

e-ISSN : 3031-0342
Diterima: : 23 September 2025
Disetujui : 14 Desember 2025
Tersedia online di <https://journal.unram.ac.id/index.php/agent>

RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI BERBASIS ARDUINO UNO PADA ALAT PENGERING GULA SEMUT

Design of an Arduino Uno Based Control System For Ants Sugar Drying Device

Noviara Hiriani^{1*}, Hary Kurniawan¹, Fakhrol Irfan Khalil¹, Oki Saputra¹

¹Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri,
Universitas Mataram

email: noviarahiriani@gmail.com

ABSTRACT

Palm sugar is a derivative of palm sugar products in the form of granules or crystals whose raw materials can come from palm sap. Drying is one of the important stages in the process of making palm sugar which aims to reduce the water content of palm sugar. In order for the drying process in the machine to take place optimally, an automatic control system based on the Arduino Uno microcontroller is needed which aims to control the temperature and humidity in the drying room located at UMKM Sugaren Lombok, Kekait Village, Gunungsari District, West Lombok Regency. The results of the temperature study throughout the drying process showed that the temperature distribution in the drying room was relatively stable and even between racks, with an average of 50–55 °C, and relative humidity (RH) between 20–35%, which are ideal conditions for drying palm sugar without causing changes in color, aroma, and taste. The application of an Arduino Uno-based control system to this palm sugar dryer has proven to be optimal in increasing energy efficiency, temperature stability, and the quality of the drying results of palm sugar which has a water content of $\leq 3\%$ according to SNI 3743-2021 and is able to reduce energy waste by normalizing the thermal conditions of the drying room in real-time, so that fuel consumption is more efficient.

Keywords: *control system; drying; palm sugar*

ABSTRAK

Gula semut merupakan turunan produk gula palma yang berbentuk butiran atau kristal yang bahan bakunya dapat berasal dari nira aren. Pengeringan merupakan salah satu tahapan penting dalam proses pembuatan gula semut yang bertujuan untuk menurunkan kadar air gula semut. Agar proses pengeringan pada mesin tersebut berlangsung secara optimal, diperlukan sistem kendali otomatis yang berbasis mikrokontroler Arduino Uno yang bertujuan untuk mengontrol suhu dan kelembaban di ruang pengering yang bertempat di UMKM Sugaren Lombok, Desa Kekait, Kecamatan Gunungsari, Kabupaten Lombok Barat. Hasil penelitian suhu pada seluruh proses pengeringan menunjukkan bahwa sebaran suhu di ruang pengering relatif stabil dan merata antar rak, dengan rata-rata berada pada kisaran 50–55 °C, serta kelembapan relatif (RH) antara 20–35%, yang merupakan kondisi ideal untuk pengeringan gula semut tanpa menyebabkan perubahan warna, aroma, dan cita rasa. Penerapan sistem kontrol berbasis Arduino Uno pada alat pengering gula semut ini terbukti optimal dalam meningkatkan efisiensi energi, kestabilan suhu, serta kualitas hasil pengeringan gula semut yang memiliki kadar air $\leq 3\%$ sesuai SNI 3743-2021 dan

mampu menekan pemborosan energi dengan cara menormalkan kondisi termal ruang pengering secara real-time, sehingga konsumsi bahan bakar lebih efisien.

Kata kunci: gula semut; pengeringan; sistem kontrol

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Desa Kekait yang berada di Kecamatan Gunung Sari, Kabupaten Lombok Barat merupakan wilayah yang banyak di tumbuhi tanaman aren. Bagi warga setempat tanaman tersebut merupakan tanaman yang memiliki nilai ekonomi tinggi karena hampir semua bagian tanaman seperti buah, batang dan daun dapat di manfaatkan (Kurniawan, Yuniarto, *et al.*, 2018). Salah satu bagian tanaman yang cukup banyak di manfaatkan adalah nira. Nira adalah cairan manis yang diperoleh dari pohon aren yang mengandung glukosa, berwarna bening keruh, tidak berbau asam atau alkohol serta tidak menghasilkan busa atau gelembung (Nawansih *et al.*, 2017).

Salah satu olahan dari nira adalah gula cetak. Namun saat ini para pengrajin gula telah mengenal produk gula semut. Gula semut merupakan turunan produk gula palma yang berbentuk butiran atau kristal yang bahan bakunya dapat berasal dari nira aren, nira kelapa atau nira siwalan. Proses pembuatan gula semut tidak jauh berbeda dengan pembuatan gula cetak, yaitu dengan memasak nira hingga mengental, didinginkan, lalu diaduk hingga berbentuk butiran (Amanah *et al.*, 2013). Produk ini memiliki beberapa keunggulan yaitu karena memiliki kadar air yang rendah, bentuknya yang kristal mempermudah dalam penggunaannya sehingga lebih praktis dan mudah dalam pengemasan (Kurniawan *et al.*, 2018).

Pengeringan merupakan salah satu tahapan penting dalam proses pembuatan gula semut yang bertujuan untuk menurunkan kadar air gula semut, sehingga gula semut memiliki umur simpan yang lama. Pengeringan ditingkat pengrajin umumnya masih menggunakan metode pengeringan konvensional seperti

penjemuran di bawah sinar matahari. Namun, metode ini memiliki berbagai keterbatasan, antara lain sangat tergantung pada kondisi cuaca, waktu proses yang lama, kurang terjamin kebersihannya, sehingga risiko kontaminasi terhadap produk menjadi tinggi serta sulit untuk menjaga kestabilan suhu dan kelembapan selama penjemuran (Amanah *et al.*, 2013). Oleh karena itu, dibutuhkan teknologi pengeringan yang lebih modern, efisien dan terstandarisasi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Septiyana *et al.*, (2019), salah satu inovasi yang dikembangkan adalah penggunaan mesin pengering tipe rak geometri silinder, sehingga memungkinkan aliran udara menyebar secara merata ke seluruh permukaan bahan yang dikeringkan. Akan tetapi mesin pengering ini masih belum optimal karena suhu dan kelembapan di ruang pengering belum terkendali.

