcb Size	60mm x 99mm
7	Contrast Adjust	Potentiometer
8	Backlight Adjust	Jumpe

J. Adaptor

Adaptor adalah sebuah perangkat berupa rangkaian elektronika untuk mengubah tegangan listrik yang besar menjadi tegangan listrik lebih kecil, atau rangkaian untuk mengubah arus bolak-balik (arus AC) menjadi arus searah (arus DC). Adaptor / power supply merupakan komponen inti dari peralatan elektronik.

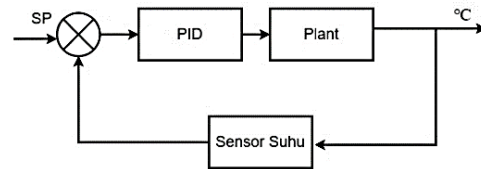
III. METODOLOGI

A. Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimen, yang terdiri dari studi literatur dan beberapa alat dan bahan dalam membangun sistemnya, baik alat perangkat keras maupun perangkat lunak.

B. Blok Diagram

Pada penelitian ini, sistem pengering belimbing wuluh menggunakan metode kontrol berbasis PID untuk menjaga suhu pengeringan pada nilai yang diinginkan (setpoint). Sistem kendali PID dipilih karena kemampuannya yang baik dalam mengatur sistem dengan gangguan dan keterlambatan waktu, yang umumnya terjadi pada proses pengeringan. Berikut ini gambar 1 blok diagram kendali.



Gbr 1 Blok diagram kendali

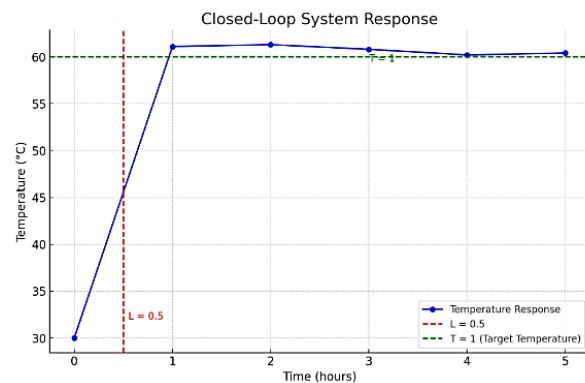
C. Perancangan PID control

Tahap awal yang dilakukan yaitu mengambil data open loop suhu pada alat pengering belimbing wuluh yaitu dengan mengaktifkan heater hingga suhu mencapai maksimal dan tidak mengalami perubahan lagi. Berdasarkan tabel 4 yaitu aturan tuning ziegler nichols, untuk menghitung parameter pengendali PID (Kp, Ki, dan Kd) dengan menggunakan tabel aturan tuning Ziegler Nichols.

Tabel IV
Aturan Tuning Ziegler Nichols

Type Kontrol	K _p	T _i	T _d
P	T/L	∞	0
PI	0,9 (T/L)	L / 0,3	0
PID	1,2 (T/L)	2 (L)	0,5 (L)

Gambar 2 Merupakan grafik dari respon data close loop sistem. Berdasarkan grafik tersebut, sistem dapat mencapai suhu maksimal dan stabil pada 60,20 °C. Berdasarkan grafik open loop tersebut, dapat dilakukan tuning PID dengan menggunakan metode tuning ziegler-nichols.



Gbr 2 Respon Data Close Loop Sistem

Berdasarkan grafik open loop yang telah didapatkan, maka akan dilakukan tuning PID dengan menggunakan metode *tuning ziegler nichols*, dimana kita harus mendapatkan nilai L dan T berdasarkan grafik open loop yang telah di dapat. Gambar tersebut menunjukkan nilai L dan T berdasarkan grafik close loop yang telah didapatkan. Berdasarkan grafik Tuning Ziegler Nichols diatas, didapatkan nilai T yaitu sebesar 1, dan nilai L sebesar 0.5. Jika sudah didapatkan nilai T dan L. Sehingga jika dimasukkan kedalam tabel aturan Tuning Ziegler Nichols, dengan L = 0.5 dan T = 1 didapatkan :

