

Sistem Pengering Anggur Berbasis Kolektor Surya dengan Pelacak Matahari dan Kontroler PID

Bagus Caesar Muharam, Muhammad Rivai, dan Fajar Budiman
Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: muhammad_rivai@ee.its.ac.id

Abstrak—Anggur memiliki kandungan air sebesar 75-80%, sehingga rentan terhadap aktivitas fisiologis seperti respirasi dan transpirasi yang menyebabkan anggur sensitif terhadap aktivitas mikroba seperti pembusukan. Produksi anggur di Indonesia selama 10 tahun ke belakang memiliki rata-rata sebesar 10.932,8 ton. Menanggapi sifat dan peluang produksi anggur, pengeringan anggur menjadi kismis merupakan solusi untuk memperpanjang umur konsumsi anggur. Metode pengeringan dengan penjemuran langsung di bawah matahari memerlukan waktu yang lama, dan menghasilkan luaran yang kurang bagus. Untuk menambah efisiensi dan memaksimalkan luarannya, maka pada penelitian ini digunakanlah teknologi rekayasa surya dan rangkaian elektronika sebagai perbaikan dari cara konvensional. Alat ini menggabungkan prinsip pengeringan anggur dengan energi surya secara tidak langsung, dengan kolektor surya yang sudah dilengkapi dengan pelacak matahari serta kontrol proporsional integral derivative (PID) pada sistem penyaluran udaranya. Pengujian alat menghasilkan suhu udara 72,69 °C, dengan sistem pengaliran udara yang lebih merata. Dengan suhu yang dioptimalkan, serta sistem pengeringan yang lebih merata dihasilkan pengeringan yang lebih cepat dimana anggur pada alat pengering memiliki berat akhir sebesar 48,19 gram setelah 4 hari pengeringan. Dalam keadaan tersebut anggur sudah dapat disimpan dengan waktu penyimpanan lebih lama sementara penjemuran konvensional masih menyisahkan 194,33 gram.

Kata Kunci—Kolektor Surya, Kontroler PID, Pelacak Matahari, Pengering Anggur.

I. PENDAHULUAN

PENGERINGAN merupakan salah satu cara pengawetan makanan dengan cara menghilangkan air untuk memperlambat pertumbuhan mikroorganisme pengurai [1]. Hal ini dilakukan karena kandungan air dalam anggur sebanyak 75-80% yang membuatnya sensitif terhadap aktivitas mikroba sehingga rentan busuk [2]. Pengeringan anggur secara konvensional memiliki luaran yang tidak merata serta kualitas yang kurang baik karena terpapar langsung dengan lingkungan. Di Indonesia sendiri produksi anggur memiliki peluang cukup baik dimana produksinya tercatat stabil pada rata-rata 10.932,8 ton [3]. Melihat peluang tersebut, pengeringan anggur menjadi kismis merupakan salah satu alternatif pemrosesan yang dapat dilakukan.

Metode pengeringan yang dipilih adalah pengeringan surya tidak langsung (*active solar dryer*), dimana pengering terpisah menjadi ruang pengeringan dan kolektor/pengumpul panas dari radiasi matahari yang digunakan untuk memanaskan fluida sebagai elemen pemanas yang akan

disebarkan ke dalam ruang pengeringan secara merata. Kolektor yang akan digunakan memiliki nama model *parabolic trough collector*, yang bekerja dengan prinsip memusatkan radiasi pada tabung penerima/absorber. Untuk memaksimalkan luaran dari kolektor, digunakan juga pelacak matahari yang bertujuan agar wajah kolektor/pengumpul dapat selalu tegak lurus dengan matahari sehingga radiasi yang diterima tabung penerima lebih maksimal. Kemudian digunakan pula sistem kontroler proporsional integral dan derivatif untuk mengatur suhu, sehingga aktuator akan bergerak lebih halus yang mengakibatkan energi yang terpakai menjadi lebih efektif.

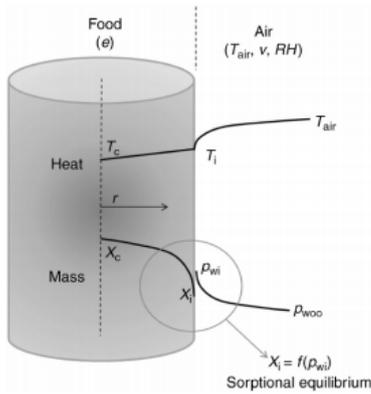
Penggunaan ruang pengeringan dan fluida dengan model pengeringan surya tidak langsung bertujuan agar panas yang digunakan untuk mengeringkan objek, dalam kasus ini anggur, dapat tersebar secara merata, sehingga luaran yang didapatkan akan menjadi lebih optimal dengan waktu yang lebih efisien. Untuk menunjang hal-hal tersebut digunakan juga teknologi tambahan seperti sistem kendali PID dan pelacak matahari. Desain dari kolektor panas surya akan bergantung pada tempat dimana kolektor ditempatkan, karena dalam pembuatannya banyak sekali kombinasi bahan dan komponen yang dapat digunakan, tergantung dimana alat ini digunakan. Dengan adanya pengering surya ini, diharapkan dapat terciptanya usaha produksi kismis dengan kualitas yang lebih baik. Alat ini merupakan alternatif sistem pengeringan yang dapat mempercepat waktu pengeringan dengan kualitas luaran yang konsisten.

