

I Made Arif Dwi Antara

Skripsi _ I Made Arif Dwi Antara _ 2115234002 _ TRU B.pdf

 Politeknik Negeri Bali

Document Details

Submission ID

trn:oid:::3618:107577943

Submission Date

Aug 8, 2025, 2:13 PM GMT+8

Download Date

Aug 8, 2025, 2:17 PM GMT+8

File Name

Skripsi _ I Made Arif Dwi Antara _ 2115234002 _ TRU B.pdf

File Size

3.5 MB

131 Pages

28,748 Words

149,949 Characters

23% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

- 17%  Internet sources
- 6%  Publications
- 18%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

17%  Internet sources
6%  Publications
18%  Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	repository.pnb.ac.id	4%
2	Submitted works	University of Nottingham on 2019-12-18	1%
3	Internet	uvadoc.uva.es	1%
4	Internet	ejournal.undip.ac.id	<1%
5	Internet	repository.its.ac.id	<1%
6	Submitted works	Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2023-02-09	<1%
7	Internet	jurnal.polindra.ac.id	<1%
8	Submitted works	Leeds Beckett University on 2020-01-13	<1%
9	Internet	text-id.123dok.com	<1%
10	Internet	docplayer.info	<1%
11	Internet	repository.usd.ac.id	<1%

12	Submitted works	Universitas PGRI Palembang on 2022-07-11	<1%
13	Internet	sipora.polije.ac.id	<1%
14	Internet	123dok.com	<1%
15	Internet	repository.umsu.ac.id	<1%
16	Internet	repository.unej.ac.id	<1%
17	Internet	repository.ub.ac.id	<1%
18	Submitted works	University of Strathclyde on 2019-11-30	<1%
19	Submitted works	Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung on 2025-05-26	<1%
20	Internet	es.scribd.com	<1%
21	Submitted works	Universitas Pendidikan Ganesha on 2025-01-17	<1%
22	Internet	panelsuryajakarta.com	<1%
23	Submitted works	Universitas Bengkulu on 2025-07-09	<1%
24	Internet	repositori.usu.ac.id	<1%
25	Submitted works	Universitas Gadjah Mada on 2025-03-24	<1%

26	Publication	Ferdy Haykal Pradito, Zuraidah Tharo, Siti Anisah. "Analisis Perancangan PLTS Ata...	<1%
27	Internet	repository.uin-suska.ac.id	<1%
28	Submitted works	Universitas Nusa Cendana on 2024-11-25	<1%
29	Internet	jrpb.unram.ac.id	<1%
30	Internet	wahyuprakosa.staff.gunadarma.ac.id	<1%
31	Publication	Amuddin Amuddin, Joko Sumarsono, Salman Salman. "Internet of Things and LoR...	<1%
32	Submitted works	Universitas Andalas on 2024-06-03	<1%
33	Submitted works	Universitas Dinamika on 2025-07-25	<1%
34	Submitted works	Politeknik Negeri Cilacap on 2024-05-12	<1%
35	Submitted works	Universitas Diponegoro on 2021-12-07	<1%
36	Submitted works	Universitas Samudra on 2022-08-02	<1%
37	Submitted works	Syiah Kuala University on 2019-08-16	<1%
38	Publication	Toar Daniel Malingkas, Nelly Selvia Tongkeles, Ade Irma Sulistiani, Erminia Pereir...	<1%
39	Submitted works	Universitas Muria Kudus on 2018-09-01	<1%

40	Submitted works	Universitas Merdeka Malang on 2025-04-16	<1%
41	Submitted works	Universitas PGRI Palembang on 2022-07-06	<1%
42	Internet	www.jurnal.unsyiah.ac.id	<1%
43	Internet	repository.poltekbangplg.ac.id	<1%
44	Submitted works	Universitas Jenderal Soedirman on 2018-04-05	<1%
45	Publication	Jamal Basmal, Bakti Berlyanto Sedayu, Bagus Sediadi Bandol Utomo. "Kinerja Alat...	<1%
46	Submitted works	Sriwijaya University on 2019-07-05	<1%
47	Submitted works	Universitas Muria Kudus on 2016-02-05	<1%
48	Submitted works	Universitas Sumatera Utara on 2021-02-17	<1%
49	Internet	botduino.com	<1%
50	Internet	www.scribd.com	<1%
51	Internet	www.slideshare.net	<1%
52	Publication	Ikhwanul Fajri Al Akbar, Syarif Hidayatullah, Ihsan Hendrawan Baihaqi, Fathimah...	<1%
53	Submitted works	Fakultas Teknologi Kebumian dan Energi Universitas Trisakti on 2019-11-28	<1%

54	Submitted works	Pontificia Universidad Catolica de Chile on 2022-09-06	<1%
55	Internet	pdffox.com	<1%
56	Submitted works	Universitas Musamus Merauke on 2023-03-15	<1%
57	Internet	repository.ar-raniry.ac.id	<1%
58	Internet	blog.otoklix.com	<1%
59	Submitted works	Institut Teknologi Nasional Malang on 2023-07-28	<1%
60	Submitted works	Jabatan Pendidikan Politeknik Dan Kolej Komuniti on 2023-06-08	<1%
61	Submitted works	Politeknik Negeri Bandung on 2017-08-10	<1%
62	Submitted works	Politeknik Negeri Bandung on 2020-09-30	<1%
63	Submitted works	Universitas Islam Bandung on 2024-10-24	<1%
64	Internet	repository.unhas.ac.id	<1%
65	Internet	scholar.its.ac.id	<1%
66	Submitted works	Sultan Agung Islamic University on 2024-08-26	<1%
67	Submitted works	Telkom University on 2025-07-04	<1%