Agar proses pengeringan pada mesin tersebut berlangsung secara optimal, diperlukan sistem kendali otomatis yang berbasis mikrokontroler Arduino Uno yang bertujuan untuk mengontrol suhu dan kelembapan di ruang pengering. Arduino uno merupakan papan mikrokontroler berbasis ATmega yang mendukung pemrograman terbuka dan dapat diintegrasikan dengan berbagai sensor secara aktuator. Dalam penelitian ini, Arduino Uno dikombinasikan dengan sensor suhu dan kelembapan seperti DHT22 untuk membaca kondisi ruang pengering secara *real-time*. Nilai suhu dan kelembapan kemudian digunakan sebagai parameter untuk mengatur aktuator seperti *exhaust fan* dan *solenoid valve* secara otomatis (Putra & Mulyadi, 2020).

Sistem kendali otomatis ini dapat meningkatkan efisiensi energi dan ketepatan waktu pengeringan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Setiawan & Haryanto (2021), apabila suhu dalam ruang pengering

terlalu tinggi, Arduino dapat mengaktifkan kipas *exhaust* untuk membuang udara panas berlebih. Sebaliknya, jika suhu terlalu rendah, pemanas dapat diaktifkan hingga suhu mencapai ambang optimal. Selain itu, pengontrolan ini juga memungkinkan pencatatan data suhu dan kelembapan secara periodik melalui modul RTC dan penyimpanan ke SD card sebagai log pengeringan.

Oleh karena itu, penting untuk melakukan penelitian tentang “Rancang Bangun Sistem Kendali Berbasis Arduino Uno Pada Alat Pengering Gula Semut” agar diharapkan proses pengeringan gula semut menjadi lebih cepat, efisien dan menghasilkan kualitas produk yang seragam. Selain itu, teknologi ini juga diharapkan memberikan kontribusi dalam peningkatan produktivitas dan modernisasi UMKM Sugaren.

Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang sistem kendali untuk pengeringan gula semut berbasis Arduino Uno.
2. Optimalisasi sistem pengeringan untuk menghasilkan gula semut sesuai SNI 3743-2021

METODE PENELITIAN

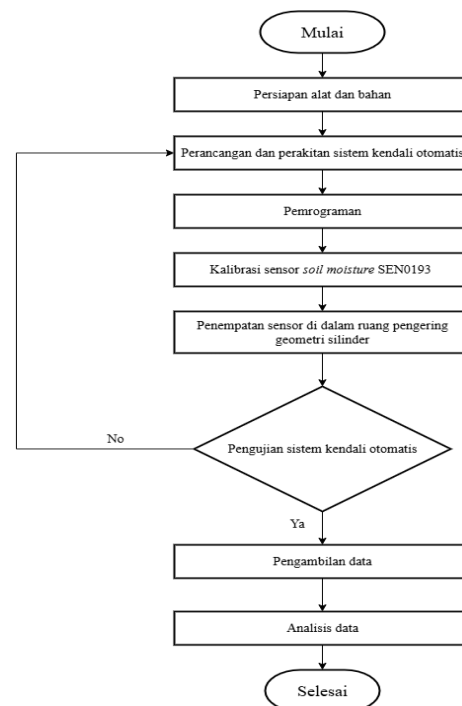
Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini di antaranya yaitu laptop, stop kontak kabel, solder listrik, *software* arduino IDE, *wiring*, dan obeng *full set*. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Board Arduino Uno R3, Arduino IDE, sensor DHT22, sensor *soil moisture* SEN0193, LCD 16×2, Papan PCB (*Printed Circuit Board*), RTC, *relay*, SD card, terminal *block connector*, kabel USB, kabel pelangi, kabel *jumper*, *header male* dan *female*, gas LPG, kran gas, *exhaust fan*, *solenoid valve*, dan gula semut yang diperoleh dari UMKM Sugaren Lombok, Desa Kekait, Kec. Gunungsari, Kabupaten Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat.

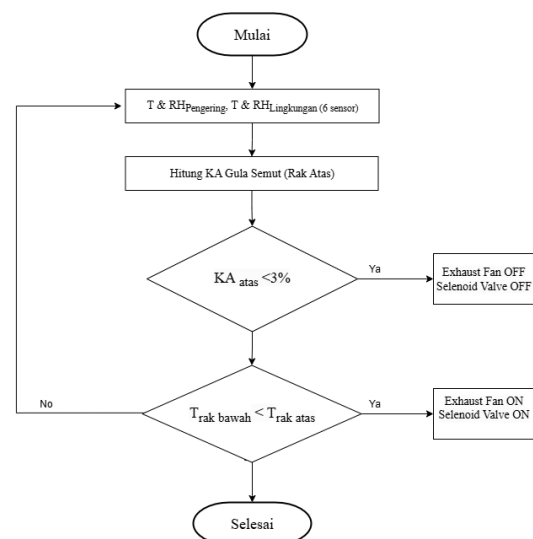
Metode

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental, yang melibatkan percobaan menggunakan alat pengering silinder tipe rak dan berfokus pada pengembangan sistem kendali suhu dan kelembapan pada ruang pengering dan kadar air bahan secara otomatis.

Prosedur Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Prosedur Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Sistem Kendali Otomatis Ruang Pengering

Parameter Penelitian

Beberapa parameter yang diukur dalam penelitian ini, yaitu:

1. Sistem kendali otomatis ruang pengering
2. Suhu (°C)
3. Kelembapan relatif (%)
4. Kadar air

Analisis Data

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{B-C}{B-A} \times 100\%$$

Keterangan:

A = berat cawan kosong

B = berat cawan + sampel sebelum oven

C = berat sampel + sampel sesudah oven

$$\text{Laju pengeringan} = \frac{W_i - W_f}{t}$$

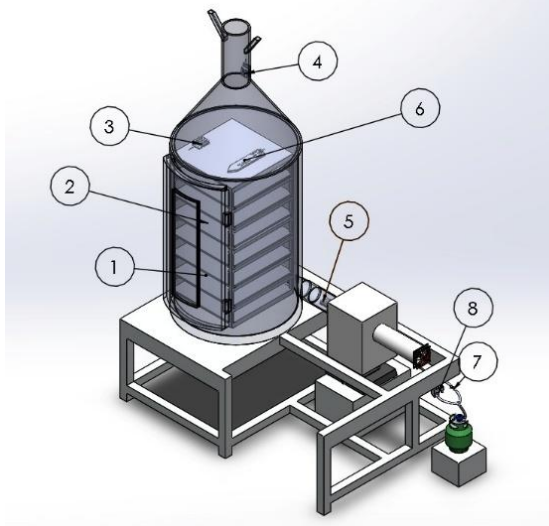
Keterangan:

W_i = berat bahan sebelum dikeringkan (kg)

W_f = berat bahan setelah dikeringkan (kg)

t = lama pengeringan (menit)

Desain Alat Pengering Geometri Silinder



Gambar 3. Desain Alat Pengering Geometri Silinder Tipe Rak

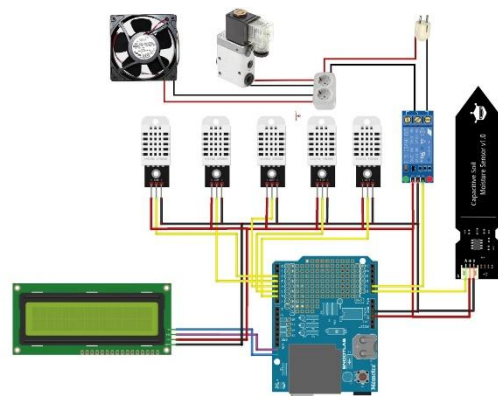
Keterangan:

1. Sensor 1 DHT22 rak bawah
2. Sensor 2 DHT22 rak tengah
3. Sensor 3 DHT22 rak atas
4. Sensor 4 DHT22 outlet
5. Sensor 5 DHT22 Inlet
6. Sensor soil moisture SEN0193
7. Kran gas LPG
8. Solenoid valve

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem Kendali Otomatis Ruang Pengering

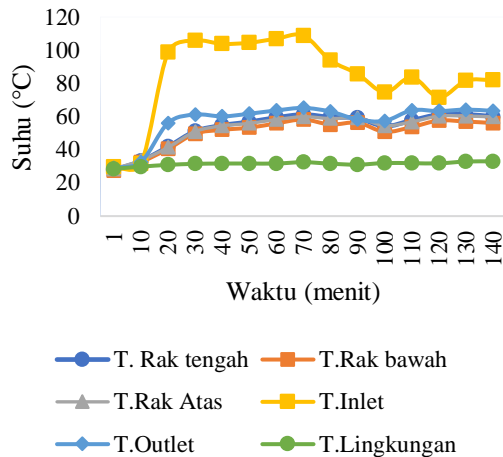
Menurut Santi (2020), tujuan dari perancangan sistem adalah untuk memenuhi kebutuhan dari pemakaian sistem atau *user* mengenai gambaran yang jelas rancangan yang akan dibuat serta diimplementasikan. Sistem kendali di dalam pengering tipe rak geometri silinder menggunakan Arduino Uno sebagai pusat pengendali. Arduino Uno memiliki peran penting dalam menjalankan sistem kendali, termasuk mengoperasikan sensor untuk membaca data suhu, kelembapan udara dan kadar air sebagai variabel penelitian. Selain itu, Arduino Uno juga mengoperasikan sistem kendali yang terhubung dengan *output* dan sistem pemantauan yang dibuat, serta memproses penyimpanan data melalui sistem data *logger*. Di samping menggunakan Arduino Uno, beberapa komponen yang digunakan dalam pembuatan sistem kendali yaitu DHT22, Moisture SEN0193, LCD 16 × 2, relay, data logger, dan SD card. Sensor DHT22 berperan sebagai alat pembaca untuk suhu dan kelembapan relatif. Moisture SEN0193 berperan sebagai pembaca data kadar air pada gula semut. Relay berperan sebagai pemutus sekaligus penghubung arus listrik di dalam ruang pengering. Data logger berperan sebagai perekam data yang dipantau langsung secara *real-time* pada LCD 16 × 2 yang dapat menampilkan data nilai pengukuran.



Gambar 4. Perancangan rangkaian system kendali otomatis menggunakan wiring

Suhu (°C)

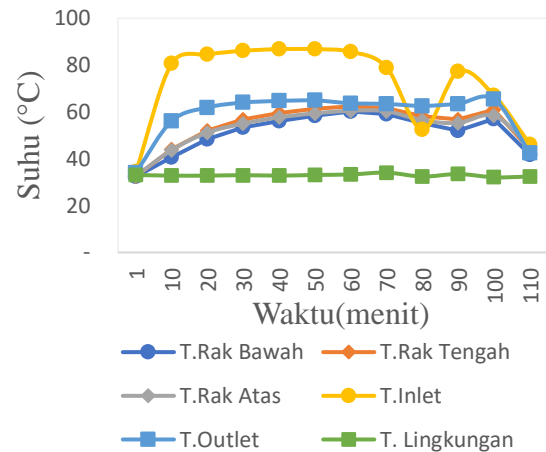
Suhu pada alat pengering geometri silinder tipe rak diukur dengan menggunakan sensor DHT22 yang telah dirancang dan ditempatkan di beberapa titik pengukuran.



Gambar 5. Suhu ruang pengering dan suhu lingkungan selama pengeringan ke-1

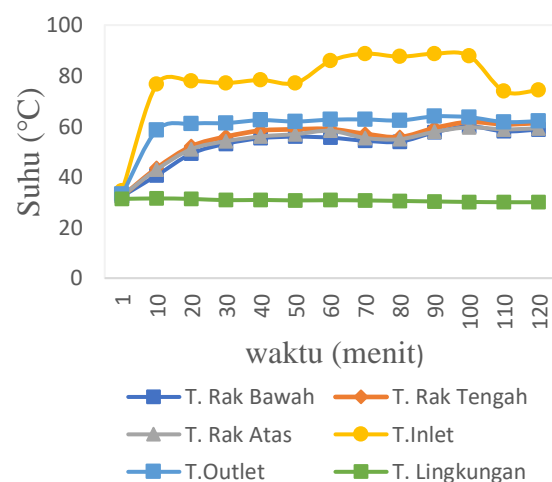
Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa suhu ruang pengering mengalami peningkatan yang signifikan pada awal proses, kemudian mencapai kondisi stabil di pertengahan waktu pengeringan. Suhu rata-rata pada rak bawah sebesar 51,27°C, rak tengah 52,20°C, dan rak atas 52,83°C, dengan suhu inlet rata-rata sebesar 84,19°C, suhu outlet 57,54°C dan suhu lingkungan 31,50°C.