$$K_p = 1.2 (T/L) = 1.2 (1/0.5) = 1.2 (2) = 2.4$$

$$T_i = 2 (L) = 2 (0.5) = 1$$

$$T_d = 0,5 (L)$$

$$= 0,5 (0,5)$$

$$= 0,25$$

Selanjutnya, nilai $K_p = 2.4$, $T_i = 1$, dan $T_d = 0.25$ disubstitusikan kedalam Persamaan fungsi transfer dari PID controller yaitu :

$$G_c S = K_p (1 + \frac{1}{T_i S} + T_d s)$$

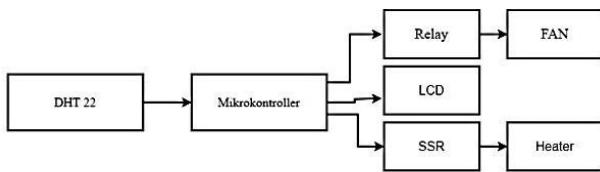
$$G_c S = 2.4 (1 + \frac{1}{1s} + 0.25)$$

$$G_c S = 2.4 + \frac{2.4}{s} + 0.6s$$

Sehingga, berdasarkan persamaan diatas, didapatkan nilai *Konstanta Proportional* $K_p = 2.4$, konstanta Integral $K_i = 2.4$, dan *konstanta derivative* $K_d = 0.6$

D. Perancangan Sistem

Perancangan pengering Belimbing Oven ini memiliki beberapa perangkat keras dan perangkat lunak dalam pengoperasiannya. Berikut alur kerja dari sistem di perlihatkan pada gambar 3 dibawah ini:



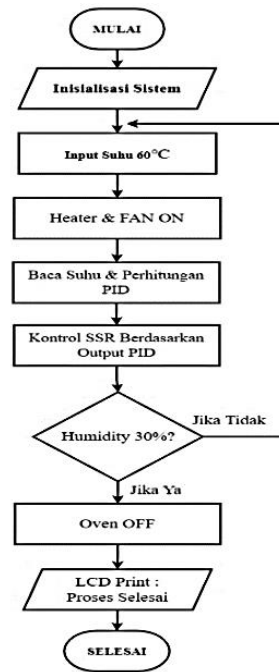
Gbr 3 Diagram Blok Rangkaian Elektronik

Berikut ini adalah penjelasan dari setiap Gambar 3 Blok diagram di atas.

- **Adaptor:**
Berfungsi sebagai sumber daya untuk mikrokontroler dan komponen lainnya. Adaptor ini mengubah tegangan dari sumber listrik utama (AC) menjadi tegangan (DC) yang sesuai untuk komponen.
- **DHT22:**
Sensor yang digunakan untuk mengukur kelembapan dan suhu ruang oven. Sensor ini mengirimkan data kelembapan dan suhu ke mikrokontroler.
- **FAN**
Digunakan untuk penyebaran suhu dalam ruangan.
- **Mikrokontroler:**
Ini adalah pusat pengendalian sistem. Mikrokontroler menerima data suhu dari DHT22 dan berdasarkan data ini, mengatur output untuk komponen lain seperti SSR (Solid State Relay) dan LCD
- **.LCD:**
Layar yang digunakan untuk menampilkan informasi mengenai kelembapan dan suhu
- **SSR (Solid State Relay):**
Komponen ini bertindak sebagai saklar elektronik yang diaktifkan oleh mikrokontroler untuk mengontrol aliran daya ke heater.

- **Heater**
Komponen yang memanaskan udara di dalam sistem pengering. Heater ini diatur oleh SSR berdasarkan instruksi dari mikrokontroler untuk mencapai suhu yang diinginkan.