68	Submitted works	Universitas Dian Nuswantoro on 2015-07-01	<1%
69	Submitted works	Universitas Pamulang on 2022-12-28	<1%
70	Submitted works	Walters State Community College on 2024-11-28	<1%
71	Internet	mesin-kopi-kakao.blogspot.com	<1%
72	Submitted works	Universitas Diponegoro on 2025-08-01	<1%
73	Submitted works	Universitas Mercu Buana on 2025-07-25	<1%
74	Internet	dspace.uii.ac.id	<1%
75	Internet	rakusilmu.home.blog	<1%
76	Publication	Himsar Ambarita, Abdul Halim Nasution, Nelson M. Siahaan, Hideki Kawai. "Perfo...	<1%
77	Submitted works	STT PLN on 2020-03-10	<1%
78	Submitted works	Sriwijaya University on 2021-05-31	<1%
79	Submitted works	Universitas Diponegoro on 2021-09-28	<1%
80	Submitted works	Universitas Pendidikan Ganesha on 2021-08-17	<1%
81	Submitted works	Universitas Pertamina on 2021-02-18	<1%

82	Submitted works	Universitas Pertamina on 2025-07-18	<1%
83	Publication	Kunto Wibowo. "Kontribusi Pembangkit Listrik Energi Terbarukan dalam Mengur...	<1%
84	Submitted works	Politeknik Negeri Bandung on 2022-12-14	<1%
85	Submitted works	Sultan Agung Islamic University on 2023-09-04	<1%
86	Submitted works	UM Surabaya on 2025-05-05	<1%
87	Submitted works	Universitas Muria Kudus on 2022-11-16	<1%
88	Internet	bappelitbangda.bandungbaratkab.go.id	<1%
89	Publication	Garcia Benadí, Albert. "Processament de perfils de precipitació obtinguts amb ra...	<1%
90	Submitted works	National Institute Of Technology, Tiruchirappalli on 2021-01-09	<1%
91	Submitted works	Sriwijaya University on 2020-01-14	<1%
92	Submitted works	Syiah Kuala University on 2023-01-27	<1%
93	Submitted works	Universitas Negeri Surabaya The State University of Surabaya on 2020-04-04	<1%
94	Submitted works	Universitas Pendidikan Indonesia on 2019-01-27	<1%
95	Submitted works	Universitas Samudra on 2022-07-02	<1%

96	Internet	repository.upi.edu	<1%
97	Submitted works	Sriwijaya University on 2020-10-21	<1%
98	Submitted works	Sriwijaya University on 2023-07-10	<1%
99	Submitted works	Syiah Kuala University on 2018-11-26	<1%
100	Submitted works	Universitas Nusa Cendana on 2025-05-21	<1%
101	Internet	eprints.walisongo.ac.id	<1%
102	Internet	www.myfoodresearch.com	<1%
103	Submitted works	Defense University on 2025-01-17	<1%
104	Submitted works	Institut Teknologi Nasional Malang on 2022-06-07	<1%
105	Submitted works	Politeknik Negeri Bandung on 2019-07-05	<1%
106	Submitted works	Sriwijaya University on 2021-01-13	<1%
107	Submitted works	Syiah Kuala University on 2023-01-16	<1%
108	Submitted works	Universitas Bengkulu on 2025-05-20	<1%
109	Submitted works	Universitas Islam Riau on 2025-07-29	<1%

110	Submitted works	Universitas Jenderal Achmad Yani on 2020-08-06	<1%
111	Internet	64dd2656-66ef-4996-961a-51d6f9cf53c8.filesusr.com	<1%
112	Submitted works	Fakultas Teknologi Kebumian dan Energi Universitas Trisakti on 2021-02-05	<1%
113	Submitted works	LL Dikti IX Turnitin Consortium on 2019-08-08	<1%
114	Publication	Nursahar Buang, Aryani Rombekila. "Rancang Bangun Sistem Kendali Pompa Pen...	<1%
115	Submitted works	Universitas Gadjah Mada on 2025-06-17	<1%
116	Submitted works	Universitas Jember on 2019-01-23	<1%
117	Submitted works	Universitas Pendidikan Ganesha on 2022-07-15	<1%
118	Submitted works	Universitas Pertamina on 2021-01-06	<1%
119	Submitted works	Universitas Tidar on 2022-12-07	<1%
120	Submitted works	Universitas Trunojoyo on 2020-01-14	<1%
121	Submitted works	iGroup on 2013-10-07	<1%
122	Internet	sipeg.unj.ac.id	<1%
123	Internet	www.icpe.ro	<1%

124	Internet	www.sentrakalibrasiindustri.com	<1%
125	Submitted works	Saddleback High School on 2024-11-26	<1%
126	Submitted works	Sriwijaya University on 2021-06-24	<1%
127	Submitted works	Universitas Muria Kudus on 2016-09-15	<1%
128	Submitted works	Universitas Muria Kudus on 2018-08-30	<1%
129	Publication	Wicaksana, Bayu Septiaji. "Analisis Kapasitas dan Model Ruang Parkir Pada Pusat ...	<1%
130	Internet	elib.pnc.ac.id	<1%
131	Submitted works	itera on 2025-06-02	<1%
132	Internet	www.sekolahtehnik.com	<1%
133	Publication	Agung Wicaksono, Rony Seto Wibowo, I Made Yulistya Negara. "Optimasi Perenc...	<1%
134	Publication	Buana, Arya Sula Cakra. "Desain Kendali PID-MPSO pada Sistem Dual Axis Solar Tr...	<1%
135	Submitted works	Institut Teknologi Nasional Malang on 2020-07-27	<1%
136	Submitted works	Institut Teknologi Nasional Malang on 2022-06-13	<1%
137	Submitted works	Institut Teknologi Nasional Malang on 2022-10-11	<1%