Suhu tertinggi pada rak bawah terjadi pada menit ke-70, yaitu 60,2°C yang sedikit melebihi batas standar, kenaikan ini sejalan dengan tingginya suhu inlet mencapai 108,8°C akibat nyala api yang besar sehingga panas yang masuk ke ruang pengering meningkat. Meski demikian, suhu kembali menurun seiring berjalannya waktu. Penurunan suhu ini disebabkan oleh kerja sistem kendali, yaitu aktuator berupa *exhaust fan* off berperan dalam menahan pelepasan panas berlebih, sementara *solenoid valve* mengurangi suplai bahan bakar sehingga api mengecil. Hal ini menyebabkan suhu dalam ruang pengering terkendali dan tidak terus meningkat, sehingga dapat mempertahankan kualitas gula semut yang dihasilkan.



Gambar 6. Suhu ruang pengering dan suhu lingkungan selama pengeringan ke-2

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa suhu didalam ruang pengering rata-rata sebesar 51,23°C pada rak bawah, rak tengah sebesar 54,19°C, dan pada rak atas 52,99°C, dengan suhu inlet rata-rata 72,25°C, outlet 58,89°C, dan lingkungan 32,95°C. Pada menit ke-60, tercatat suhu tertinggi di rak bawah mencapai 60,2°, namun pada menit ke-70 kembali menurun dan stabil dibawah 60°C pada menit-menit berikutnya. Penurunan ini disebabkan oleh respon aktuator dalam sistem kendali, yaitu exhaust fan dalam kondisi off berperan dalam menahan pelepasan panas berlebih, sementara solenoid valve mengurangi suplai bahan bakar sehingga api mengecil.



Gambar 7. Suhu ruang pengering dan suhu lingkungan selama pengeringan ke-3

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa suhu ruang pengering

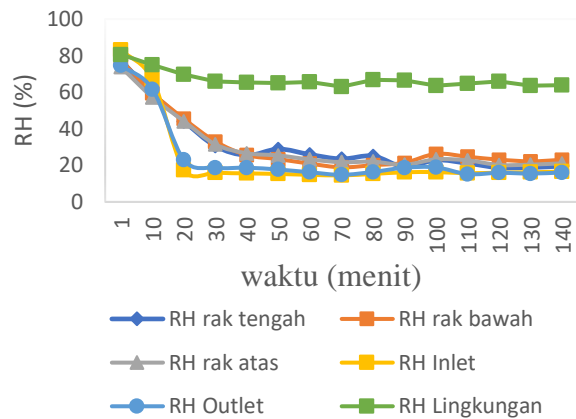
menunjukkan nilai rata-rata rak bawah 52,65°C, rak tengah 55,05°C dan rak atas 53,64°C, dengan suhu inlet rata-rata 77,55°C, Suhu outlet rata-rata 59,76°C dan suhu lingkungan 30,68°C. Pada menit ke-100, suhu rak bawah mencapai 60°C. Kondisi ini menandakan adanya akumulasi panas berlebih akibat tingginya suhu inlet. Namun, setelah itu suhu rak bawah kembali menurun dan stabil dibawah 60°C. Penurunan suhu ini disebabkan oleh pengendalian aktuator, terutama *exhaust fan* dalam kondisi off sehingga aliran udara panas yang semula terlalu tinggi dikompensasikan oleh pengaturan suplai panas melalui *solenoid valve*.

Berdasarkan hasil uji tiga kali pengeringan gula semut, diperoleh bahwa suhu di ruang pengering pada rak bawah berkisar 51,23 – 52,65 °C, rak tengah berkisar 52,20 – 55,05 °C dan pada rak atas berkisar 52,83 – 53,64 °C. Hal ini menunjukkan bahwa pada pengeringan ini mampu mempertahankan suhu ruang pengering dalam kisaran optimal, dengan sebaran panas yang merata antar rak. Menurut Widiastuti *et al.* (2020), pengendalian suhu secara otomatis menggunakan sistem berbasis mikrokontroler dapat menjaga kestabilan proses pengeringan dengan mencegah suhu berlebih yang dapat merusak warna dan aroma bahan pangan. Dalam pengeringan gula semut, suhu yang terlalu tinggi (>65°C) dapat menyebabkan karamelisasi berlebih, perubahan warna menjadi terlalu gelap, serta kehilangan aroma khas nira (Nugroho *et al.*, 2021). Oleh karena itu, sistem kontrol pada alat ini berperan penting untuk menjaga agar proses pengeringan berlangsung efisien tanpa mengorbankan mutu produk.

Kelembapan Relatif (%)

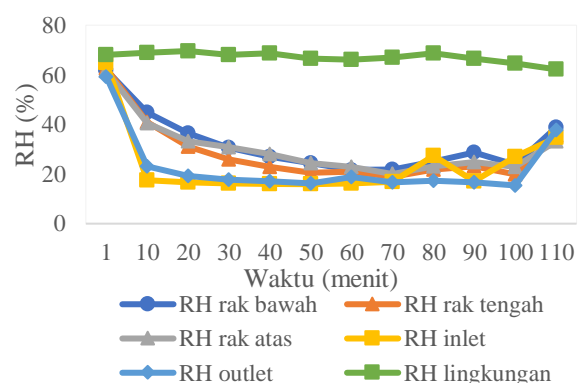
Kelembapan relatif pada alat pengering geometri silinder tipe rak diukur dengan menggunakan sensor DHT22 yang telah dirancang dan ditempatkan dibeberapa titik pengukuran. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan grafik hubungan antara kelembapan relatif ruang pengering dan lingkungan dengan lama waktu pengeringan

pada setiap perlakuan.



