

# Sistem Kontrol Pengering Makanan Berbasis LED Inframerah

Khairunnisa Nurhandayani, dan Muhammad Rivai

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

*e-mail:* muhammad\_rivai@ee.its.ac.id

**Abstrak**—Hasil perkebunan seperti buah dan sayur merupakan bahan yang memiliki kandungan air. Namun dengan banyaknya kandungan air menyebabkan buah dan sayur tidak dapat bertahan lama di tempat terbuka. Salah satu cara mengawetkan buah dan sayur tersebut dilakukan dengan proses pengeringan. Pengeringan merupakan cara menghilangkan air dalam makanan untuk memperlambat pertumbuhan mikroorganisme. Pada penelitian ini, pengeringan dilakukan terhadap biji coklat karena Indonesia negara pengekspor biji coklat. Sebelum diekspor, biji coklat terlebih dahulu difermentasi untuk menghasilkan aroma khas coklat dan dilakukan proses pengeringan untuk menghentikan fermentasi pada biji coklat. Jika menggunakan pengering konvensional, hasil pengeringan terlalu bergantung terhadap cuaca atau matahari. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem pengering makanan yang tidak bergantung terhadap cuaca atau matahari dengan penggunaan daya yang realistis. Pada penelitian ini telah dirancang dan diuji sistem pengering berbasis inframerah. LED bank digunakan sebagai sumber sinar inframerah dengan merangkai LED inframerah secara seri dan paralel. Untuk mengetahui perubahan kandungan air yang terjadi pada biji coklat digunakan load cell yang keluarannya dimasukkan ke mikrokontroler untuk diolah lebih lanjut dengan sistem kontrol proporsional. Mikrokontroler yang digunakan yaitu Arduino Uno. Selain biji coklat, objek yang diujikan yaitu anggur. Hasil penelitian menunjukkan kecepatan pengeringan biji coklat lebih besar dibandingkan kecepatan pengeringan anggur. Kecepatan pengeringan anggur yaitu 0,27 gram/jam setiap pengeringan 4 hingga 7-gram dan kecepatan pengeringan biji coklat bernilai 0,75 gram/jam untuk berat yang sama. Dari hasil tersebut diharapkan sistem ini menghasilkan pengeringan yang lebih cepat dibandingkan dengan pengeringan konvensional.

**Kata Kunci**— LED Inframerah, Sistem Kontrol Proporsional, Sistem Pengering.

## I. PENDAHULUAN

**H**ASIL perkebunan seperti buah dan sayur merupakan bahan yang selain mengandung banyak vitamin juga kaya akan kandungan air. Namun dengan banyaknya kandungan air menyebabkan buah dan sayur tidak dapat bertahan lama. Pada umumnya untuk mengawetkan buah dan sayur dilakukan pendinginan dan pengeringan. Pendinginan dilakukan tanpa perlu mengubah bentuk buah dan sayur. Sedangkan pengeringan dapat mengubah bentuk buah dan sayur. Pengeringan merupakan salah satu cara pengawetan makanan dengan cara menghilangkan air untuk memperlambat pertumbuhan mikroorganisme pengurai.

Indonesia merupakan salah satu negara pengekspor buah

coklat. Pada tahun 2015, ekspor coklat atau kakao menyumbangkan devisa USD 1,01 milyar atau 3,78% dari keseluruhan ekspor komoditas perkebunan dimana 28,79% berupa biji coklat dan menduduki peringkat penyumbang devisa terbesar ke lima. Pada periode 2011 – 2015, Indonesia menduduki peringkat ke 11 dengan kontribusi 2,73% dari total ekspor dunia dan data ekspor dapat dilihat pada Tabel 1 [1]. Untuk perkembangan luas area kebun coklat di Indonesia dalam kurun waktu 1980 – 2016 umumnya meningkat dengan rata – rata 11,48% per tahun dan hasil produksi coklat Indonesia juga mengalami peningkatan 13,99 % per tahun [2]. Sebelum diekspor, biji coklat terlebih dahulu difermentasi dan dikeringkan. Pengeringan biji coklat dilakukan untuk mengurangi kelembapan atau kandungan air dari 50% menjadi 7%. Lama pengeringan dengan cara konvensional membutuhkan waktu sekitar tiga hingga delapan hari.

Selain biji coklat, hasil perkebunan yang ada di Indonesia yaitu anggur. Anggur merupakan tanaman buah-buahan yang dapat dipanen lebih dari satu kali dalam setahun. Produksi anggur mengalami peningkatan pada tahun 2015 dengan berat 11.146 ton menjadi 11.410 ton [3]. Di Indonesia sendiri anggur merupakan salah satu jenis buah yang diekspor. Namun, anggur yang diekspor baru dalam bentuk buah segar saja. Untuk anggur yang dikeringkan menjadi kismis membutuhkan waktu 15 hingga 20 hari penjemuran. Selain pengeringan yang lama, kismis hasil penjemuran yang dihasilkan akan terkena debu atau benda asing lain yang mungkin akan sulit dibersihkan.