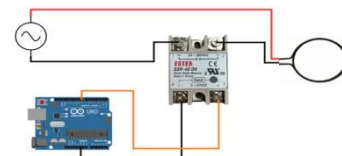
E. Flowchart



Gbr 4 Flowchart

F. Rangkaian Heater dan SSR

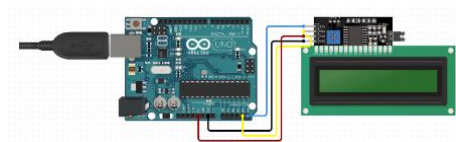
Pada perancangan alat ini Heater digunakan sebagai pemanas. Suhu pada pemanas ini dpt disesuaikan dengan kebutuhan pengguna. Fan pada alat ini digunakan sebagai sirkulasi udara dalam oven dan sebagai distribusi panas agar merata dalam oven. Berikut gambar rangkaian Heater dan Fan bisa dilihat pada gambar 5..



Gbr 5 Rangkaian Heater dan SSR

G. Rangkaian LCD

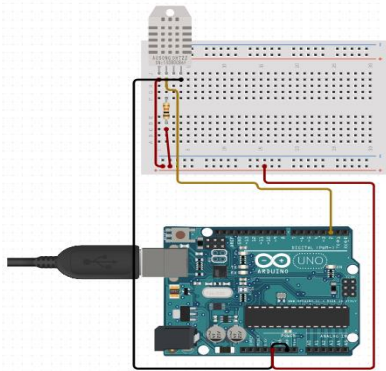
LCD pada perancangan alat ini digunakan untuk menampilkan data pembacaan suhu, kelembapan serta menampilkan status pengeringan. Rangkaian LCD dapat dilihat pada Gambar 6.



Gbr 6 Rangkaian LCD

H. Rangkaian Sensor DHT 22

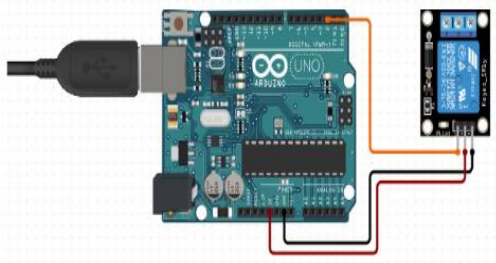
Sensor DHT 22 pada perancangan alat ini digunakan untuk mendeteksi suhu dan kelembaban pada proses pengeringan. Rangkaian sensor suhu dapat dilihat pada Gambar 7.



Gbr 7 Rangkaian Sensor DHT 22

I. Rangkaian Relay

Relay pada perancangan ini digunakan untuk digunakan sebagai switch atau saklar untuk perangkat lain. Rangkaian relay dapat dilihat pada Gambar 8.



Gbr 8 Rangkaian Relay

J. Dasar Perhitungan Kadar Air

Pengeringan adalah suatu proses usaha untuk penurunan kadar air dalam bahan. Pada penelitian ini bahan yang digunakan ialah belimbing wuluh. Menurut M.Fajar, dkk, 2020, umumnya kadar air yang baik pada belimbing wuluh untuk menghindari terjadinya jamur ialah dengan kadar 16%. Pengukuran kadar air dapat dilakukan juga langsung dengan alat moisture meter. Berikut perhitungan untuk menentukan kadar air:

Kadar air ($K_A\%$) dihitung menggunakan rumus berikut :

$$Kadar\ Air\ (\%) = \left(\frac{M_0 - M_1}{M_1} \right) \times 100\%$$

Keterangan :

- M_0 adalah massa awal sampel (massa basah)
- M_1 adalah massa akhir sampel (massa kering)

Dari perhitungan diatas bahwa hasil perhitungan kadar air akhir di kurangi dengan jumlah kadar air belimbing wuluh, yang dimana kadar air belimbing wuluh yaitu 95,62%.

K. Spesifikasi Oven Belimbing Wuluh

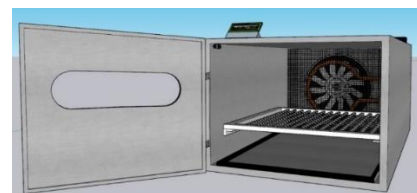
Spesifikasi oven belimbing wuluh yang telah dibuat, bisa dilihat pada tabel 5.