II. TINJAUAN PUSTAKA

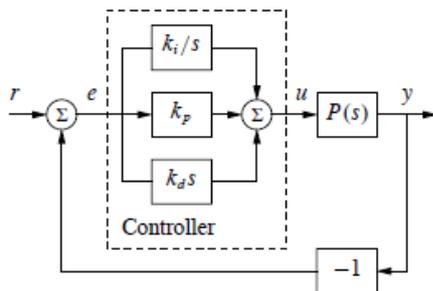
A. Pengeringan Anggur

Pengeringan merupakan salah satu cara untuk mengawetkan anggur, yaitu dengan mengubahnya menjadi kismis. Pengeringan pada dasarnya menghilangkan kandungan air sampai tingkat kelembaban yang tepat tercapai, yang menghambat pertumbuhan bakteri, jamur, dan ragi, memperlambat degradasi enzim dan menonaktifkan sebagian besar reaksi fisik dan biokimia [4]. Pada dasarnya, berat anggur sedang rata-rata yaitu 8,25 gram. Kemudian untuk membuat 1 *pound* kismis dibutuhkan kira-kira 4 *pound* anggur.

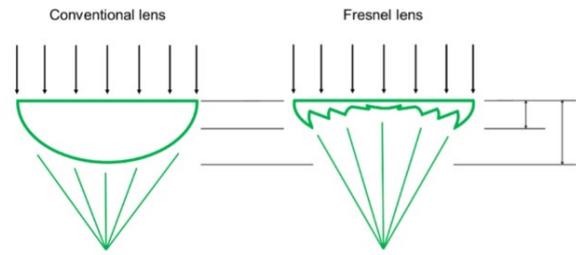
Anggur mengalami pengeringan dengan metode-metode yang ada seperti dijemur langsung, *solar-tunnel*, *air dryer*, maupun *microwave*. Anggur akan menyusut beratnya hingga 16% atau hampir ¼ nya setelah masa pengeringan [5]. Output dari proses itulah yang diberi nama kismis.



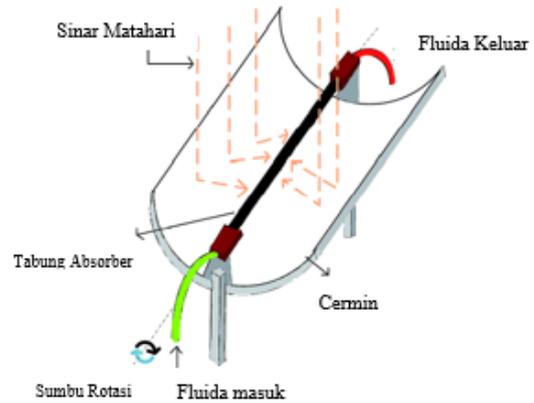
Gambar 1. Representasi Material Terhadap Udara Panas [6].



Gambar 2. Blok Diagram Kontroler PID [10].



Gambar 3. Perbandingan lensa biasa dan lensa fresnel [12].



Gambar 4. Rancang Bangun Parabolic Through Solar Collector.

A. Hot Air Drying

Bahan basah yang ditempatkan di media yang memiliki tekanan air lebih rendah akan mengalami dehidrasi sampai keseimbangan antara bahan dan media tercapai [6].

Pengeringan dengan udara panas sendiri merupakan fenomena kompleks yang melibatkan massa simultan dan proses transportasi energi dalam suatu sistem yang bersifat higroskopis dan menciut. Variabel-variable yang perlu diperhatikan dalam proses ini diantaranya suhu udara, kelembapan relatif, kecepatan udara, serta ketebalan objek yang dikeringkan. Perlakuan sebelum proses juga dapat mempengaruhi kecepatan pengeringan objek serta dapat menjaganya dari kerusakan secara biokimia.

Gambar 1 menunjukkan representasi skematis dari partikel makanan berbentuk silinder di kontak dengan udara panas selama pengeringan. Jenis diagram ini diperlukan untuk pemahaman yang tepat tentang panas dan massa pemindahan yang terjadi saat proses pengeringan terjadi. Berdasarkan proses yang spesifik, hilangnya air pada proses penguapan dapat dibatasi oleh sifat transfer panas dan massa objek, atau resistansi dari keduanya dapat digabungkan yang mana keduanya saling bergantung satu sama lain.