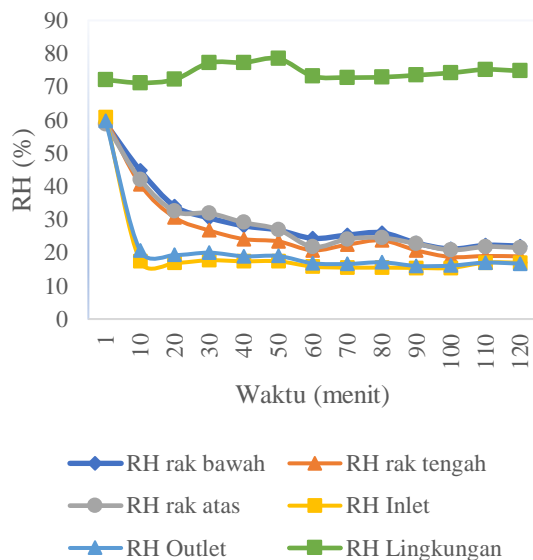
Gambar 8. RH ruang pengering dan RH Lingkungan selama pengeringan ke-1

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa nilai kelembapan relatif (RH) pada ruang pengering mengalami penurunan yang cukup signifikan dari kondisi awal hingga akhir proses. Pada menit pertama, RH di setiap rak masih tinggi sekitar 73–77%, mendekati kondisi kelembapan lingkungan 80,6%. Namun, seiring berjalannya waktu, RH di rak bawah, tengah, maupun atas menurun secara bertahap hingga mencapai kisaran 18–26% pada menit ke-120–130. Rata-rata RH selama proses pengeringan pada rak bawah sebesar 31,01%, rak tengah sebesar 30,71% dan rak atas 30,22%, sedangkan RH lingkungan relatif stabil sekitar 66,96%. Selain itu, perbedaan RH antara inlet 23,73% dan outlet 24,13% menunjukkan bahwa terjadi perpindahan massa uap air dari bahan menuju udara pengering.



Gambar. 9 RH ruang pengering dan RH Lingkungan selama pengeringan ke-2

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa kelembapan relatif (RH) pada ruang pengering mengalami penurunan signifikan seiring waktu. Pada menit pertama, RH di rak bawah, tengah, dan atas masih tinggi (sekitar 61–63%), sebanding dengan RH lingkungan sebesar 68,1%. Namun, setelah 60 menit, kelembapan relatif pada ketiga rak turun drastis hingga mencapai kisaran 20–23%. Rata-rata kelembapan relatif di rak bawah sebesar 32,08, rak tengah sebesar 28,68, dan rak atas 30,45%, sedangkan kelembapan relatif lingkungan sebesar 67,08%, rata-rata RH inlet adalah 23,88%, dan RH outlet 22,92%. Fenomena kenaikan kembali RH pada menit ke-80 hingga 110, terutama pada rak bawah hingga 38,8% dan 35,5% pada rak tengah, hal ini terjadi akibat adanya kontrol sistem pengendali, seperti pelemahan suplai panas atau perubahan sirkulasi udara oleh aktuatur.



Gambar. 10 RH ruang pengering dan RH Lingkungan selama pengeringan ke-3

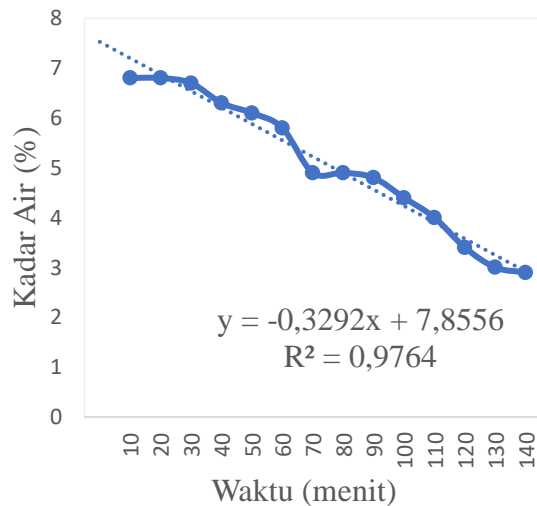
Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa pola penurunan kelembapan relatif (RH) yang cukup konsisten dari awal proses hingga menit ke-120. Pada menit pertama, kelembapan relatif di rak bawah, tengah, dan atas masih tinggi sekitar 58–60%, dengan nilai RH lingkungan tercatat 72,1%. Namun, setelah 20 menit, RH

pada ketiga rak turun drastis menjadi kisaran 30–34%, sementara RH lingkungan tetap tinggi sekitar 72,2%. Rata-rata RH selama proses pengeringan pada rak bawah adalah 29,77%, rak tengah 26,90%, dan rak atas 29,12%, sedangkan RH lingkungan sebesar 74,24%, RH pada inlet sebesar 19,94% dan outlet 21,06%. Pada menit ke-70 hingga 110, di mana RH rak bawah, tengah, dan atas sedikit meningkat (sekitar 22–26%). Kondisi ini terjadi akibat pengendalian sistem yang menjaga suhu dan kelembapan ruang pengering agar tidak terlalu kering, sehingga mutu produk tetap terjaga.

Berdasarkan hasil uji tiga kali pengeringan gula semut, diperoleh bahwa rata-rata kelembapan relatif di ruang pengering pada rak bawah berkisar 29,77 – 31,01%, rak tengah berkisar 26,90 – 30,71% dan pada rak atas berkisar 29,12 – 30,22%. Kelembapan relatif pada seluruh proses pengeringan menunjukkan kecenderungan penurunan RH dari pengeringan pertama hingga ketiga menunjukkan adanya peningkatan kestabilan sistem. Rata-rata RH ruang pengering terus menurun, sementara RH lingkungan tetap tinggi. Menurut Nugroho *et al.*, (2021), penurunan nilai RH pada ruang pengering disebabkan oleh meningkatnya suhu udara akibat proses pemanasan, di mana kenaikan suhu udara akan menurunkan kelembapan relatif karena udara panas memiliki kemampuan menampung uap air lebih besar. Selain itu, sistem kendali otomatis pada alat pengering mampu mempertahankan kestabilan suhu dan kelembapan di dalam ruang pengering melalui pengaturan kecepatan kipas dan suplai bahan bakar, sehingga proses pengeringan berlangsung efisien dan seragam.