138	Submitted works	SDM Universitas Gadjah Mada on 2021-10-08	<1%
139	Submitted works	SDM Universitas Gadjah Mada on 2023-01-30	<1%
140	Submitted works	Sriwijaya University on 2019-07-16	<1%
141	Submitted works	Sriwijaya University on 2020-04-13	<1%
142	Submitted works	Sriwijaya University on 2021-12-14	<1%
143	Submitted works	Syiah Kuala University on 2021-12-06	<1%
144	Submitted works	Universitas Brawijaya on 2016-12-27	<1%
145	Submitted works	Universitas Mataram on 2019-02-18	<1%
146	Submitted works	Universitas Pamulang on 2023-07-10	<1%
147	Submitted works	Universitas Papua on 2023-04-11	<1%
148	Submitted works	Universitas Pertamina on 2022-11-07	<1%
149	Internet	anton-hendsome.blogspot.com	<1%
150	Internet	docobook.com	<1%
151	Internet	ejournal.kemenperin.go.id	<1%

152	Internet	eprints.itn.ac.id	<1%
153	Internet	journals.itb.ac.id	<1%
154	Internet	ksme.or.kr	<1%
155	Internet	repository.pertanian.go.id	<1%
156	Internet	repository.ummat.ac.id	<1%
157	Internet	www.timbanganindonesia.com	<1%
158	Internet	yz-car.ci.cqvip.com	<1%
159	Submitted works	Departement of Electrical Engineering on 2025-07-22	<1%
160	Submitted works	Departement of Electrical Engineering on 2025-07-30	<1%
161	Submitted works	Fakultas Teknik on 2025-07-17	<1%
162	Submitted works	Fakultas Teknik on 2025-07-30	<1%
163	Publication	Griennasty Clawdya Siahaya, Samuel Titaley, Zasendy Rehena. "The Utilization Of ...	<1%
164	Publication	Hartono, Dwi Riyadi. "Prototipe Sistem Monitoring Daya Listrik Berbasis Internet ...	<1%
165	Publication	L. Abdi Zaljalaliwal Ikrom, Darmawan Muhammad iman. "Design of Garden Light...	<1%

166	Publication	Lela Narpulaela, Dian Budhi Santoso, Arnisa Stefanie, Reni Rahmadewi, Vita Efeli...	<1%
167	Publication	Lora Amifia, Ardiansyah Al-Farouq, Rizqa Amelia Zunaidi, Hernadimas Alfattah e...	<1%
168	Publication	Made Aditya Putra, Sandi Asmara, Cicih Sugianti, Dwi Dian Novita. "UJI KINERJA A...	<1%
169	Publication	Muhamad_ Rizal- Rizal87. "A PENGEMBANGAN PROTOTYPE TEMPAT TIDUR TANGG...	<1%
170	Publication	Nandy Putra, Raldi Artono Koestoer, M. Adhitya, Ardian Roekettino, Bayu Trianto....	<1%
171	Submitted works	Politeknik Negeri Bandung on 2017-08-16	<1%
172	Submitted works	Politeknik Negeri Bandung on 2023-07-05	<1%
173	Submitted works	Politeknik Negeri Jember on 2022-04-26	<1%
174	Publication	Riyani Prima Dewi, Fadhillah Hazrina, Novita Asma Illahi, Putri Maya Maemunah. ...	<1%
175	Submitted works	SDM Universitas Gadjah Mada on 2021-10-08	<1%
176	Submitted works	Sriwijaya University on 2019-03-18	<1%
177	Submitted works	Sriwijaya University on 2019-07-16	<1%
178	Submitted works	Sriwijaya University on 2020-11-16	<1%
179	Submitted works	Syiah Kuala University on 2017-01-19	<1%

180	Submitted works	Telkom University on 2025-07-05	<1%
181	Submitted works	Universitas Brawijaya on 2017-05-26	<1%
182	Submitted works	Universitas Dian Nuswantoro on 2023-08-15	<1%
183	Submitted works	Universitas Diponegoro on 2022-08-10	<1%
184	Submitted works	Universitas Esa Unggul on 2025-07-23	<1%
185	Submitted works	Universitas Jember on 2018-07-13	<1%
186	Submitted works	Universitas Merdeka Malang on 2025-04-15	<1%
187	Submitted works	Universitas Muhammadiyah Purwokerto on 2024-07-15	<1%
188	Submitted works	Universitas Nasional on 2020-10-07	<1%
189	Submitted works	Universitas Tidar on 2021-03-01	<1%
190	Publication	Yoga Arif Wicaksono, Warji Warji, Tamrin Tamrin, Sapto Kuncoro. "Pengeringan K...	<1%
191	Publication	Yoga Nugraha Pasaribu, Muhammad Fadlan Siregar, Jhoni Hidayat. "Analisis Day...	<1%
192	Internet	digilib.unila.ac.id	<1%
193	Internet	ejournal.unma.ac.id	<1%