Tabel 1.  
Negara Eksportir Kakao (Coklat) Terbesar Dunia, 2011 – 2015

No.	Eksportir	Nilai Ekspor (000 USD)		Rata – Rata	Share (%)
		2014	2015		
1	Jerman	6022452	5371434	5295453	11.76
2	Belanda	5463094	4665559	4795881	10.65
3	Pantai Gading	4627478	4661837	3989219	8.86
4	Belgia	3447538	3427746	3184709	7.07
5	Perancis	2396536	2168056	2285725	5.08
6	Ghana	3018451	2444685	2250396	5.00
7	USA	2117069	1942857	1848028	4.10
8	Italia	1787105	1637587	1663600	3.70
9	Nigeria	848199	391536	1637820	3.64
10	Polandia	1647253	1558605	1415037	3.14
11	Indonesia	1244530	1307771	1220532	2.71
	Lainnya	16930979	15693747	15436476	34.29
	Dunia	49550684	45271420	45022877	100.00

Beberapa pengujian telah dilakukan. Salah satunya yaitu pengujian keefektifan pengering dengan metode hot air drying, inframerah, dan hot air yang dikombinasi dengan inframerah. Dari pengujian tersebut, waktu pengeringan tercepat adalah pengeringan dengan menggunakan pengering inframerah dan pengering hot air dikombinasi dengan inframerah [4]. Selain itu juga terdapat pengujian pengeringan dengan metode low pressure superheated steam, low pressure superheated steam dengan inframerah, vakum, dan vakum dengan inframerah terhadap pisang. Pengujian tersebut menghasilkan data yaitu dalam temperatur yang sama, kecepatan pengeringan pada pisang dengan metode vakum dengan inframerah lebih besar dibandingkan dengan yang lain [5]. Dari dua pengujian tadi menunjukkan bahwa dibutuhkan suatu sistem pengering yang dapat mengoptimalkan sistem pengering dengan sumber pengering yaitu inframerah. Bentuk dari sumber pengering dari sistem pengering adalah LED bank. Selain karena memiliki panjang gelombang pendek, penggunaan sinar inframerah sendiri dipilih karena ketika objek diberikan sinar inframerah, molekul pada objek akan bergetar sehingga menghasilkan panas [6]. Kualitas dari hasil pengeringan dilihat dari perubahan warna dan *rehydration*. Pengering inframerah memberikan efek perubahan warna yang tidak signifikan dan peningkatan proses *rehydration* [5]. Nutrisi dari makanan yang dikeringkan tidak mengalami perubahan karakteristik kualitas seperti vitamin, protein dan antioksidan sehingga aman dikonsumsi [7].

II. METODE PENELITIAN

A. Diagram Blok Sistem

Sistem pengering ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan dalam sistem yaitu Arduino Uno, *load cell*, LED bank, LM35, rangkaian PWM driver, *supply regulator*, dan kipas. Sedangkan perangkat lunak yang dapat menunjang sistem adalah desain *prototype*. Untuk perangkat lunak yang digunakan yaitu program hasil pembacaan ADC dan kalibrasi *load cell*, pengkompensasian *load cell* dengan LM35, pembangkit PWM serta sistem kontrol PID. Diagram blok dari sistem tersebut dapat di lihat pada Gambar 1.

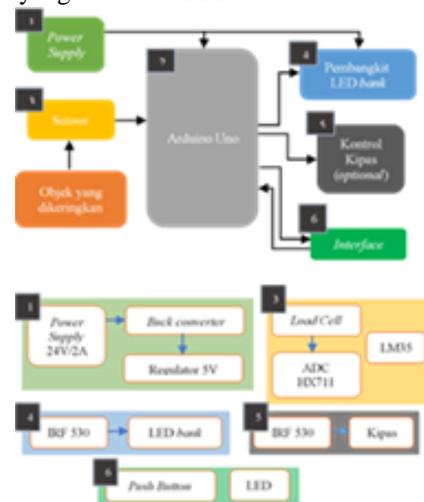
B. LED Bank

Sumber inframerah yang digunakan menggunakan LED bank. LED (Light-Emitting Diode) bank merupakan rangkaian listrik yang terdiri dari banyak LED. LED sendiri adalah komponen semikonduktor yang dapat memancarkan cahaya ketika arus listrik dilewatkan pada komponen tersebut. LED memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan sumber cahaya dari beberapa jenis lampu seperti dapat dipakai dalam jangka waktu yang lama, ukuran yang kecil, dan respons yang cepat. LED bank terdiri dari LED inframerah yang disusun secara matriks atau dibuat *array*. Pada rancangan pemancar inframerah ini akan disusun LED