Tabel V
Spesifikasi Oven Belimbing Wuluh

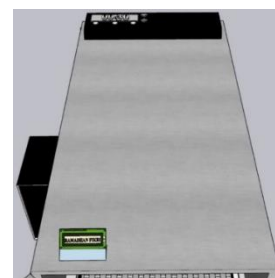
Spesifikasi	
Tegangan	220v
Suhu	60°C
Pemanas	Heater
Mode Kontrol	Kontrol Digital
Material	Stainless steel
Dimensi Oven (P x L x T)	30 x 30 x 23.5 cm
Dimensi Tray	28,5 x 20 cm
Jarak Antar Tray	2,7 cm
Jumlah Tray	6

L. Perancangan Mekanik

Tahapan perancangan terdiri atas perancangan mekanik. Pada perancangan mekanik dilakukan pembuatan desain 3D, pembuatan skematik, dan tata letak komponen elektronik serta kerangka alat. Perancangan program meliputi tahapan pembuatan program menggunakan bahasa C melalui aplikasi arduino ide, perancangan rangkaian elektronik dan proses pengupload-an program. Gambar dibawah ini merupakan desain sistem yang nanti digunakan sebagai acuan dalam pembuatan alat. Adapun desain 3D pada perancangan alat ini ialah sebagai berikut.



Gbr 9 Desain 3D Oven Pengering Belimbing Wuluh



Gbr 10 Tampak Atas Oven Pengering Belimbing Wuluh

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Alat Kontrol Suhu Pengering Belimbing Wuluh Dengan PID Kontroller telah dirancang dan dibangun yang kemudian dilakukan tahapan pengujian. Tahapan rancang bangun yang dilakukan tentunya terdiri dari mekanik dan elektronik. Kemudian dalam tahapan

pengujian juga terdiri dari pengujian fungsional dan pengujian kinerja alat secara keseluruhan. Hasil perancangan yang telah dilakukan terdiri dari mekanik dan elektronik.

A. Hasil Perancangan Mekanik

Hasil perancangan mekanik, dilakukan serangkaian kegiatan yang menghasilkan komponen-komponen utama sistem. Salah satu pencapaian signifikan dalam perancangan mekanik adalah pembuatan panel. Panel kontrol ini dirancang untuk memberikan antarmuka yang intuitif dan efisien bagi pengguna dalam mengoperasikan sistem. Implementasi perancangan mekanik ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif terhadap keseluruhan kinerja sistem. Hasil perancangan mekanik bisa dilihat pada gambar 11.



Gbr 11. Hasil Perancangan Mekanik



Gbr 12. Hasil Perancangan Mekanik

B. Hasil Pengujian Fungsional

Dalam pengujian fungsionalitas LCD dengan Arduino UNO, langkah pertama yang telah dilakukan adalah merangkai semua perangkat yang diperlukan, termasuk Arduino UNO, modul LCD I2C, kabel jumper, dan sumber daya sesuai dengan Gambar 3.6. Selanjutnya, modul LCD dihubungkan ke Arduino UNO menggunakan kabel jumper, memastikan koneksi antara keduanya sesuai dengan konfigurasi pin yang telah ditetapkan. Untuk hasil pengujian yang telah dilakukan pada LCD dapat dilihat pada Gambar 13.



Gbr 13 Tampilan hasil pengujian LCD

1. Hasil Pengujian Sensor Suhu

Sebelum dilakukan pengujian terhadap perubahan suhu pada proses pengeringan belimbing wuluh, pengujian keakurasian sensor perlu dilakukan. Sensor suhu yang digunakan pada perancangan alat ini ialah sensor DHT 22. Nilai set point pada suhu 60°C. Untuk melihat tingkat akurasi sensor ini dilakukan perbandingan nilai suhu antara sensor DHT 22 dan termometer digital. Pengujian keakurasian sensor dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel VII
Pengujian Sensor Suhu

No	Waktu (Menit)	Suhu (°C)		Error
		Sensor suhu	Thermometer	
1	0	31.50	31.10	0.4
2	1	34.20	33.00	1.2
3	2	40.40	41.00	-0.6
4	3	49.50	50.00	-0.5
5	4	56.60	56.20	0.4
6	5	61.80	61.70	0.1
Rata-rata error				1