Kadar Air

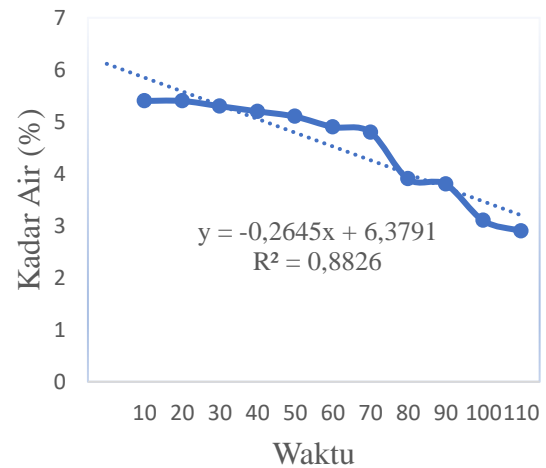
Dalam penelitian ini kadar air diukur menggunakan sensor *soil moisture* SEN0193 yang telah dikalibrasi. Berdasarkan hasil penelitian, di peroleh grafik perubahan kadar air terhadap waktu pengeringan



Gambar. 11 kadar air selama pengeringan ke-1

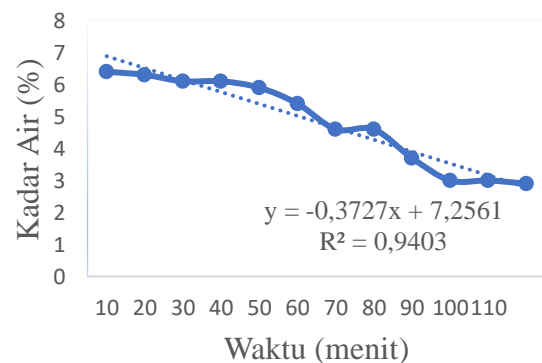
Selama pengeringan gula semut, penurunan kadar air terjadi dari awal sampai akhir proses pengeringan sesuai dengan gambar. Kadar air awal pada pengeringan ke-1 dimasing-masing rak dianggap seragam yaitu sebesar 6,8%, sementara kadar akhir gula semut setelah dikeringkan pada rak atas, tengah dan bawah berturut-turut sebesar 2,9% , 2,8 dan 2,7. Persamaan regresi linear yang diperoleh yaitu $y = -0,3292x + 7,8556$ dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,9764$. Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan bahwa hubungan antara waktu pengeringan dan kadar air sangat kuat serta model regresi dapat mewakili data dengan baik.

Koefisien regresi negatif (-0,3292) menunjukkan bahwa setiap penambahan 10 menit waktu pengeringan rata-rata menurunkan kadar air sebesar $\pm 0,33\%$. Dari grafik juga terlihat bahwa laju penurunan kadar air tidak selalu konstan. Pada fase awal (0–60 menit) penurunan berlangsung cepat, sedangkan setelah menit ke-70 penurunan melambat. Hal ini sesuai dengan teori pengeringan, di mana fase awal merupakan periode penguapan air bebas, sementara fase berikutnya didominasi oleh pelepasan air terikat yang lebih sulit dikeluarkan (Mujumdar, 2014).



Gambar. 12 kadar air selama pengeringan ke-2

Pada pengeringan ke-2 kadar air awal sebesar 5,3% , kadar air akhir setelah dikeringkan pada rak atas, tengah dan bawah berturut-turut sebesar 2,9% , 2,6% dan 2,6%. Pola penurunan kadar air relatif stabil pada menit-menit awal hingga pertengahan, kemudian menurun lebih tajam pada menit ke-60 hingga ke-80. Hal ini menggambarkan bahwa pada awal pengeringan, proses difusi air berlangsung lambat karena sebagian besar air bebas sudah mulai berkurang, lalu penurunan signifikan terjadi saat air terikat mulai dilepaskan. Persamaan regresi linear $y = -0,2645x + 6,3791$ dengan nilai $R^2 = 0,8826$ menunjukkan adanya hubungan kuat antara waktu pengeringan dan penurunan kadar air.



Gambar. 13 kadar air selama pengeringan ke-3

Pada pengeringan ke-3 kadar air awal sebesar 6,4%, setelah dikeringkan kadar air akhir pada rak atas, tengah dan bawah secara

berturut-turut sebesar 2,9% , 2,8% dan 2,8%. Pada menit awal hingga menit ke-50, kadar air menurun perlahan dari 6,3% menjadi sekitar 5,9%. Setelah menit ke-60 hingga ke-90, penurunan menjadi lebih tajam, dari 5,3% turun ke sekitar 3,7%. Fase ini menggambarkan pelepasan air bebas yang masih tersisa di dalam bahan. Selanjutnya, menjelang akhir pengeringan (menit ke-100 hingga 120), penurunan kadar air mulai melambat, mencapai nilai akhir sekitar 2,9%. Persamaan regresi linear yang diperoleh adalah $y = -0,3727x + 7,2561$ dengan nilai $R^2 = 0,9403$, mendekati 1 menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang sangat kuat antara waktu pengeringan dan kadar air bahan.

Secara keseluruhan, ketiga perlakuan mampu menurunkan kadar air hingga sesuai dengan standar mutu gula semut menurut SNI 01-3743-1995 yaitu maksimal 3% tanpa merusak warna dan tekstur (Kurniawan et., al 2020). Selain itu, Yulianingsih et.,al. (2020) menjelaskan bahwa semakin rendah kadar air hasil pengeringan maka semakin tinggi kualitas gula semut yang dihasilkan karena lebih sesuai dengan standar mutu nasional maupun internasional.