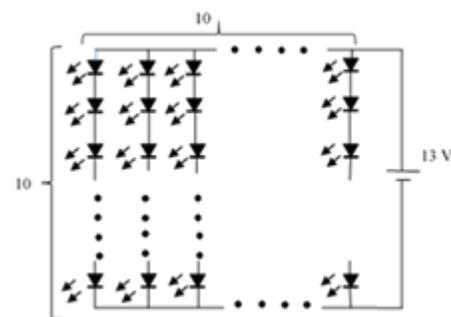
inframerah secara matriks yaitu 10 X 10 di setiap papan rangkaian LED Bank dengan jarak masing – masing LED 5 mm. Rangkaian LED inframerah akan dirangkai secara seri dan paralel. LED yang digunakan yaitu IR333C dengan tegangan *forward* bernilai 1,2 V ketika arus *forward* 20 mA dan 1,4 V ketika arus *forward* 100 mA. Rancangan dari pemancar inframerah dapat dilihat pada Gambar 2.

C. PWM Driver

PWM merupakan metode yang digunakan untuk membangkitkan sinyal analog dengan menggunakan sumber digital. Sinyal PWM terdiri dari dua komponen utama yaitu *duty cycle* dan frekuensi..Sedangkan PWM driver memiliki fungsi untuk menginialisasi dan mengontrol perangkat keras PWM dari mikrokontroler [8]. Pada penelitian ini, sumber PWM diambil dari Arduino Uno yang digunakan sebagai masukan MOSFET IRF530. IRF 530 digunakan sebagai pengatur arus yang melewati LED bank.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Kontrol Pengering Makanan Berbasis LED Inframerah.



Gambar 2. Rangkaian LED Bank yang terdiri dari LED Inframerah yang Disusun Seri dan Paralel.

D. Strain Gauge Load Cell

*Load cell* merupakan sensor yang menghasilkan keluaran berupa sinyal listrik yang berubah ketika gaya atau berat diberikan [9], [10]. *Strain gauge* merupakan resistan listrik yang dibuat sebagai pola kawat paralel atau foil logam tipis yang tertanam ke dalam isolasi berbahan plastk. *Load cell* yang digunakan pada penelitian ini berjenis *shear beam*. Pemasangan *load cell* dilakukan pada kondisi tempat yang

datar dan berada pada tengah bagian dasar *prototype* seperti Gambar 3.

#### E. Modul HX711

Modul HX711 digunakan sebagai *Analog-to-Digital Converter* (ADC) yang mengonversi sinyal dari *load cell* agar dapat terbaca oleh Arduino Uno. Pada HX711 terdapat *channel A* dan *channel B* sebagai analog input dengan bentuk *differential input*. Channel A memiliki penguatan 128 kali atau 64 kali. Sedangkan channel B memiliki hanya satu penguatan yaitu 32 kali. Komunikasi antar HX711 dengan Arduino Uno menggunakan pin SCK dan pengiriman data melalui pin DOUT.

#### F. Sensor Temperatur

Sensor temperatur mengubah energi panas menjadi sinyal listrik. Pengaplikasian sensor ini dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Dioda dan transistor bipolar merupakan salah satu komponen yang dapat digunakan sebagai sensor ini yang ketergantungan terhadap temperatur cukup tinggi [11]. Sensor temperatur memiliki fungsi sebagai kompensasi terhadap *load cell* karena semakin meningkat temperature, semakin berubah nilai pembacaan *load cell*. Sensor temperatur yang digunakan yaitu LM35D.

#### G. Buck Converter

*Buck converter* digunakan sebagai penurun tegangan dari *power supply*. Keluaran dari *buck converter* kemudian disambungkan dengan masukan ke LED bank. Besar tegangan keluaran dari *buck converter* yang digunakan adalah 13 V dengan cara memutar resistor *multiturn*. Untuk tipe IC (*Intergrated Circuit*) yang digunakan adalah XL4005E1.

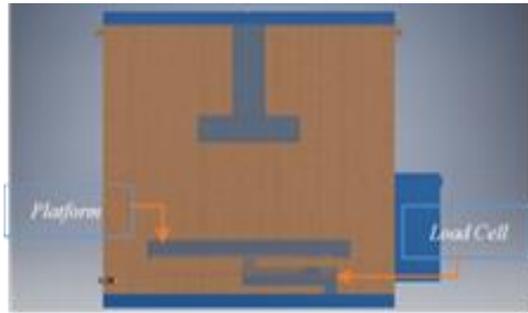
#### H. Regulator Tegangan

Keluaran dari *buck converter* dijadikan sebagai masukan regulator tegangan. Besar nilai regulator tegangan yang dihasilkan yaitu 5 V dan 12 V. Tegangan yang dihasilkan regulator akan digunakan untuk menjalankan kipaa, HX711, dan Arduino Uno. IC regulator yang digunakan yaitu LM7805 dan LM 7812 dengan tegangan masukan maksimal adalah 35V.