194	Internet	en.eltiempo.es	<1%
195	Internet	fatepa.unram.ac.id	<1%
196	Submitted works	iGroup on 2014-10-20	<1%
197	Internet	idoc.pub	<1%
198	Submitted works	itera on 2025-07-31	<1%
199	Internet	jempols.files.wordpress.com	<1%
200	Internet	ojs.stttexmaco.ac.id	<1%
201	Internet	repository.usu.ac.id	<1%
202	Submitted works	unigal on 2024-07-08	<1%
203	Internet	www.bukalapak.com	<1%
204	Internet	www.gadget.io	<1%
205	Internet	www.jshsr.org	<1%
206	Internet	www.pnb.ac.id	<1%
207	Submitted works	Brunel University on 2025-06-27	<1%

208	Submitted works	Institut Teknologi Nasional Malang on 2021-07-13	<1%
209	Publication	Ozi Satria Nanda, Bismil Rabeta. "Pembuatan Alat dan Simulasi Sistem Engine Fir...	<1%
210	Submitted works	Politeknik Negeri Bandung on 2020-09-24	<1%
211	Publication	Sabugueiro, José Miguel Casaca. "O Contributo do Design Para a Prevenção de In...	<1%
212	Submitted works	Udayana University on 2017-08-16	<1%
213	Submitted works	Universitas Brawijaya on 2022-04-18	<1%
214	Submitted works	Universitas Muria Kudus on 2017-09-22	<1%
215	Submitted works	Universitas Pamulang on 2022-07-01	<1%
216	Submitted works	itera on 2024-09-24	<1%
217	Submitted works	itera on 2024-09-24	<1%
218	Submitted works	itera on 2025-06-23	<1%
219	Publication	"The 2nd International Joint Conference on Science and Technology (IJCST) 2017", ...	<1%
220	Submitted works	Institut Teknologi Kalimantan on 2023-06-21	<1%
221	Publication	Rahmawati, Innieke Ulya. "Prediksi Potensi Sampah Untuk Pembangkit Listrik Te...	<1%

222	Submitted works	Sriwijaya University on 2021-07-12	<1%
223	Submitted works	Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya on 2019-01-28	<1%
224	Submitted works	Universitas Andalas on 2023-12-13	<1%
225	Submitted works	Universitas Andalas on 2025-08-01	<1%
226	Submitted works	Universitas Maritim Raja Ali Haji on 2025-06-12	<1%
227	Submitted works	Universitas Negeri Surabaya The State University of Surabaya on 2020-03-31	<1%
228	Submitted works	Universitas Pertamina on 2022-03-18	<1%
229	Internet	ejournal.unib.ac.id	<1%
230	Submitted works	itera on 2025-02-18	<1%
231	Submitted works	unimal on 2025-07-01	<1%

SKRIPSI

ANALISIS ALAT PENGERING BIJI KOPI MENGUNAKAN TERMOELETRIK DENGAN PANEL SURYA



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh :

I MADE ARIF DWI ANTARA

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA UTILITAS**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI**

2025

SKRIPSI**ANALISIS ALAT PENDINGER BIJI KOPI
MENGUNAKAN TERMOELETRIK DENGAN
PANEL SURYA****POLITEKNIK NEGERI BALI**

Oleh :

I MADE ARIF DWI ANTARA

NIM 2115234002

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA UTILITAS****JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI****2025**

ii

LEMBAR PENGESAHAN**ANALISIS ALAT PENERING BIJI KOPI
MENGUNAKAN TERMOELEKTRIK DENGAN
PANEL SURYA**

Oleh :

I MADE ARIF DWI ANTARA
NIM 2115234002

1 Diajukan sebagai persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan pada
1 Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas
Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali

Disetujui oleh :

Pembimbing I

Pembimbing II

I Nengah Ardita, S.T., M.T.

**Prof. I Dewa Made Cipta Santosa,
S.T., M.Sc., Ph.D.**

NIP 196411301991031004

NIP 197212211999031002

Disahkan oleh :

Ketua Jurusan Teknik Mesin

1 Prof. I Dewa Made Cipta Santosa, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 197212211999031002

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISIS ALAT PENGERING BIJI KOPI MENGUNAKAN TERMoeLEKTRIK DENGAN PANEL SURYA

Oleh :

I MADE ARIF DWI ANTARA

NIM 2115234002

Skripsi ini telah dipertahankan di depan tim penguji dan diterima untuk
dapat dilanjutkan sebagai Buku Skripsi pada hari/tanggal :
11 Agustus 2025

Tim penguji

Tanda tangan

Penguji I : Prof. I Dewa Made Cipta Santosa,
S.T., M.Sc., Ph.D.

NIP : 197212211999031002

(.....)

Penguji II : Dr. M. Yusuf, S.Si., M.Erg.

NIP : 197511201999031003

(.....)

Penguji III : I Gede Artha Negara S.T., M.T.

NIP : 199805232022031011

(.....)

1

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : I Made Arif Dwi Antara

Nim : 2115234002

Progam studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas

Judul proposal : Analisis Alat Pengering Biji Kopi Menggunakan Termoelektrik
Dengan Panel Surya

1

Dengan ini menyatakan bahwa karya ilmiah Buku Skripsi ini bebas plagiat. Apabila dikemudian hari terbukti plagiat dalam Buku Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai Dengan Peraturan Mendiknas RI No. 17 Tahun 2010 dan Perundang- undangan yang berlaku.