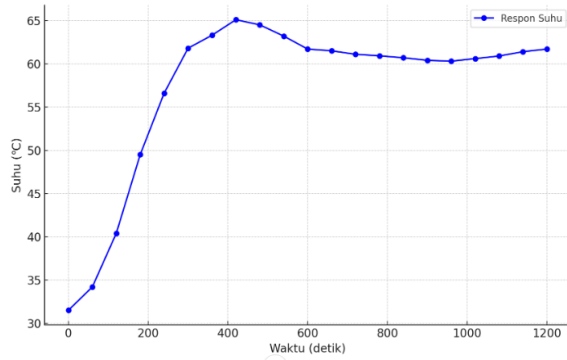
2. Pengujian Sistem PID

Pengujian ini dilakukan dengan melihat respon suhu pada alat pengering setelah menggunakan pengendali PID dengan keadaan alat pengering masih kosong (belum dilakukannya proses pengeringan). Pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah sistem memiliki respon yang baik. Pada pengujian diberikan nilai setpoint sebesar 60°C dan pengujian dilakukan selama 21 menit. Berikut ini tabel 8 adalah data hasil pengujian suhu dengan PID.

Tabel VIII
Pengujian sistem dengan PID

No	Waktu (Menit)	Sensor Suhu (°C)	Thermometer (°C)	Error
1	0	31.50	31.30	0.2
2	1	34.20	34	0.2
3	2	40.40	40.10	0.3
4	3	49.50	49.50	0
5	4	56.60	56.50	0.1
6	5	61.80	61.80	0
7	6	63.30	63.30	0
8	7	65.10	65	0.1
9	8	64.50	64.40	0.1
10	9	63.20	63.20	0
11	10	61.70	61.50	0.2
12	11	61.50	61.50	0
13	12	61.10	61	0.1
14	13	60.92	60.80	0.12
15	14	60.70	60.70	0
16	15	60.40	60.20	0.2
17	16	60.30	60.30	0
18	17	60.60	60.50	0.1
19	18	60.90	60.70	0.2
20	19	61.40	61.10	0.3
21	20	61.70	61.70	0
22	21	61.90	61.70	0.2
Rata-rata Error				2.42

Berdasarkan tabel 8 hasil pengujian sistem, dapat kita lihat grafik pengujian nya di gambar 15 .



Gbr 15 Grafik Respon Suhu dengan PID

Berdasarkan Gambar 15 grafik respon tersebut, dapat dilihat bahwa sistem menunjukkan suatu grafik yang stabil pada setpoint 60°C walaupun memiliki overshoot sebesar 8,5% dari 60°C. Sistem juga memiliki kecepatan respon (rise time) yang relatif singkat untuk sebuah pemanas heater yaitu selama 300s, serta memiliki steady state error dari grafik, suhu stabil pada sekitar 61,5°C hingga 61,7°C, yang berarti ada steady-state error sekitar 1,5°C hingga 1,7°C dari setpoint 60°C.

3. Pengujian Pengeringan belimbing Wuluh

Untuk melihat efektifitas proses pengeringan belimbing wuluh menggunakan alat ini maka perlu dilakukan pengujian. Pada proses pengeringan harus melewati beberapa tahap menuju belimbing wuluh menjadi asam sunti. Berikut tahapan Belimbing Wuluh untuk menjadi Asam Suntii:

- **Pemanenan Buah Belimbing Wuluh**
 Buah yang dipanen memiliki tingkat kematangan yang seragam. Tanda buah belimbing sudah bisa dipanen adalah memiliki warna hijau pekat atau hijau kekuningan, tekstur buah yang keras menuju lunak, kondisi kulit buah yang licin, dan tampak membengkak. Proses pemanenan dilakukan dengan menggunakan galah dengan kain saring pada bagian ujung untuk menghindari buah langsung jatuh ke tanah.
- **Pencucian**
 Pencucian dilakukan dalam wadah besar, buah belimbing tersebut digosok-gosok agar tidak ada kotoran yang menempel. Kemudian kotoran yang mengapung dipisahkan dari buah belimbing dan daun yang di ujung buah juga di bersihkan. Pencucian dilakukan sebanyak 3 kali hingga belimbing terlihat bersih dari kotoran yang menempel saat pemanenan. Setelah pencucian, buah belimbing disiram dengan air mengalir sambil dipindahkan ke dalam wadah lain yang

besar.