#### I. Sistem Kontrol Proportional

Sistem kontrol *proportional* merupakan sistem kontrol yang digunakan pada sistem pengering ini. Kontrol *proportional* bersifat proposional terhadap eror kontrol dari keluaran sesuai dengan (1)

$$u(t) = K_p e(t) = K_p (r(t) - y(t)) \quad (1)$$



Gambar 3. Penempatan *Load Cell*.

dengan  $K_p$  sebagai penguatan proporsional dan  $e(t)$  sebagai eror kontrol. Pada sistem kontrol ini, nilai *set point* merupakan nilai presentase kandungan air pada objek yang dipanaskan dan ditentukan dengan (2)

$$\text{Besarnya air yang dipindahkan} = \frac{\text{Berat awal objek} - \text{Berat objek akhir}}{\text{Berat awal objek}} \quad (2)$$

Kemudian dilakukan penentuan nilai  $K_p$  dengan aturan Ziegler-Nichols metode satu yaitu memberikan respon *step up* ke dalam *plant* dan menemukan nilai  $L$  dan  $T$  dari keluaran yang dihasilkan. Beberapa penggunaan sistem kontrol ini yaitu pemotong Styrofoam [12] dan pengontrol temperatur pada penggentifikasian suara *cracking* pada pembakaran biji kopi [13].

#### J. Arduino Uno

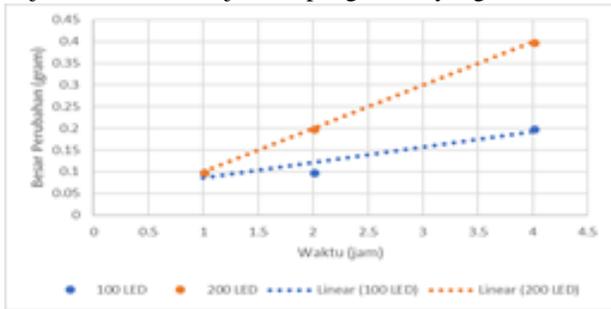
Arduino Uno merupakan salah satu mikrokontroler *single-board* berbasis ATmega328 yang bersifat yang dapat memudahkan pengguna untuk mengetahui dan mengembangkan cara kerja perangkat tersebut [14]. Pada penelitian ini, Arduino Uno digunakan sebagai sebagai pengolah data dari *load cell* dan LM35D, penghasil sinyal PWM dan tempat terjadinya proses kontrol. Sebagai contoh penggunaan Arduino Uno adalah sistem kontrol pengeruhan akuarium [15] dan pembacaan meteran air dimana ArduinoUno digunakan sebagai prosesor data dari node sensor [14], dan pembacaan frekuensi pada deteksi jalur pipa terpendam [16].

### III. HASIL DAN DISKUSI

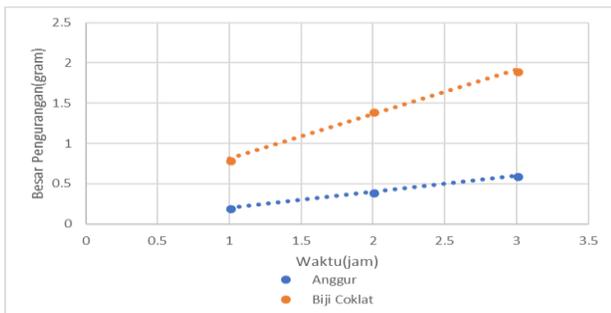
#### A. Pengujian LED Bank

Pengujian terhadap LED yang perlu dilakukan. Dari hasil pengujian dengan *spectrometer*, cahaya inframerah yang di pancarkan memiliki intensitas rendah dan menduduki panjang gelombang antara 800 hingga 900 nm. Kemudian LED bank diuji untuk menentukan pilihan terbaik antara 100 buah atau 200 buah LED. Pada Gambar 4, kecepatan pengeringan terbaik diperoleh dengan 200 buah LED. Hal ini dapat terjadi karena intensitas inframerah yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan 100 LED. Selanjutnya dilakukan pengambilan data terhadap anggur dan biji coklat. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Gambar 5 dan