Badung, 11 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan

I Made Arif Dwi Antara

Nim. 2115234002

v

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan Buku Skripsi ini, penulis banyak menerima bimbingan, petunjuk dan bantuan serta dorongan dari berbagai pihak baik yang bersifat moral maupun material. Penulis secara khusus mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu. Dengan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, penulis pada kesempatan ini menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak I Nyoman Abdi, SE., M.eCom selaku Direktur Politeknik Negeri Bali
2. Bapak Prof. I Dewa Made Cipta Sentosa, S.T., M.Se., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin
3. Bapak I Wayan Suastawa, S.T., M.T selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin
4. Bapak Dr Adi Winarta, S.T., M.T selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas
5. Bapak I Nengah Ardita, S.T., M.T selaku dosen pembimbing-1 yang selalu memberikan bimbingan, arahan, dorongan, dan semangat kepada penulis, sehingga Buku Skripsi ini dapat terselesaikan.
6. Bapak Prof. I Dewa Made Cipta Sentosa, S.T., M.Se., Ph.D selaku dosen pembimbing-2 yang selalu memberikan dukungan, perhatian, semangat dari awal menjadi mahasiswa hingga saat ini.
7. Segenap dosen dan seluruh staf akademik serta PLP yang selalu membantu dalam memberikan fasilitas, ilmu, serta pendidikan pada penulis hingga dapat menunjang dalam penyelesaian Buku Skripsi ini.
8. Kedua orang tua tercinta yang selama ini telah membantu penulis dalam bentuk perhatian, kasih sayang, semangat, serta doa demi kelancaran dan kesuksesan dalam menyelesaikan Buku Skripsi ini.
9. Kemudian terima kasih banyak untuk kakak dan adik tercinta yang telah memberikan dukungan serta donatur kepada penulis untuk menyelesaikan alat.
10. Teman-teman seperjuangan dalam menyelesaikan Skripsi tahun 2025 yang telah memberikan banyak masukan serta dukungan kepada penulis.
11. Kepada sahabat terima kasih telah menjadi sahabat terbaik bagi penulis yang selalu memberikan dukungan, semangat, motivasi, serta doa hingga penulis dapat menyelesaikan Buku Skripsi ini.
12. Serta masih banyak lagi pihak – pihak yang sangat berpengaruh dalam proses penyelesaian skripsi yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu, semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa membalas semua kebaikan yang telah diberikan

Semoga Buku Skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca umumnya, peneliti atau penulis, dan khususnya kepada civitas akademik Politeknik Negeri Bali.

Badung, 11 Agustus 2025

I Made Arif Dwi Antara

ABSTRAK

Pengeringan biji kopi merupakan tahap penting dalam proses pascapanen, namun metode konvensional masih memiliki keterbatasan, seperti ketergantungan pada kondisi cuaca dan waktu yang lama. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja mesin pengering biji kopi berbasis termoelektrik dengan panel surya sebagai sumber energi utama. Metode pengujian dilakukan secara eksperimental menggunakan dua jenis bahan, yaitu biji kopi *whole cherry* dan *parchment coffee*. Parameter yang diamati meliputi efisiensi termal, efisiensi pengeringan, *Coefficient of Performance* (COP), laju aliran massa pengeringan, dan *Specific Moisture Extraction Rate* (SMER), serta kontribusi daya dari panel surya.

Hasil pengujian pada biji kopi *whole cherry* menunjukkan bahwa kadar air awal sebesar 41,6% berhasil diturunkan menjadi 12,3% dalam waktu 10 jam, dengan efisiensi termal 49%, efisiensi pengeringan 35%, COP 0,35, laju aliran massa pengeringan 0,0579 kg/jam, dan SMER 0,0218 kg/kWh. Sedangkan pada biji kopi *parchment coffee*, kadar air awal 37,6% berhasil diturunkan menjadi 12% dalam 7 jam, dengan efisiensi termal 44%, efisiensi pengeringan 58%, COP 0,58, laju aliran massa pengeringan 0,097 kg/jam, dan SMER 0,3368 kg/kWh. Panel surya memberikan kontribusi daya rata-rata sebesar 11,8% pada pengujian *whole cherry* dan 5% pada *parchment coffee*, dengan rendahnya nilai disebabkan oleh kapasitas baterai yang cepat penuh. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem pengering termoelektrik berbasis panel surya mampu bekerja secara efektif dalam menurunkan kadar air biji kopi, dan memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai solusi pengeringan yang efisien dan ramah lingkungan.

Kata Kunci: *Mesin pengering, termoelektrik, biji kopi, whole cherry, parchment coffee, panel surya, efisiensi energi*

ANALYSIS OF COFFEE BEAN DRYING DEVICE USING THERMOELECTRIC WITH SOLAR PANELS

ABSTRACT

Coffee bean drying is a crucial stage in the post-harvest process; however, conventional methods still have limitations, such as dependency on weather conditions and long drying durations. This study aims to analyze the performance of a coffee bean drying machine based on thermoelectric technology with solar panels as the primary energy source. The experimental method was conducted using two types of coffee beans: whole cherry and parchment coffee. The observed parameters include thermal efficiency, drying efficiency, Coefficient of Performance (COP), drying mass flow rate, Specific Moisture Extraction Rate (SMER), and the power contribution from solar panels.

The test results on whole cherry coffee beans showed that the initial moisture content of 41.6% was successfully reduced to 12.3% within 10 hours, with a thermal efficiency of 49%, drying efficiency of 35%, COP of 0.35, drying mass flow rate of 0.0579 kg/h, and SMER of 0.0218 kg/kWh. Meanwhile, for parchment coffee, the moisture content decreased from 37.6% to 12% within 7 hours, with a thermal efficiency of 44%, drying efficiency of 58%, COP of 0.58, drying mass flow rate of 0.097 kg/h, and SMER of 0.3368 kg/kWh. The solar panel contributed an average of 11.8% of the energy demand during the whole cherry test and 5% during the parchment coffee test, with the low values caused by the battery reaching full capacity quickly. These results indicate that the thermoelectric drying system powered by solar panels is effective in reducing coffee bean moisture content and has strong potential to be further developed as an energy-efficient and environmentally friendly drying solution.