- **Perendaman**
 Setelah buah belimbing dicuci bersih, buah belimbing direndam dengan air bersih. Tahapan ini berguna untuk membuat buah belimbing lebih layu sehingga akan mempercepat proses pengeringan. Pada proses ini, fermentasi awal oleh bakteri yang terkandung pada buah dapat berlangsung. Proses perendaman dilakukan selama satu malam dengan keadaan wadah ditutup rapat dengan penutup wadah atau dengan kantong plastik yang diikat melingkar pada wadah.
- **Pengeringan**
 Proses penjemuran bertujuan untuk mengurangi kadar air pada buah belimbing. Buah belimbing yang sudah layu akan lebih cepat mengalami proses penguapan air. Pengeringan membutuhkan total waktu 18 jam Di pengeringan tahap pertama selama 4 jam, lalu belimbing wuluh masuk ke proses penggaraman tahap pertama. Kemudian setelah penggaraman tahap pertama, belimbing wuluh kembali pengeringan selama 5 jam dan belimbing wuluh kembali masuk ke proses penggaraman tahap kedua. Kemudian setelah penggaraman tahap kedua, belimbing wuluh kembali pengeringan selama 5 jam dan belimbing wuluh kembali ke proses tahap penggaraman terakhir yaitu tahap ketiga dan setelah itu belimbing wuluh kembali pengeringan selama 4 jam. Proses kritis dalam pembuatan asam suntii adalah pada tahapan pengeringan dan fermentasi.
- **Penggaraman**
 Pada penggaraman tahap pertama, buah belimbing yang telah pengeringan, dilumuri garam dengan cara memasukkan buah belimbing sedikit demi sedikit ke dalam wadah lalu kemudian ditaburi garam hingga semua belimbing tercampur rata dengan garam. Jumlah garam yang digunakan yaitu 1:2, 1 bungkus garam (250 g) untuk 2 kg belimbing (Yunita et al., 2021). Buah belimbing yang sudah dilumuri dengan garam dimasukkan ke dalam wadah besar yang tertutup rapat dengan penutup wadah dan didiamkan selama satu malam. Pada penggaraman tahap kedua, buah belimbing kembali ke proses pengeringan. Penggaraman tahap kedua dilakukan seperti penggaraman tahap pertama dan didiamkan selama satu malam dalam kondisi wadah yang tertutup rapat. Hal yang sama dilakukan pada penggaraman tahap ketiga. Penggaraman tahap ketiga adalah penggaraman terakhir dan kemudian kembali pengeringan terakhir untuk mendapatkan kadar air 16%.

Tabel IX
Hasil Pengeringan Belimbing Wuluh

Waktu (Jam)	Kelembaban (RH%)	Status Oven
14.00-15.00	58.40	On
15.00-16.00	57.10	On
16.00-17.00	56.20	On
17.00-18.00	54.30	On
08.00-09.00	60.30	On
09.00-10.00	59.90	On
10.00-11.00	58.90	On
11.00-12.00	58.50	On
12.00-13.00	57.70	On
03.00-04.00	57	On
04.00-05.00	51.20	On
05.00-06.00	47.50	On
06.00-07.00	45.10	On
07.00-08.00	43.90	On
21.00-22.00	34.80	On
22.00-23.00	34.50	On
23.00-00.00	32.30	On
00.00-01.00	29.93	Off

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 9 menunjukkan bahwa proses pengeringan belimbing wuluh yang dilakukan dengan total pengeringan selama 18 jam pada setpoint suhu 60°C dapat berjalan dengan baik. Berat belimbing wuluh yang awalnya 2000gram setelah pengujian turun menjadi 400gram. Pengurangan berat belimbing wuluh ini menunjukkan bahwa kadar air yang terkandung dalam belimbing wuluh kian menurun seiring dengan pengujian yang dilakukan. Kadar air pada belimbing wuluh dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Kadar\ Air\ (\%) = \left(\frac{M_0 - M_1}{M_1} \right) \times 100\%$$