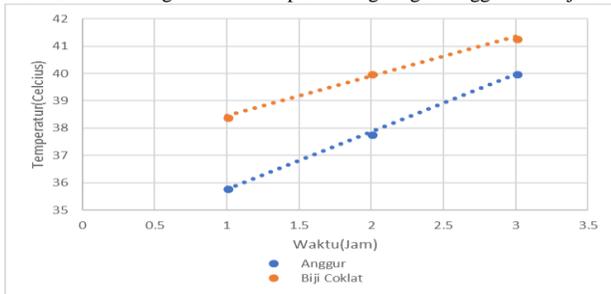
Gambar 6. Dari gambar tersebut, kecepatan pengeringan biji coklat lebih cepat dibandingkan dengan anggur untuk berat yang sama. Hal ini disebabkan karena anggur memiliki ketebalan yang lebih besar dibandingkan dengan ketebalan biji coklat. Selain itu, temperatur yang dihasilkan sesuai dengan kecepatan pengeringan. Kemudian juga dilakukan pengujian dengan tegangan serta jarak yang diubah-ubah. Hasil Pengujian dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8. Hasil yang didapatkan yaitu semakin besar tegangan sumber, semakin besar pengurangan yang terjadi. Tegangan 13 V menjadi sumber tegangan yang paling optimal dibandingkan dengan dua sumber tegangan yang lain. Sedangkan jika dilihat dari perubahan jarak, diantara jarak 6 cm, 5 cm, dan 4 cm, jarak 6 cm menunjukkan pengaturan yang lebih besar.



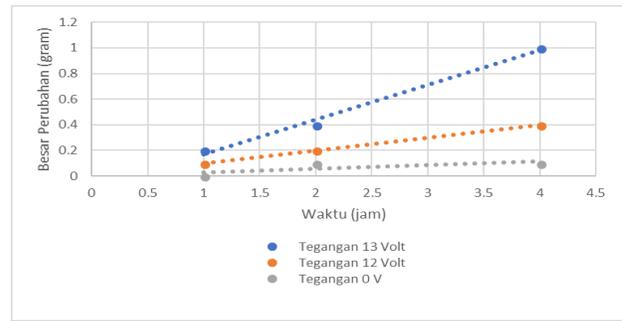
Gambar 4. Kecepatan Pengeringan 100 LED dan 200 LED terhadap Anggur.



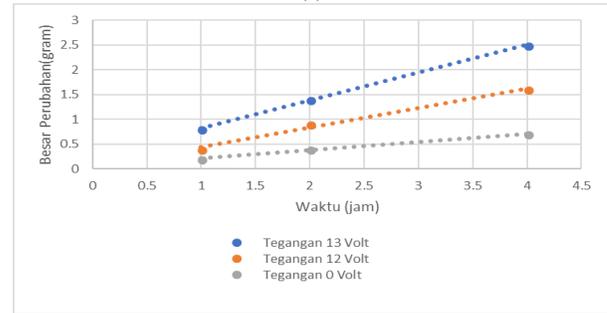
Gambar 5. Perbandingan Hasil Kecepatan Pengeringan Anggur dan Biji Coklat.



Gambar 6. Perbandingan Temperatur yang Dihasilkan dari Pengeringan Anggur dan Biji Coklat dengan 200 LED.

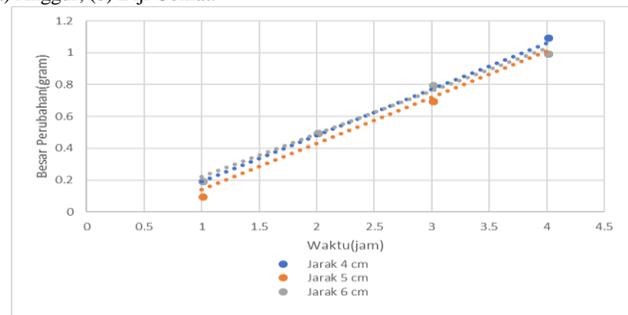


(a)

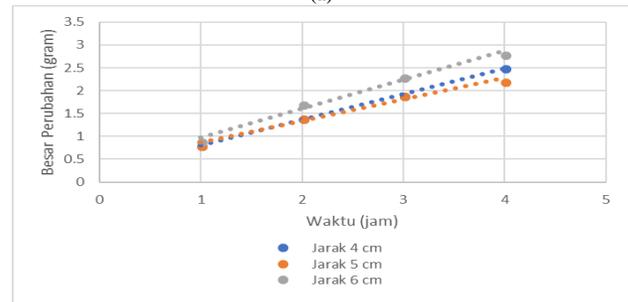


(b)

Gambar 7. Hasil Pengujian dengan Tegangan Sumber yang Berbeda terhadap: (a) Anggur, (b) Biji Coklat.