B. Direct Moisture Measurement

Direct Moisture Measurement merupakan metode yang dianggap memberikan pengukuran kadar air yang benar, dan digunakan untuk mengkalibrasi metode tidak langsung yang lebih praktis dan lebih cepat. Metodenya adalah dengan menghilangkan kadar air suatu objek, kemudian menghitung berat yang hilang dari objek tersebut. Kandungan air pada keadaan basah dirumuskan

$$\%mc_{wb} = \frac{W_w - W_d}{W_w} \tag{1}$$

Kandungan air pada keadaan kering dirumuskan

$$\%mc_{wb} = \frac{W_w - W_d}{W_w} \tag{2}$$

Konversinya dapat dirumuskan sebagai

$$\%mc_{wb} = \frac{W_w - W_d}{W_w} \tag{3}$$

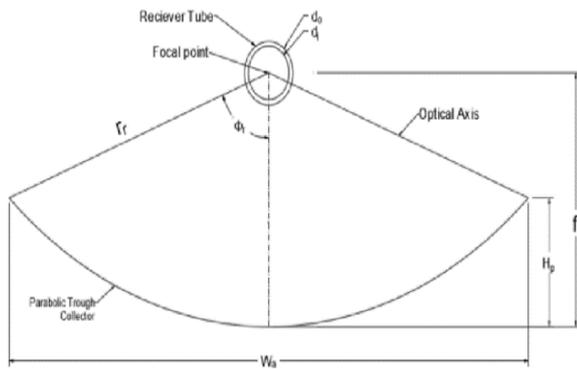
C. Kontroler Proportional Integral Derivative

Kontroler PID merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut [7]. Kontroler PID terdiri dari proportional, integral, dan derivative. Kontrol proporsional melakukan koreksi pada variabel terkontrol yang sebanding dengan perbedaan nilai yang diinginkan (set point) dan nilai yang terukur (input value). Dengan kata lain, output dari kontrol proporsional adalah produk perkalian dari sinyal error dan nilai gain proporsional [8].

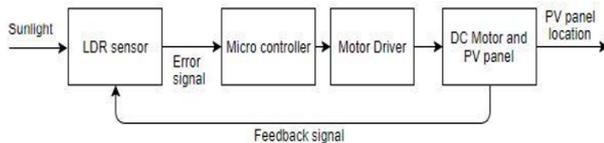
Kontrol PID menghasilkan sinyal kontrol yang sebanding dengan sinyal error dari aksi proporsional, sebanding dengan total sinyal error dari aksi integral, dan sebanding dengan turunan dari kesalahan yang sekarang dengan kesalahan yang sebelumnya (aksi derivative). Sinyal error merupakan selisih antara set point dengan nilai keluaran aktual [9]. Blok diagram dari sistem umpan balik (feed back closed loop) kontroler PID ditunjukkan pada Gambar 2 [10].

D. Lensa Freshnel

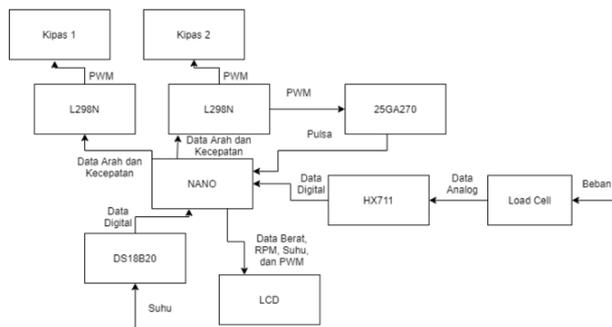
Tenaga surya terkonsentrasi merupakan aplikasi energi terbarukan yang menarik yang mampu memberikan energi termal suhu tinggi. Sistem penyimpanan energi biasanya diintegrasikan dengan kolektor surya untuk menyimpan energi selama berjam-jam dan tanpa adanya sinar matahari



Gambar 5. Parameter dan Model Pembuatan Kolektor Model Parabola [18].



Gambar 6. Solar Tracking Berbasis Sinyal Umpan Balik [20].



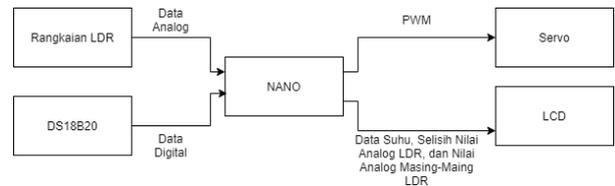
Gambar 7. Diagram Blok Ruang Pengeringan.

[11]. Fresnel lens seperti pada Gambar 3 [12] merupakan salah contoh dari teknologi tersebut. Fresnel lens yang telah dikembangkan memiliki permukaan yang rata dan permukaan yang berbentuk prisma. Fresnel lens dirancang untuk membiaskan cahaya dari pusat menjadi sinar paralel. Akan tetapi pada pemanfaatan tenaga surya terkonsentrasi pemanfaatannya menjadi pemusatan cahaya paralel menjadi sinar yang diperkuat.