- 4. M_0 adalah massa awal sampel (massa basah)
- 5. M_1 adalah massa akhir sampel (massa kering)

Dengan menggunakan rumus ini dapat dilihat penurunan kadar air pada belimbing wuluh menggunakan suhu 60 °C. Berat belimbing wuluh sebelum dikeringkan yaitu: 2000gram, setelah proses pengeringan selama 18 jam berat belimbing wuluh turun menjadi 400gram, maka:

$$Kadar\ Air\ (\%) = \left(\frac{2.000 - 400}{2.000} \right) \times 100\%$$

$$K_A = \frac{1.600}{2.000} = 0.8$$

$$= 0.8 \times 100\%$$

$$= 80\%$$

Hasil perhitungan diatas bahwa yang kadar air belimbing wuluh segar sebesar 95.62% dan setelah melalu proses pengeringan kadar air belimbing hilang atau mengering

sebesar 80% dan sisa kadar air pada belimbing wuluh yaitu sebesar 15.62%.

4. Perbandingan Pengeringan Manual dengan Pengeringan Oven

Pada pengeringan manual menggunakan sinar matahari ($\pm 35^\circ C$) belimbing wuluh membutuhkan waktu 6-7 hari untuk kering dengan kadar air 16% itu untuk kondisi cuaca cerah. Namun jika cuaca tidak menentu atau kondisi musim hujan membutuhkan waktu hingga 10 hari untuk kering. Sedangkan dengan alat ini pengeringan belimbing wuluh dapat kering dengan waktu sekitar 18 jam menggunakan suhu 60 °C dengan rata-rata kadar air 16%. Jika ingin dibandingkan, lebih baik menggunakan alat dalam pengeringan karena dapat menghemat waktu. Alat yang sudah otomatis mempermudah untuk pengontrolan dan monitoring suhu dan kelembaban, sehingga tidak perlu terus memantau alat pada saat proses pengeringan.



Gbr 16 Hasil Pengeringan Menggunakan Oven

V. KESIMPULAN

Setelah dilakukannya penelitian dan beberapa pengujian maka diperoleh kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan pengendali PID, respon sistem pada bangun ruang pengering belimbing wuluh memiliki respon suhu yang stabil pada setpoint 60 °C.
2. Berdasarkan pencarian parameter pengendali PID dengan menggunakan metode Tuning Ziegler Nichols, maka diperoleh parameter pengendali PID yang sesuai pada alat pengering belimbing wuluh yaitu dengan nilai $K_p = 2.4$, konstanta Integral $K_i = 2.4$, dan konstanta derivative $K_d = 0.6$.
3. Berdasarkan hasil pengeringan belimbing wuluh yang telah dilakukan, massa dari belimbing wuluh dapat berkurang dengan sangat baik, sehingga pengeringan untuk mendapatkan massa dari 2000gr

menjadi 400gr, hanya memerlukan waktu selama 18 jam saja dari yang pada penelitian sebelumnya memerlukan waktu selama 39,58 jam.

4. Hasil pengujian kelembaban oven untuk mengeringkan belimbing wuluh sampai menjadi asam sunti adalah 30% kelembabannya.

REFERENSI

- [1] Amin, M. (2021). Rancang Bangun Alat Pengering Biji Kakao Berbasis IoT Dengan Kendali Suhu Otomatis.
- [2] Armiga, R., Zulhelmi, Z., & Rahman, A. (2020). Rancang Bangun Asam Suntii Auto Production (Asap) Berbasis Atmega328 Untuk Meningkatkan Efisiensi Waktu Produksi. *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, Dan Elektro*, 5(2), 14–22. <https://doi.org/10.24815/kitektro.v5i2.16085>
- [3] Kurniatio, A.D. (2018). Sistem Pemantauan Dan Pengendalian Arus Listrik Berbasis Mikrokontroler Pada Rumah Daya Rendah 450 Va. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- [4] Feri Djuandi. (2011). Pengenalan Arduino. *E-Book. www. Tobuku*, 1–24.