(a)



(b)

Gambar 8. Hasil Pengujian dengan Jarak Pengeringan yang Diubah terhadap: (a) Anggur, (b) Biji Coklat.

**B. Pengujian PWM Driver**

PWM pada pengujian ini akan diubah – ubah yang akan memberikan pengaruh terhadap pengeringan. Pengujian terhadap PWM driver salah satunya yaitu pengujian pengeringan selama tiga jam dengan PWM bernilai 100%, 75%, 50%, dan 25%. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3. Dari tabel-tabel tersebut, kecepatan pengeringan berada pada kondisi maksimum pada PWM 100% dan akan berkurang seiring dengan berkurangnya PWM.

**C. Pengujian Kipas XFAN 80**

Pengujian dilakukan pada *prototype* dengan penempatan kipas yang berbeda. Posisi pertama yaitu digunakan kipas untuk melewatkan angin dari luar dan membuang udara yang ada di dalam ruang pengering. Sedangkan posisi kedua hanya menggunakan kipas pembuangan udara yang ada di dalam ruangan. Hasil pengeringan anggur dari kedua penempatan kipas tersebut dapat dilihat pada Tabel 4. Pengujian yang dilakukan juga dilakukan ketika tegangan kipas diubah – ubah dan hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 9.

Tabel 2.

Hasil Pengujian Empat Nilai PWM dalam Waktu Tiga Jam terhadap Anggur

PWM	Pengujian ke-(gram)			
	1	2	3	4
100%	0,6	0,6	0,5	0,6
75%	0,4	0,3	0,4	0,4
50%	0,2	0,3	0,3	0,3
25%	0,2	0,2	0,2	0,2

Hasil dari pengujian dengan posisi kipas yang berbeda menunjukkan kemiripan sehingga posisi kipas tidak terlalu mempengaruhi proses pengeringan. Namun, jika di lihat pada grafik hasil pengeringan anggur dengan nilai tegangan kipas yang berbeda, ketika kipas tidak diaktifkan pengeringan lebih cepat dengan nilai temperatur dan kelembapan dalam waktu satu jam.

Tabel 3.

Hasil Pengujian Empat nilai PWM dalam Waktu Tiga Jam terhadap Biji Coklat

PWM	Pengujian ke-(gram)			
	1	2	3	4
100%	2,3	2,3	2,3	2,3
75%	1,6	1,6	1,5	1,6
50%	1,5	1,4	1,4	1,4
25%	0,8	0,8	0,7	0,7

**D. Pengujian Load Cell**

Sebelum digunakan ke dalam sistem, *load cell* terlebih dahulu dikalibrasi dengan cara menimbang benda yang beratnya diketahui dan mencatat nilai hasil pembacaan ADC. Hasil pembacaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5. Kemudian dari data tersebut ditentukan persamaan berat terhadap pembacaan ADC dan diuji ulang pembacaan *load cell*. Pembacaan ADC yang sudah dikalibrasi dapat dilihat pada Tabel 6. Ketika pemanas diaktifkan, terjadi perubahan pembacaan terhadap *load cell* akibat perubahan panjang pada *strain gauge* sehingga nilai resistansi seperti pada Gambar 10.

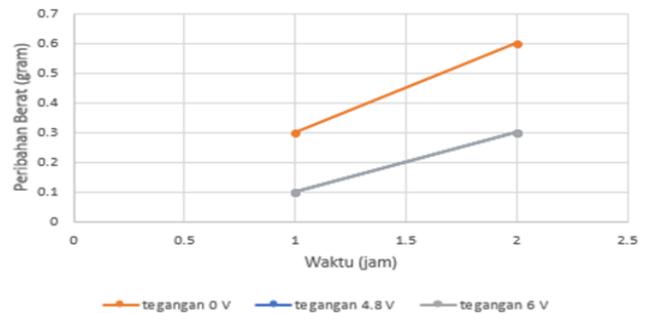
**E. Pengujian Kontrol Proportional**

Pengujian *propotional* dilakukan dengan memberikan beban sementara pada *platform*. Kemudian seiring dengan berjalannya waktu, beban tersebut diturunkan beratnya. Pada Tabel 7 diambil data pengujian dengan nilai  $K_p = 2,35$  dan diberikan *set point* anggur. Semakin besar pengurangan berat beban, semakin kecil pula PWM yang terbangkit.

Kemudian dilakukan *tunning* dengan aturan Ziegler-Nichols sehingga didapat nilai penguatan *proportional* ( $K_p$ ) yang ditentukan oleh nilai L dan T. Nilai L dan T yang didapatkan pada Gambar 11 yaitu 6326,77 detik dan 34424,08 detik sehingga nilai  $K_p$  sebesar 5,42.