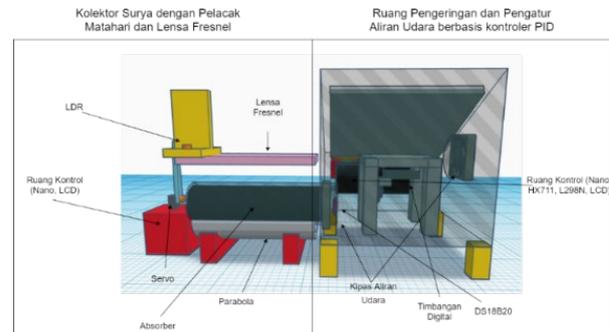
E. Kolektor Surya

Kolektor surya model parabola merupakan salah satu jenis teknologi tenaga surya terpusat. Energi surya yang dikonsentrasikan merupakan energi terbarukan yang hemat biaya [3]. Kolektor surya mengumpulkan energi dengan memusatkan sinar matahari langsung untuk memanaskan cairan, padat atau gas yang kemudian digunakan dalam proses hilir untuk dimanfaatkan [13].

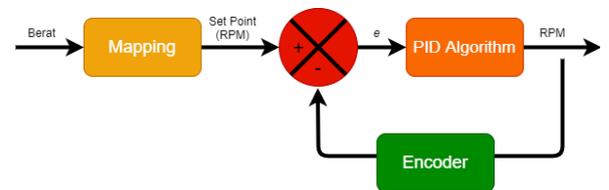
Kolektor surya model parabola seperti pada Gambar 4 terdiri dari absorber/penyerap panas, lapisan konsentris transparan, dan bidang cermin berbentuk parabola. Absorber dipasang secara permanen pada fokus konsentrator parabola. Lapisan konsentris transparan digunakan untuk melindungi tabung penyerap dari kehilangan panas dan karenanya tekanan vakum dipertahankan. Konsentrator parabola ditempatkan pada struktur yang kaku bersama dengan mekanisme pelacakan matahari untuk melacak radiasi matahari oleh konsentrator parabola [14].



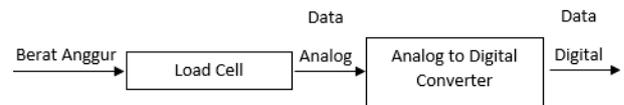
Gambar 8. Diagram Blok Pelacak Matahari.



Gambar 9. Model 3 Dimensi Alat Pengering Anggur.



Gambar 10. Diagram Blok Loop Tertutup Pengatur Aliran Udara Berbasis Kontroler PID.

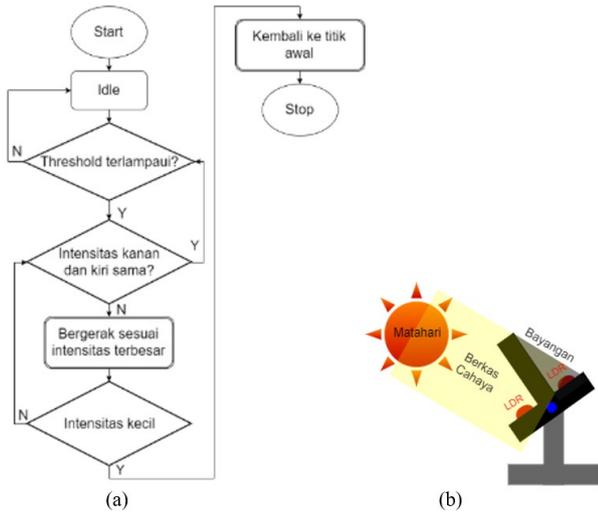


Gambar 11. Diagram Blok Timbangan Digital.

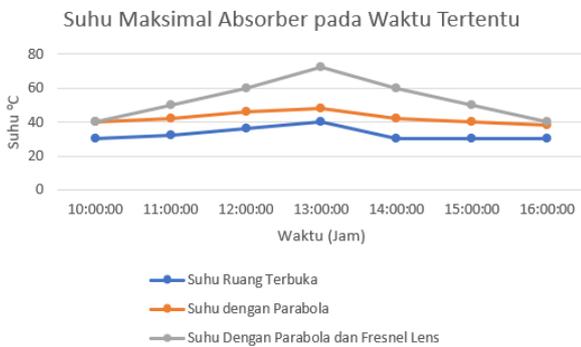
Untuk memberikan suhu tinggi dengan baik, efisiensi kolektor surya kinerja tinggi diperlukan. Sistem dengan struktur ringan dan teknologi dengan biaya rendah untuk proses aplikasi panas bisa didapatkan dengan kolektor surya model parabola (*Parabolic Trough Collector* atau PTC). PTCs bisa secara efektif menghasilkan panas pada suhu antara 50 dan 200°C [15]. Walaupun begitu, efisiensi kolektor berbanding lurus dengan perbedaan suhu antara bagian luar dan dalam kolektor [16]. Parameter dari rancangan parabola dapat dilihat pada Gambar 5 [17]. Parameter-parameter tersebut terdiri dari *rim angle*, *aperture width*, titik fokus parabola, jari-jari parabola, dan tinggi parabola.