Efisiensi Pemakaian Bahan Bakar

Tabel 1. Pemakaian Bahan Bakar Pada Alat Pengering Menggunakan Sistem Kontrol

Pengeringan	Berat bahan sebelum dikeringkan (kg)	Berat bahan setelah dikeringkan (kg)	Lama pengeringan (menit)	Pemakaian bahan bakar (kg)	Laju pengeringan (kg/menit)
1	3.080	2.900	140	0,604	0,00129
2	3.088	2.953	110	0,399	0,00123
3	3.076	2.967	120	0,902	0,00091
Total	3.081	2.940	123	1.095	0,00114

Tabel 2. Pemakaian Bahan Bakar Pada Alat Pengering Menggunakan Tanpa Sistem Kontrol

Pengeringan	Berat bahan sebelum dikeringkan (kg)	Berat bahan setelah dikeringkan (kg)	Lama pengeringan (menit)	Pemakaian bahan bakar (kg)	Laju Pengeringan (kg/menit)
1	3.203	2.900	180	1.701	0,00168
2	3.000	2.803	180	0,919	0,00109
Total	3.101	2.852	180	2.620	0,00139

Berdasarkan data pada Tabel 10, total bahan bakar yang digunakan pada alat pengering dengan sistem kontrol adalah sebesar 1,095 kg dengan rata-rata waktu pengeringan 123 menit. Sedangkan pada Tabel 11, alat pengering tanpa sistem kontrol memerlukan bahan bakar sebesar 2,620 kg dengan waktu pengeringan 180 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan sistem kontrol mampu menghemat bahan bakar sebesar 58,2% dibandingkan alat pengering tanpa sistem kontrol. Selain itu, laju pengeringan rata-rata pada alat dengan sistem kontrol adalah 0,00114 kg/menit, sedangkan pada alat tanpa kontrol sebesar 0,00139 kg/menit. Nilai laju pengeringan yang sedikit lebih tinggi pada sistem tanpa kontrol menunjukkan bahwa peningkatan laju pengeringan dicapai melalui pembakaran bahan bakar yang lebih besar dan tidak efisien, karena suhu dalam ruang pengering tidak terjaga secara stabil dan cenderung fluktuatif. Sebaliknya, pada sistem kontrol, proses pengeringan berlangsung lebih stabil dengan penggunaan energi yang lebih efisien berkat pengaturan suhu otomatis melalui mekanisme aktuator. Sistem kontrol bekerja dengan membaca suhu ruang pengering menggunakan sensor DHT22, kemudian mengatur bukaan *solenoid valve* dan pengoperasian *exhaust fan* untuk menjaga suhu agar tetap berada pada *setpoint* (60°C). Ketika suhu melebihi batas, sistem akan menutup suplai gas dan mengaktifkan kipas untuk menurunkan suhu. Sebaliknya, ketika suhu turun di bawah batas, katup gas akan terbuka kembali untuk menjaga kestabilan suhu. Mekanisme ini menyebabkan pemakaian bahan bakar menjadi lebih hemat dan suhu pengeringan lebih konstan dibandingkan sistem tanpa kontrol yang bekerja secara manual dan cenderung menghasilkan panas berlebih. Menurut Mujumdar (2014), kestabilan suhu pada proses pengeringan berperan penting dalam menentukan efisiensi energi. Ketidakstabilan suhu menyebabkan sebagian besar energi panas hilang ke lingkungan tanpa memberikan kontribusi signifikan terhadap proses evaporasi air pada bahan.

Hal ini juga sejalan dengan hasil penelitian Nugroho *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa penerapan sistem kendali otomatis berbasis sensor dan aktuator mampu menekan konsumsi bahan bakar secara signifikan karena energi panas hanya digunakan sesuai kebutuhan pengeringan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kendali otomatis berbasis Arduino Uno mampu menjaga suhu ruang pengering stabil pada kisaran 51-56 °C dengan fluktuasi $\pm 1,8$ °C dan kelembapan relatif 25-32%. Kondisi ini menunjukkan respon sistem yang cepat terhadap perubahan suhu di dalam ruang pengering. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Khalil *et al.*, (2016) yang merancang sistem kendali pengering gabah menggunakan kolektor surya dan air sebagai pemanas bantu, di mana kestabilan suhu ruang pengering diperoleh pada kisaran $\pm 2,5$ °C. dibandingkan dengan sistem berbasis energi surya, sistem kendali pada penelitian ini menunjukkan kestabilan yang lebih baik karena sumber energi pemanas lebih konstan (LPG), serta algoritma kontrol sederhana yang mampu menjaga suhu pada *setpoint* dengan eror kecil. Dengan demikian, rancangan sistem kendali berbasis Arduino Uno dapat dianggap efektif untuk mempertahankan suhu pengeringan gula semut pada kondisi optimum, sekaligus meningkatkan efisiensi energi hingga 58,2% dibandingkan sistem manual.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem kendali otomatis pada mesin pengering gula semut menggunakan Arduino Uno menjadi pusat pengendali, sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan relatif, sensor *soil moisture* SEN 0193 untuk mengukur kadar air, *relay* untuk mengontrol *exhaust fan* dan *solenoid valve*, LCD 16 × 2 untuk menampilkan data, data *logger* dan RTC *shield* untuk merekam data secara langsung ke SD card. Penerapan sistem

kontrol pada alat pengering gula semut ini terbukti optimal dalam meningkatkan efisiensi energi, kestabilan suhu, serta kualitas hasil pengeringan sesuai standar nasional.

2. Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem pengeringan yang dirancang dengan pengendalian suhu dan kelembapan berbasis mikrokontroler Arduino mampu melakukan optimalisasi proses pengeringan gula semut sesuai standar SNI 3743-2021. Sistem kontrol otomatis berhasil menjaga suhu ruang pengering pada kisaran 50–55°C, serta kelembapan relatif (RH) antara 20–35%, yang merupakan kondisi ideal untuk pengeringan gula semut tanpa menyebabkan perubahan warna, aroma, dan cita rasa. Dari sisi efisiensi energi, sistem kontrol otomatis mampu menghemat penggunaan bahan bakar hingga 58,2% dibandingkan sistem tanpa kontrol, dengan total konsumsi bahan bakar sebesar 1,095 kg dan rata-rata waktu pengeringan 123 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem kendali otomatis bekerja efektif dalam menjaga suhu sesuai *setpoint* tanpa pemborosan energi panas.