Tabel 4. Hasil Pengeringan Anggur dan Biji Coklat

Waktu (jam)	Perubahan Berat (gram)			
	Posisi Kipas 1		Posisi Kipas 2	
	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 1	Percobaan 2
1	0,1	0,1	0,1	0,1
2	0,2	0,2	0,3	0,2



Gambar 9. Hasil Pengeringan dengan Nilai Tegangan Kipas Diubah-ubah terhadap Anggur

Tabel 5.

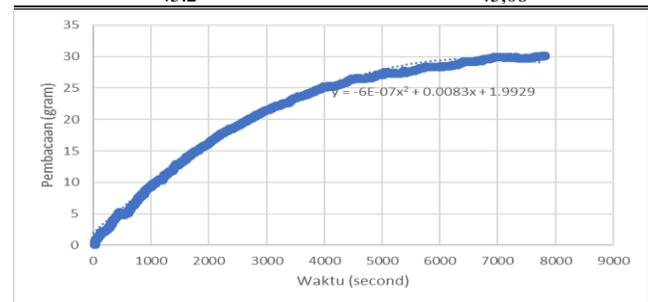
Data ADC dari Beberapa Benda

Berat Benda (gram)	Berat yang Terbaca dalam ADC
34,5	3882
24,3	2734
11,7	1315
7,7	844

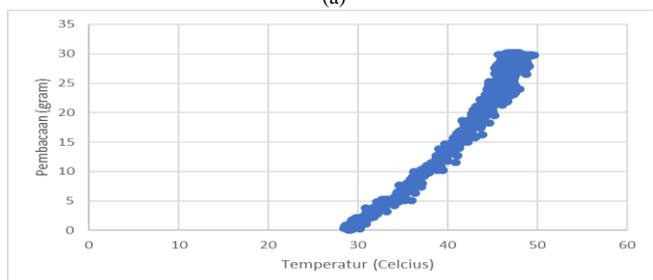
Tabel 6.

Hasil Pembacaan Berat Benda dengan Persamaan yang Telag Diketahui

Berat Benda (gram)	Berat yang Terbaca <i>Load Cell</i> (gram)
14,4	14,52
19,4	19,51
44,6	44,55
45,2	45,08



(a)



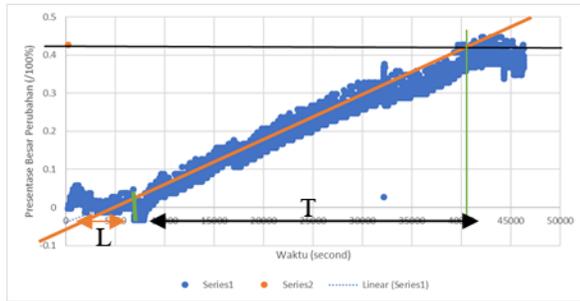
(b)

Gambar 10. Pembacaan *Load Cell* ketika Pemanas Diaktifkan: (a) Perubahan terhadap Waktu, (b) Perubahan terhadap Temperatur.

Tabel 7.

Hasil Pengujian Sistem *Proportional* dengan  $K_p = 2,35$ , *set point* anggur dan berat awal 26,88 gram

Duty Cycle	ADC dari PWM	Berat Terbaca (gram)
100%	255	26.88
100%	255	26.92
100%	255	26.88
100%	255	26.52
99,2%	253	24.49
95,3%	243	24.03
90,6%	231	23.5



Gambar 11. Menentukan Nilai L dan T dari Grafik Masukan *Set Up* Biji Coklat.

F. Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem keseluruhan merupakan pengujian terhadap seluruh rangkaian terutama *LED bank*, *load cell*, dan LM35D. Pembacaan dari *load cell* dan LM35D akan memberikan masukan ke dalam kontrol proporsional dan memberikan keluaran berupa penguatan terhadap nilai PWM. Hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 11 dan

4.7. Kemudian dilakukan pengecekan untuk membandingkan pengurangan kadar air sesuai dengan set point dengan persamaan matematika dan alat ukur.

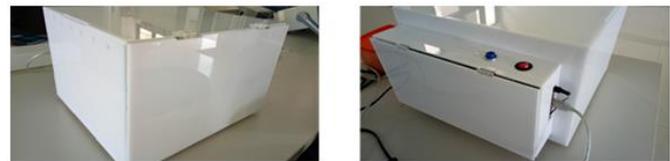
$$\text{Presentase kandungan air yang hilang dalam anggur} = \frac{132,2 - 80}{132,2} \times 100\% = 39,5\%$$

$$\text{Presentase kandungan air yang hilang dalam biji coklat} = \frac{131 - 75,1}{131} \times 100\% = 42,7\%$$