F. Pelacak Matahari

Dalam pendekatan pelacakan loop tertutup, berbagai perangkat sensor aktif, seperti perangkat pasangan muatan (*Charged Coupled Device*) atau resistor bergantung cahaya (*Light Dependent Resistor*) digunakan untuk mendeteksi posisi matahari dan sinyal kesalahan umpan balik kemudian dihasilkan ke sistem kontrol untuk terus menerus menerima radiasi matahari maksimum pada media tangkapnya. Dalam pendekatan pelacakan loop terbuka, formula pelacakan atau algoritma kontrol digunakan. Azimuth dan sudut elevasi matahari ditentukan oleh model atau algoritma gerakan matahari pada tanggal, waktu dan informasi geografis yang diberikan. Algoritma kontrol dieksekusi dalam pengontrol mikroprosesor.



Gambar 12. (a) Flow Chart Pelacak Matahari, (b) Cara Kerja Pelacak Matahari.



Gambar 13. Grafik Pengujian Suhu Absorber pada Waktu Tertentu.

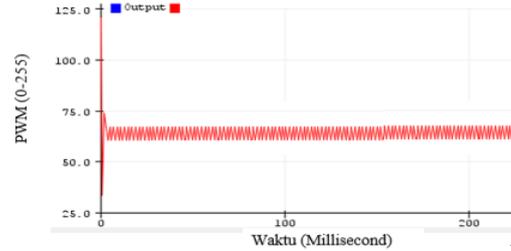
Pendekatan pelacakan matahari dapat diimplementasikan dengan menggunakan satu axis maupun dua axis untuk sistem akurasi yang lebih tinggi. Secara umum, dengan satu axis derajat kebebasan mengikuti pergerakan matahari dari timur ke barat selama sehari, sedangkan pelacak poros ganda juga mengikuti sudut ketinggian matahari [18]. Akan tetapi solar panel yang bergerak berdasarkan waktu, kurang akurat dikarenakan posisi matahari tidak selalu sama setiap hari pada jam yang sama [19].

III. PERANCANGAN SISTEM

A. Perancangan Rangkaian Pengeringan Anggur

Alat pengering anggur akan dirancang berdasarkan 2 bagian utama yaitu kolektor surya yang terintegrasi dengan pelacak matahari dengan lensa fresnel, dan ruang pengeringan yang dilengkapi timbangan digital dan sistem pengatur aliran udara panas berbasis kontroler PID. Pada Gambar 7, diagram blok pertama dijelaskan mengenai sistem ruang pengeringan dengan timbangan digital dan pengatur aliran udara berbasis kontroler PID. Set point dari kontroler PID berasal dari beban pengeringan yang didapat dari load cell yang telah diterjemahkan menjadi data digital oleh ADC HX711. Kemudian dengan algoritma kontroler PID akan mengirimkan PWM ke motor lewat driver L298N. Umpan balik akan didapat melalui encoder pada 25GA370. Selain itu dalam ruang pengeringan juga akan dipantau suhu dan ditampilkan pada sebuah LCD.

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa pelacak matahari akan



Gambar 15. Kontroler PID untuk Set Point 241 dengan Nilai Awal ($K_p = 0,5$).

Tabel 1. Hasil Pengujian Suhu Pipa Absorber Pada Waktu Spesifik.

Waktu (jam)	Suhu Maksimal °C		
	Ruang Terbuka	Dengan Parabola	Dengan Parabola dan Fresnel Lens
10:00:00	30	40	40
11:00:00	32	42	50
12:00:00	36	46	60
13:00:00	40	48	72,69
14:00:00	30	42	60
15:00:00	30	40	50
16:00:00	30	38	40

Tabel 2. Tabel Kalibrasi Load Cell.

Berat (gr)	Faktor Kalibrasi Pembacaan				
	220	210	200	190	180
100	95,9	99,9	100,1	110,5	115,6
200	195,8	199,8	200,2	210,5	215,6
300	295,7	299,7	300,3	310,5	315,6
400	395,6	399,6	400,4	410,5	415,6
500	495,5	499,5	500,5	510,5	515,6

bergerak melalui data yang diterima dari LDR, kemudian motor servo akan digerakkan berdasarkan selisih dari data LDR tersebut. Kemudian dipantau juga suhu absorber yang akan ditampilkan pada LCD. Rancangan tiga dimensi dapat dilihat pada Gambar 9.