Saran

Setelah melakukan penelitian, saran dari penulis yang dapat disampaikan untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan sensor tambahan, seperti sensor aliran udara dan sensor kadar air yang lebih spesifik, agar akurasi pemantauan proses pengeringan secara real time dapat ditingkatkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggara. A. Rahman, A. and Mufti, A. (2018a). Rancang Bangun Sistem Pengatur Pengisian Air Galon Otomatis Berbasis Mikrokontroler ATmega328P. *Jurnal Karya Ilmiah Teknik Elektro*, 3(2), 2252-7036.
- Amanah, H.Z., T, Erlinda, Rahayoe, S., Setyowati, P. Analisis Kinerja Alat

- Pengering Tipe Rak (Cabinet Dryer) untuk Pengeringan Gula Semut. *Seminar Nasional Sains & Teknologi, Lembaga Penelitian Universitas Lampung*, 19-20 November 2013: 1260-1268.
- Fitri, A., Maulud, K. N. A., Pratiwi, D., Phelia, A., Rossi, F., & Zuhairi, N. Z. (2020). Trend of Water Quality Status In Kelantan River Downstream, Peninsular Malaysia. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 16(3), 178–184.
- Fitri, Z., 2020. *Analisis Energi Panas Pada Proses Pengeringan Daun Kelor (Moringa Oleifera) Menggunakan Alat Pengering Tipe Efek Rumah Kaca (Erk)*. Skripsi. Fakultas Teknologi Pangan Dan Agroindustri. Universitas Mataram.
- Hameed, A. A., Sultan, A. J., & Booneya, M. F. (2020). Design and Implementation a New Real Time Overcurrent Relay Based on Arduino MEGA. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 881(1), 012142. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/881/1/012142>
- Islam, H. I., Nabilah, N., Atsaurry, S. S., Saputra, D. H., Pradipta, G. M., Kurniawan, A., Syafutra, H., Irmansyah, I., & Irzaman, I. (2016). *Sistem Kendali Suhu Dan Pemantauan Kelembaban Udara Ruangan Berbasis Arduino Uno Dengan Menggunakan Sensor Dht22 Dan Passive Infrared (Pir)*. June 2017, SNF2016-CIP-119-SNF2016-CIP-124. <https://doi.org/10.21009/0305020123>
- Khakim, L., Afriliana, I., Nurohim, N., & Rakhman, A. (2022). Proteksi Kebocoran Gas LPG Rumah Tangga Berbasis Mikrokontroler. *Komputika : Jurnal Sistem Komputer*, 11(1), 40–47. <https://doi.org/10.34010/komputika.v11i1.4977>
- Khalil, F., Nelwan, L., & Subrata, I. D. (2016). Design of Control System for Grain Drying with Solar Collector and Heat Storage. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 04(1), 87–96. <https://doi.org/10.19028/jtep.04.1.87-96>
- Kiswanta, K. (2018). Rancang Bangun Panel Kontrol Selenoid Valve Sistem Terbuka Berbasis Program Dan Manual Pada Untai Uji Beta (Uub). *EPIC : Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control*, 2(1). <https://doi.org/10.32493/epic.v2i1.1299>
- Kurniawan, H., Bintoro, N., & Karyadi, J. N. W. (2018). Pendugaan Umur Simpan Gula Semut dalam Kemasan Dengan Pendekatan Arrhenius. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*, 6(1), 60–68.
- Kurniawan, H., Irfan Khalil, F., Rizqia Septiyana, K., Adnand, M., Adriansyah, I., Nurkayanti, H., & Mataram afiliasi, U. (2020). Peningkatan Kualitas Gula Semut Melalui Introduksi Alat Pengering bagi Kelompok Pengrajin Gula Aren di Desa Kekait Kabupaten Lombok Barat. *JCommdev-Journal Of Community Development & Empowerment*, 1(2), 88–95.
- Kurniawan, H., Septiyana, K. R., Adnan, M., Ardiansyah, I., & Nurkayanti, H. (2020). Karakteristik Pengeringan Gula Semut Menggunakan Alat Pengering Tipe Rak Geometri Silinder. *Rona Teknik Pertanian*, 13(October), 1–13.
- Kurniawan, H., Yuniarto, K., & Irfan Khalil, F. (2018). Introduksi Teknologi Pengemasan Gula Aren di Desa Kekait Kabupaten Lombok Barat. *WIDYABHAKTI Jurnal Ilmiah Populer*, 1(1), 118–123. <https://doi.org/10.30864/widyabhakti.v1i1.28>
- Meldayanoor, Ilmannafian, A. G., & Wulandari, F. (2019). Pengaruh Suhu Pengeringan Terhadap Kualitas Produk Gula Semut dari Nira. *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, 6(1), 1–8.

- <https://doi.org/10.34128/jtai.v6i1.81>
- Mujumdar, A. S. (2014). *Handbook on Industrial Drying Preview*.
- Nawansih, O., Suroso, E., & Wibisono, A. R. (2017). Optimalisasi Bahan Baku Dan Kapasitas Kerja Alat Granulator Pada Proses Pembuatan Gula Semut Aren (Studi Kasus Kelompok Pengrajin Gula Aren Wan Abdurahman Sumber Agung Kemiling).
- Septiyana, K. R., Adnand, M., Adriansyah, I., Nurkayanti, H., & Kurniawan, H. (2019). Introduksi Alat Pengereng bagi Pengrajin Gula Semut di Desa Kekait Kecamatan Gunung Sari Kabupaten Lombok Barat. *Widyabhakti Jurnal Ilmiah Populer*, 1(3), 83–90.
- Zuliana, C., Endrika, W., & Hadi, S. W. (2016). Pembuatan Gula Semut Kelapa (Kajian Ph Gula Kelapa Dan Konsentrasi Natrium Bikarbonat). *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, 4(1), 109–119.