Jika hasil perhitungan dibandingkan dengan set point yang diketahui maka untuk anggur memiliki eror sebesar 10,5% dan biji coklat memiliki eror sebesar 0,3% dengan nilai penguatan proportional yang sama. Sedangkan untuk pengukuran menggunakan alat pengukur kelembapan, pembacaan kelembapan anggur sebelum dikeringkan yaitu 68% dan hasil dari pengeringan yaitu 41% serta pembacaan kelembapan biji coklat sebelum dan sesudah dikeringkan yaitu 62% dan 8,5%. Dari hasil pengujian, hasil dari alat pembacaan kandungan air memiliki pembacaan yang kurang sesuai dengan pengeringan terutama anggur. Bentuk akhir dari *protype* sistem pengering ini dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 12. Hasil Pengertian Sistem Kontrol terhadap Anggur: (a) Sebelum, (b) Sesudah.



Gambar 13. Realisasi Akhir *Prototype* Sistem Pengering.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Hasil dari penelitian ini yaitu pengeringan tercepat dialami oleh biji coklat karena tebal objek yang dikeringkan lebih rendah dibandingkan dengan anggur. Untuk kalibrasi *load cell*, hasil pengujian menunjukkan adanya rentang *error* pembacaan yaitu mendekati 0,8 gram. Hasil pengujian dari alat pembacaan pengering dengan persamaan perhitungan kandungan air memiliki perbedaan yang kurang tepat terutama pada anggur. Kandungan air yang hilang pada anggur dengan menggunakan persamaan yaitu 39,5% dan dengan menggunakan alat pembaca kelembapan yaitu 27%. Sedangkan kandungan air yang hilang pada biji coklat ketika menggunakan persamaan dan alat pembaca kelembapan yaitu 42,7% dan 53,5%. Selain itu, penggunaan daya dari sistem pengering ini tidak terlalu besar yaitu sebesar 31,72 Watt

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sabarella, "Analisis Kinerja Perdagangan Kakao," Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Kementerian Pertanian 2016, Jakarta, 2016.
- [2] V. J. Siaigian, "Outlook Kakao," Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Kementerian Pertanian 2016, Jakarta, 2016.
- [3] Subdirektorat Statistika Hortikultura, "Statistik Tanaman Buah-buahan dan Sayuran Tahunan Indonesia 2015," Badan Pusat Statistik Indonesia, Jakarta, Oktober 2016.
- [4] A. Nadee, Y. Tirawanichakul, and S. Tirawanichakul, "Drying kinetics model and physical properties of herb Pandanus leaf," in *Humanities, Science and Engineering (CHUSER), 2011 IEEE Colloquium on*, 2011, pp. 54–59.
- [5] L. Zhang and X. Wang, "Progress of internal, external structure and quality change of fruits and vegetables during infrared drying process," in *New Technology of Agricultural Engineering (ICAE), 2011 International Conference on*, 2011, pp. 1077–1082.
- [6] M. Tasumi and A. Sakamoto, Eds., *Introduction to experimental infrared spectroscopy: fundamentals and practical methods*. Chichester: Wiley, 2015.
- [7] K. Krishnamurthy, H. K. Khurana, J. Soojin, J. Irudayaraj, and A. Demirci, "Infrared heating in food processing: an overview," *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 7, no. 1, pp. 2–13, 2008.
- [8] R. Zurawski, Ed., *Industrial communication technology handbook*, Second ed. Boca Raton: CRC Press, 2015.

- [9] R. K. Sadar, A. M. Someshwar, and R. P. Chaudhari, "Load cell based cross verification of packaging material," in *I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud)(I-SMAC), 2017 International Conference on*, 2017, pp. 460–463.
- [10] W. Boyes, Ed., *Instrumentation reference book*, 4. ed. Burlington, Mass.: Butterworth-Heinemann, 2010.
- [11] J. Fraden, *Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications*, 3. ed., [Nachdr.]. New York, NY: AIP Press, Springer, 2004.
- [12] 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. A766–770, 2017.
- [13] F. Winjaya, M. Rivai, and D. Purwanto, "Identification of cracking sound during coffee roasting using neural network," 2017, pp. 271–274.
- [14] N. Arsyistawa, M. Rivai, and S. Suwito, "Aplikasi Wireless Sensor Network Untuk Pembacaan Meteran Air," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, pp. A762–765, 2017.
- [15] M. S. Ramadhan and M. Rivai, "Sistem Kontrol Tingkat Kekerusuhan pada Aquarium Menggunakan Arduino Uno," *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 1, Mar. 2018.
- [16] D. I. Pratiwi and J. A. R. Hakim, "Rancang Bangun Deteksi Jalur Pipa Terpendam Menggunakan Mobile Robot dengan Metal Detector," vol. 6, no. 1, p. 7, 2017.