B. Pembuatan Kolektor Surya dan Pengatur Aliran Udara Berbasis Kontroler PID

Pada perhitungan parameter pada kolektor surya model parabola sebelumnya telah ditentukan bahwa *rim angle* yang menghasilkan panas paling efektif ada pada 80° . Kemudian ditentukan *aperture width* sebesar 65,5 cm. Kedua nilai tersebut akan digunakan untuk menghitung parameter lainnya. Titik fokus parabola dapat diketahui dengan rumus:

$$f = \frac{W_a}{4 \tan \frac{\theta_r}{2}} \quad (4)$$

Jari-jari parabola dapat dihitung dengan:

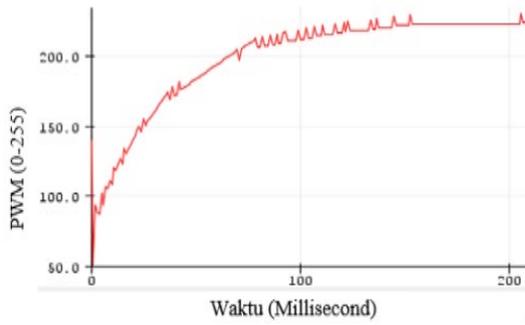
$$r_r = \frac{2f}{1 + \cos \theta_r} \quad (5)$$

Tinggi parabola dapat diketahui dengan rumus:

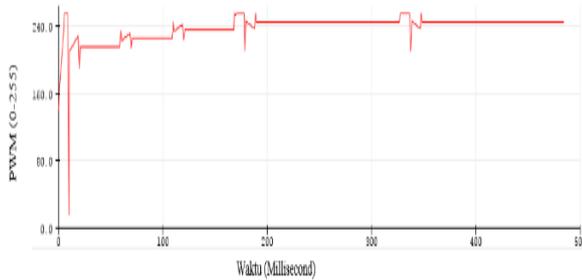
$$H_p = \frac{W_a^2}{16f} \quad (6)$$

Dari desain didapat hasil yaitu titik fokus parabola sebesar 19.51cm, jari-jari parabola sebesar 33.25 cm, dan tinggi parabola sebesar 13.744 cm.

Pengatur aliran udara bertujuan untuk menjaga hot air flow sehingga proses pengeringan lebih merata. Seperti dapat



Gambar 15. Kontroler PID untuk Set Point 241 dengan Nilai Awal 0 ($K_p = 0,5$ $K_i = 0,8$).



Gambar 16. Kontroler PID untuk Set Point 241 dengan Nilai Awal 0 ($K_p = 0,5$ $K_i = 0,8$ $K_d = 0,09$).

dilihat pada Gambar 10, kecepatan aliran udara ditentukan beban pengeringan. Untuk mendapatkan transisi kecepatan yang lebih efektif dengan meminimalkan error pada kecepatan yang diinginkan dengan kecepatan *real-time* maka digunakanlah kontroler PID. Dengan cara manual tuning, didapat parameter K_p sebesar 0,5, K_i sebesar 0,8, dan K_d sebesar 0,09. Dengan menggunakan ketiga parameter tersebut didapat grafik output dengan sedikit *overshoot* dan *error*.

C. Pembuatan Pelacak Matahari

Sesuai *flow chart* pada Gambar 12, rangkaian LDR dengan Arduino dirancang untuk melacak posisi matahari dengan derajat kebebasan satu axis. Baris LDR akan diarahkan pada garis terbit matahari, yaitu dari timur ke barat. Sistem pelacakan yaitu dengan memeriksa LDR pada pembacaan analog dari baris LDR akan dibaca oleh Arduino pada setiap pin yang terpasang. Setiap pin akan mewakili posisi yang harus dituju oleh servo. Setelah masuk pada program analisa posisi, output pwm akan diberikan pada servo untuk menuju arah matahari.

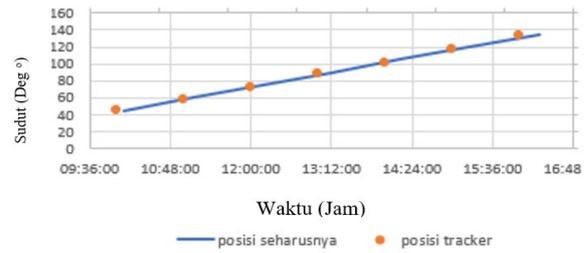
D. Pembuatan Ruang Pengeringan dan Timbangan Digital

Sesuai diagram alur pada Gambar 11, *load cell* bekerja sebagai sensor analog yang kemudian data masukannya akan diterjemahkan melalui ADC HX711 ke Arduino Nano. Kemudian Arduino Nano akan menampilkan dan mengolah data masukan dari *load cell* untuk menjadi set point kontroler PID.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

A. Pengujian Suhu Absorber dan Sistem Kontroler PID pada Pengaturan Aliran Udara

Pengujian dilakukan dengan sensor suhu DS18B20 yang dilekatkan pada absorber. Suhu ditangkap pada cuaca cerah



Gambar 17. Grafik Selisih Sensor Terhadap Posisi Matahari dengan Toleransi Bacaan Analog 50 pada Ruang Terbuka.



Gambar 18. Hasil Pengeringan Anggur (a) Pengeringan Konvensional, (b) Pengeringan dengan Alat Pengering Anggur.

dengan suhu rata-rata udara 30°C. Pengambilan data dilakukan mulai pukul 10.00 WIB hingga pukul 16.00 WIB. Dari data pada Tabel 1 didapat suhu tertinggi pada pukul 13.00 dikarenakan posisi matahari terletak pada posisi optimal pengeringan. Tercatat suhu di absorber hingga 72,69°C.