Keywords: Drying machine, thermoelectric, coffee beans, whole cherry, parchment coffee, solar panel, energy efficiency

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadapan Ida Sang Hyang Widhi Wasa / Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Buku Skripsi ini yang berjudul “Analisis Alat Pengering Biji Kopi Menggunakan Termoelektrik Dengan Panel Surya “. Penyusunan Buku Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk kelulusan program pendidikan pada jenjang Diploma 4 Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali. Penulis menyadari Buku Skripsi ini jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran sebagai pelajaran demi penyempurnaan karya – karya ilmiah penulis di masa yang akan datang.

Badung, 11 Agustus 2025

I Made Arif Dwi Antara

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iv
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.4.1 Tujuan umum.....	3
1.4.2 Tujuan khusus.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.5.1 Bagi penulis	3
1.5.2 Bagi Politeknik Negeri Bali.....	4
1.5.3 Bagi masyarakat.....	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Kopi	5
2.2 Proses Pengeringan Biji Kopi.....	6
2.2.1 Biji kopi berkulit buah (<i>whole cherry</i>)	7

2.2.2	Biji kopi berkulit (<i>parchment coffee</i>).....	7
2.2.3	Biji kopi kupasan (<i>green bean</i>).....	8
2.3	Termoelektrik	8
2.3.1	Efek Seebeck	9
2.3.2	Efek Peltier	9
2.4	Heat Sink Pada Termoelektrik	10
2.5	Panel Surya	10
2.6	Jenis jenis panel surya	11
2.6.1	Mono-crystalline	11
2.6.2	Poly-crystalline	12
2.6.3	Panel surya <i>thin film</i>	13
2.7	Solar Charge Controller.....	15
2.8	Baterai.....	16
2.9	Inverter.....	16
2.10	Sistem Panel Surya.....	17
2.10.1	Sistem <i>off grid</i>	17
2.10.2	Sistem <i>on-grid</i>	18
2.10.3	Sistem <i>hybird</i>	19
2.11	Pengertian Psikrometrik.....	20
2.11.1	Sifat udara pada psikrometrik.....	20
2.11.2	Proses udara dalam psikrometrik.....	21
2.12	Menghitung Kinerja Mesin Pengering.....	24
2.12.1	Efisiensi Termal (η_t).....	24
2.12.2	Efisiensi Pengeringan (η_p).....	25
2.12.3	Coefficient of Performance.....	26
2.12.4	Menghitung Laju Aliran Massa Pengeringan	27
2.12.5	<i>Specific moisture extraction rate</i> (SMER).....	27
2.13	Menghitung Kinerja Dari Panel Surya	28
2.14	Komponen Alat Pengering	29
	BAB III METODE PENELITIAN.....	34
3.1	Jenis Penelitian	34

1	3.2	Alur Penelitian	38
	3.3	Lokasi Dan Waktu Penelitian	39
	3.3.1	Lokasi penelitian	39
	3.3.2	Waktu penelitian	39
	3.4	Penentuan Sumber Data	39
	3.5	Sumber Daya Penelitian	41
	3.6	Instrumen Penelitian	41
	3.7	Prosedur Pengujian	44
	3.7.1	Prosedur pengujian alat pengering biji kopi	44
64	3.7.2	Prosedur pengujian panel surya sebagai sumber energi	44
	BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		45
	4.1	Hasil Penelitian	45
	4.1.1	Hasil desain	45
	4.1.2	Penempatan sensor pada ruang pengering	46
	4.1.2	Langkah pengambilan data temperatur dan kelembapan	48
	4.1.3	Langkah dalam pengambilan data panel surya	49
15	4.2	Proses Pengujian Biji Kopi	49
	4.2.1	Data pengujian biji kopi <i>whole cherry</i>	51
	4.2.2	Hasil pengujian biji kopi <i>whole cherry</i>	54
	4.2.3	Data pengujian biji kopi <i>whole cherry</i>	54
	4.2.4	Hasil pengujian biji kopi <i>parchment coffee</i>	57
	4.3	Pengujian Panel Surya Pengujian Biji Kopi	57
	4.4	Kinerja Mesin Pengering Pengujian Biji Kopi <i>Whole Cherry</i>	59
	4.4.1	Efisiensi termal (η_t)	60
	4.4.2	Efisiensi pengeringan (η_p)	62
	4.4.3	Coefficient of performance	63
5	4.4.4	Laju aliran massa pengeringan	63
	4.4.5	<i>Specific moisture extraction rate</i>	64
	4.5	Kinerja mesin pengering pengujian biji kopi (<i>parchment coffee</i>)	64
	4.5.1	Efisiensi termal (η_t)	65
	4.5.2	Efisiensi pengeringan (η_p)	67

4.5.3 Coefficient of performance.....	68
4.5.4 Menghitung laju aliran massa pengeringan	68
4.5.5 <i>Specific moisture extraction rate</i> (SMER).....	69
4.6 Menghitung Kinerja Dari Panel Surya Pengujian <i>Whole Cherry</i>	69
4.7 Menghitung Kinerja Dari Panel Surya Biji Kopi (<i>Parchment Coffee</i>).....	71
4.8 Pembahasan Pengujian Biji Kopi (<i>Whole Cherry</i>).....	72
4.8.1 Grafik data kelembapan pada pengujian selama 10 jam.....	72
4.8.2 Grafik data temperatur pengujian biji kopi selama 10 jam.....	73
4.8.3 Grafik data TH,TC pengujian biji kopi selama 10 jam.....	75
4.8.4 Grafik penurunan kadar air selama 10 jam	75
4.8.5 Diagram psikometrik pengujian biji kopi selama 10 jam	76
4.9 Pembahasan Pengujian Biji Kopi (<i>Parchment Coffee</i>).....	81
4.9.1 Grafik data temperatur pada pengujian selama 7 jam.....	81
4.9.2 Grafik data kelembapan pada pengujian selama 7 jam.....	82
4.9.3 Grafik data TH dan TC pada pengujian selama 7 jam.....	84
4.9.4 Grafik penurunan kadar air	85
4.9.5 Diagram psikometrik pengujian selama 7 jam	85
4.10 Pembahasan Grafik Panel Surya.....	89
BAB V PENUTUP.....	92
5.1 Kesimpulan.....	92
5.2 Saran	93
DAFTAR PUSTAKA	94
LAMPIRAN.....	96

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Standar mutu biji kopi kering	6
Tabel 2. 2 Spesifikasi panel surya monocrystalin	11
Tabel 2. 3 Spesifikasi panel surya <i>poly-crystalline</i>	12
Tabel 2. 4 Spesifikasi panel surya thin-film	14
Tabel 2. 5 Spesifikasi SCC	15
Tabel 2. 6 Spesifikasi baterai	16
Tabel 2. 7 Spesifikasi inverter	17
Tabel 2. 8 Spesifikasi termoelektrik TEC-12706	30
Tabel 2. 9 Spesifikasi <i>fan</i>	30
Tabel 2. 10 Spesifikasi sensor DHT 22	32
Tabel 2. 11 Spesifikasi sensor DS18B20	33
Tabel 3. 1 Waktu penelitian	39
Tabel 3. 2 Penentuan sumber data mesin pengering	40
Tabel 3. 3 Penentuan sumber data panel surya	40
Tabel 4. 1 Data pengujian biji kopi whole cherry selama 9 jam	52
Tabel 4. 2 Data pengujian biji kopi whole cherry selama 10 jam	53
Tabel 4. 3 Data pengujian biji kopi parchment coffee selama 6 jam	55
Tabel 4. 4 Data pengujian biji kopi parchment coffee selama 7 jam	56
Tabel 4. 5 Data pengujian panel surya biji kopi whole cherry selama 10 jam	58
Tabel 4. 6 Data pengujian panel surya biji kopi parchment coffee selama 7 jam	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Biji kopi.....	6
Gambar 2. 2 Termoelektrik.....	8
Gambar 2. 3 Proses termoelektrik mengubah energi panas menjadi energi listrik..	9
Gambar 2. 4 Proses termoelektrik mengubah energi listrik menjadi energi panas.	10
Gambar 2. 5 Skema proses pemanfaatan energi surya.....	11
Gambar 2. 6 Panel surya <i>mono-crystalline</i>	12
Gambar 2. 7 Panel surya <i>polly-crystalline</i>	13
Gambar 2. 8 Panel surya thin-film	14
Gambar 2. 9 Solar <i>charge controller</i>	15
Gambar 2. 10 Baterai panel surya	16
Gambar 2. 11 Inverter	17
Gambar 2. 12 Sistem <i>off-grid</i> panel surya	18
Gambar 2. 13 Sistem <i>on-grid</i> panel surya.....	18
Gambar 2. 14 Sistem <i>hybird</i> panel surya	19
Gambar 2.15 Diagram psikrometrik proses penurunan kelembaban	21
Gambar 2.16 Proses-proses psikometrik.....	22
Gambar 2. 17 Termoelektrik TEC1-12706	29
Gambar 2.18 <i>Fan dc</i> 12 v 80 mm	30
Gambar 2. 19 Heatsink.....	31
Gambar 2. 20 Coldsink	31
Gambar 2. 21 Sensor DHT-22	32
Gambar 2. 22 Sensor DS18B20	33
Gambar 3. 1 Alat pengering biji kopi menggunakan termoelektrik.....	35
Gambar 3. 2 (A) Tampak depan (B) Tampak belakang.....	35
Gambar 3. 3 Aliran udara dalam kotak pengering	36
Gambar 3. 4 Skematik sistem dan penempatan alat ukur	36
Gambar 3. 5 Diagram alur penelitian	38
Gambar 3. 6 Alat pengukur kadar air	42