Pada bagian implementasi kontroler PID pada sistem pengaturan aliran udara, parameter yang telah didapatkan bersamaan dengan pengujian encoder disematkan ke dalam sistem. Data yang didapatkan merupakan grafik serial plotter Arduino Nano yang menunjukkan perbandingan PWM keluaran terhadap set point pada setiap parameter kontroler. Pada Gambar 14, 15, dan 16 setelah grafik output mengalami osilasi dengan komponen K_p , maka ditambahkan K_i untuk menstabilkan sistem. K_d digunakan untuk mempercepat sistem untuk mencapai set point.

B. Kalibrasi dan Pengujian Tracker

Dari data yang didapat diketahui bahwa dibutuhkan selesih yang kecil untuk menggerakkan pelacak matahari matahari. Hal ini dikarenakan bacaan sensor untuk matahari cenderung besar. Sehingga pada pembacaan di luar ruangan digunakan selisih kecil. Hasil akurasi ditunjukkan pada Gambar 17.

C. Kalibrasi dan Pengujian Timbangan Digital pada Ruang Pengeringan Anggur

Kalibrasi *load cell* dilakukan sebelum timbangan digital disematkan ke dalam ruang pengeringan. Kalibrasi dilakukan dengan mengatur faktor kalibrasi yang digunakan untuk ADC HX711. Faktor kalibrasi dari setiap *load cell*, walaupun mempunyai batas beban yang sama tetapi memiliki faktor kalibrasi yang berbeda sehingga kalibrasi harus dilakukan. Faktor kalibrasi merupakan faktor pembagi dari raw yang dihasilkan ADC HX711 untuk menghasilkan data dalam satuan yang digunakan manusia, untuk kasus ini gram. Dari pengujian yang telah ditampilkan pada Tabel 2, diketahui

Tabel 3.
Tabel Pengurangan Masa pad Pengeringan Anggur.

Lama (Jam)	Berat (gram)			
	Hari ke-1		Hari ke-2	
	Dijemur Langsung	Dengan Drying Chamber	Dijemur Langsung	Dengan Drying Chamber
1	252,21	252,21	237,74	195,44
2	249,09	244,45	234,62	185,73
3	243,86	227,23	229,39	175,78
4	241,36	212,37	226,89	171,08
5	239,36	202,35	224,89	165,63
6	237,74	195,44	223,27	161,13

Lama (Jam)	Hari ke-3		Hari ke-4	
	Dijemur Langsung	Dengan Drying Chamber	Dijemur Langsung	Dengan Drying Chamber
	1	223,27	161,13	208,8
2	220,15	153,37	205,68	97,2
3	214,92	136,15	200,45	79,98
4	212,42	121,29	197,95	65,12
5	210,42	111,27	195,95	55,1
6	208,8	104,96	194,33	48,19

bahwa faktor kalibrasi yang paling cocok digunakan yaitu 200.

D. Pengujian Pengurangan Masa

Setelah semua sistem terimplementasi, dilakukan pengujian selama 6 jam. Pengujian dilakukan mulai pukul 10.00 hingga 16.00 WIB. Pengujian dilakukan pada kondisi langit cerah dengan suhu udara 30°C. Dari Tabel 3, teruji bahwa hasil pengeringan dengan alat pengering anggur mendapat hasil yang lebih baik dari pengeringan konvensional. Hasil pengeringan anggur dapat dilihat pada Gambar 18 sebagai perbandingan hasil pengeringan selama 4 hari.

V. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dibuat suatu alat pengering anggur menggunakan rekayasa elektronik yang diharapkan dapat menggantikan cara pengeringan anggur secara konvensional. Digunakan sistem PID sebagai sistem kontroler yang mengatur efektivitas penggunaan energi alat pengering ini. Sistem pengeringan menggunakan motor untuk kipas yang kecepatannya digunakan sebagai input kontroler PID. Motor servo digunakan sebagai penggerak pelacak matahari. Load cell digunakan sebagai sensor berat untuk menentukan set point kecepatan kipas pengeringan. Sensor suhu digunakan sebagai monitoring suhu pipa absorber dan suhu dalam drying chamber sehingga dapat dilakukan analisis hasil setelahnya. Semua komponen diatur oleh mikrokontroler Arduino Nano dan data hasilnya ditampilkan pada LCD. Suhu efektif pengeringan berada di antara jam 10.00 WIB hingga 16.00 WIB. Penggunaan Fresnel lens dan absorber model parabola meningkatkan penyerapan panas absorber sampai mencapai suhu 72,69°C. Peningkatan kecepatan dibuktikan dengan pengeringan selama 6 jam dalam waktu 4 hari dimana dengan berat awal 252 gram, berat akhir dari *drying chamber* adalah 48,19 gram. Sementara pengeringan konvensional masih menyisakan 194,33 gram.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Nurhandayani and M. Rivai, "Sistem kontrol pengering makanan berbasis LED inframerah," *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 2, pp. A355–A361, 2019, doi: 10.12962/j23373539.v7i2.30921.
- [2] J. Wang *et al.*, "Grape Drying: Current Status and Future Trends," in *Grape and Wine Biotechnology*, A. Morata and I. Loira, Eds. IntechOpen, 2016.
- [3] Badan Pusat Statistik, *Statistik Tanaman Buah-buahan dan Sayuran Tahunan Indonesia 2018*. Jakarta: Badan Pusat Statistik, 2019.
- [4] R. Khiari, H. Zemni, and D. Mihoubi, "Raisin processing: physicochemical, nutritional and microbiological quality characteristics as affected by drying process," *Food Rev. Int.*, vol. 35, no. 3, pp. 246–298, 2019, doi: 10.1080/87559129.2018.1517264.
- [5] A. Shafiq Foshanji *et al.*, "Effects of pretreatments and drying methods on nutritional and sensory quality of raisin," *J. Pharmacogn. Phytochem.*, vol. 7, no. 4, pp. 3079–3083, 2018, Accessed: Sep. 04, 2020. [Online]. Available: <http://www.phytojournal.com/archives/?year=2018&vol=7&issue=4&ArticleId=5422>.
- [6] T. K. Nguyen and C. Ratti, "Air-Drying and Non-Equilibrium States/Glass Transition," in *Non-Equilibrium States and Glass Transitions in Foods: Processing Effects and Product-Specific Implications*, B. Bhandari and Y. H. Roos, Eds. Cambridge, UK: Elsevier Inc., 2017, pp. 89–109.
- [7] A. A. Kurniawan, M. Rivai, and F. Budiman, "Sistem pemandu pendaratan pada balon udara berbasis pengolahan citra dan kendali PID," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. A179–A184, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16276.
- [8] M. S. Ramadhan and M. Rivai, "Sistem Kontrol Tingkat Kekurangan pada Aquarium Menggunakan Arduino Uno," *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 1, pp. 87–91, 2018, doi: 10.12962/j23373539.v7i1.28499.
- [9] P. D. Wijaya, M. Rivai, and T. Tasripan, "Rancang bangun mesin pemotong styrofoam 3 axis menggunakan hot cutting pen dengan kontrol PID," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, pp. A693–A698, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i2.26252.
- [10] K. J. Åström and R. M. Murray, *Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2008.
- [11] M. F. Kaddoura and J. Zeaiter, "Application of thermal energy storage with point focus Fresnel lens concentrator: Numerical and experimental analysis," *J. Energy Storage*, p. 101008, 2019, doi: 10.1016/j.est.2019.101008.
- [12] K. Sornek, M. Filipowicz, and J. Jasek, "The use of fresnel lenses to improve the efficiency of photovoltaic modules for building-integrated concentrating photovoltaic systems," *J. Sustain. Dev. Energy, Water Environ. Syst.*, vol. 6, no. 3, pp. 415–426, 2018, doi: 10.13044/j.sdewes.d6.0204.
- [13] D. Arvizu *et al.*, "Direct Solar Energy," in *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*, Cambridge: Cambridge University Press, 2011, pp. 333–400.

- [14] V. K. Jebasingh and G. M. J. Herbert, "A review of solar parabolic trough collector," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 54, pp. 1085–1091, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.10.043.
- [15] İ. H. Yılmaz, M. S. Söylemez, H. Hayta, and R. Yumrutaş, "Model-Based Performance Analysis of a Concentrating Parabolic Trough Collector Array," in *Progress in Exergy, Energy, and the Environment*, I. Dincer, A. Midilli, and H. Kucuk, Eds. Switzerland: Springer International Publishing, 2014, pp. 815–828.
- [16] H. Bhowmik and R. Amin, "Efficiency improvement of flat plate solar collector using reflector," *Energy Reports*, vol. 3, pp. 119–123, 2017, doi: 10.1016/j.egy.2017.08.002.
- [17] A. Bharti and B. Paul, "Design of solar parabolic trough collector," in *2017 International Conference on Advances in Mechanical, Industrial, Automation and Management Systems, AMIAMS 2017 - Proceedings*, 2017, pp. 302–306, doi: 10.1109/AMIAMS.2017.8069229.
- [18] A. Sawant, D. Bondre, A. Joshi, P. Tambavekar, and A. Deshmukh, "Design and analysis of automated dual axis solar tracker based on light sensors," in *Proceedings of the International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud), I-SMAC 2018*, 2019, pp. 454–459, doi: 10.1109/I-SMAC.2018.8653779.
- [19] F. D. Krisandika, M. Rivai, and T. Tasripan, "Pelacak cahaya matahari berbasis citra pada panel surya menggunakan Single Board Computer Lattepanda," *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 2, pp. A319–A324, 2019, doi: 10.12962/j23373539.v7i2.30874.
- [20] A. Makwana and D. Lad, "Dual axis solar tracking system using 5-LDR sensor," *Int. J. Curr. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 5, pp. 1750–1753, 2017.