1	Gambar 3. 7 Timbangan.....	42
	Gambar 3. 8 Stopwatch.....	42
	Gambar 3. 9 Avometer.....	43
	Gambar 3. 10 Lux meter	43
	Gambar 3. 11 Anemo meter	43
	Gambar 4. 1 Tampak depan (A) tampak belakang (B)	46
10	Gambar 4. 2 Penempatan sensor	46
	Gambar 4. 3 Sensor <i>T1</i> dan <i>RH1</i>	47
47	Gambar 4. 4 Sensor <i>T2</i> dan <i>RH2</i>	47
	Gambar 4. 5 Sensor <i>T3</i> dan <i>RH3</i>	47
	Gambar 4. 6 Sensor pada heatsink	47
	Gambar 4. 7 Sensor pada coldsink.....	48
	Gambar 4. 8 Sensor pada ruangan.....	48
	Gambar 4. 9 Pemetikan biji kopi.....	49
5	Gambar 4. 10 Penimbangan biji kopi.....	50
	Gambar 4. 11 Penempatan biji kopi pada rak pengering	50
	Gambar 4. 12 Pengujian biji kopi <i>whole cherry</i>	50
	Gambar 4. 13 Hasil pengeringan biji kopi (<i>whole cherry</i>).....	54
	Gambar 4. 14 Hasil pengeringan biji kopi 7 jam	57
120	Gambar 4. 15 Pencatatan data <i>Pout</i> panel surya	58
	Gambar 4. 16 Grafik data kelembapan pada pengujian biji kopi (<i>whole cherry</i>) .	73
	Gambar 4. 17 Grafik temperatur pada pengujian 10 jam.....	74
	Gambar 4. 18 Grafik data TH,TC pengujian biji kopi selama 10 jam	75
	Gambar 4. 19 Grafik penurunan kadar air pengujian 10 jam.....	76
	Gambar 4. 20 Diagram psikometrik <i>whole chery</i>	79
	Gambar 4. 21 Grafik temperatur pengujian <i>parchment coffee</i>	81
	Gambar 4. 22 Grafik penurunan kelembapan pengujian <i>parchment coffee</i>	83
	Gambar 4. 23 Grafik TH dan TC biji kopi pengujian <i>parchment coffee</i>	84
48	Gambar 4. 24 Grafik penurunan kadar air <i>parchment coffee</i>	85
	Gambar 4. 25 Diagram psikometrik <i>parchment coffee</i>	88
104	Gambar 4. 26 Grafik kinerja panel surya pada pengujian <i>whole cherry</i>	90

104

Gambar 4. 27 Grafik kinerja panel surya *parchment coffee* 91

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Properties of air</i>	96
Lampiran 2. Properties of saturated water	97
Lampiran 3. Lembar bimbingan pembimbing 1	98
Lampiran 4. Lembar bimbingan pembimbing 2	99
Lampiran 5 Data temperatur dan kelembapan pengujian whole cherry 10 jam	100
Lampiran 6 Data voltase dan ampere 10 jam whole chery	101
Lampiran 7 Data temperatur dan kelembapan pengujian whole cherry 9 jam ..	102
Lampiran 8 Data voltase dan ampere 9 jam biji kopi whole cherry	102
Lampiran 9 Data pengujian 6 jam biji kopi parchment coffee.....	103
Lampiran 10 Data voltase dan ampere 6 jam.....	103
Lampiran 11 Data temperatur dan kelembapan 7 jam parcment coffee	104
Lampiran 12 Data voltase dan ampere pengujian 7 jam whole chery	105
Lampiran 13 Data diagram psikometrik pengujian whole cherry 10 jam.....	106
Lampiran 14 Data psikometrik pengujian 7 jam parchment coffee	108
Lampiran 15 Data pengujian panel surya 7 jam.....	110
Lampiran 16 Pengujian laju aliran udara	112

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah salah satu produsen kopi terbesar di dunia, dengan produksi tahunan yang signifikan. Menurut data dari Kementerian Pertanian (2022), kopi menjadi komoditas andalan dalam sektor perkebunan dan berkontribusi besar terhadap ekonomi nasional. Pengeringan merupakan proses penting dalam banyak industri termasuk pertanian. Pengeringan berguna untuk mengurangi kadar air pada produk guna memperpanjang umur simpan dan meningkatkan kualitas.

Selama ini, para petani tradisional mengeringkan biji kopi secara manual yaitu masih memanfaatkan sinar matahari langsung, lama penjemuran antara 5 - 10 hari tergantung cuaca. Umumnya petani mengakhiri penjemuran dengan perkiraan tingkat kekeringan 13 – 15%, dilaporkan oleh Silva *et al* (2019, p. 56). Namun metode ini memiliki beberapa kendala, seperti tercemarnya biji kopi oleh kotoran – kotoran yang berada di lingkungan sekitar, proses pengeringan ini sangat bergantung kepada cuaca, waktu pengeringan yang cukup lama dan turunnya hujan yang menyebabkan kadar air tidak stabil. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam teknologi pengeringan yang lebih efisien.

Dalam konteks ini, teknologi termoelektrik yang memanfaatkan perbedaan temperatur untuk menghasilkan energi listrik merupakan alternatif yang menjanjikan. Dengan mengintegrasikan sistem termoelektrik dengan panel surya sebagai sumber energi, proses pengeringan biji kopi dapat dilakukan lebih berkelanjutan. Sumber daya energi surya yang melimpah di Indonesia dapat digunakan untuk mendukung proses pengeringan, sehingga mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil yang semakin lemah. Hal ini merupakan bagian dari upaya pengurangan emisi karbon dan dampak negatif terhadap lingkungan (Putra, 2021).

Panel surya, sebagai salah satu sumber energi terbarukan, menawarkan manfaat besar dalam mengurangi ketergantungan pada energi fosil.

Pemanfaatannya tidak hanya mendukung keberlanjutan lingkungan, tetapi juga memberikan alternatif energi bagi daerah-daerah terpencil yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik. Kombinasi teknologi termoelektrik dengan panel surya menciptakan sistem pengering yang hemat energi, ramah lingkungan, dan mampu menghasilkan hasil pengeringan yang lebih konsisten.

Alat pengering biji kopi ini merupakan alat yang dirancang untuk mengurangi kadar air di dalam biji kopi hingga mencapai kadar optimal (sekitar 11-13%), sehingga biji kopi dapat disimpan dengan aman dan tidak mudah rusak akibat jamur maupun fermentasi berlebihan. Mesin pengering biji kopi berperan penting dalam menjaga kualitas dan daya saing produk kopi di pasaran. Pemilihan alat yang tepat harus didasarkan pada kebutuhan dan sumber daya yang tersedia.

Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis alat pengeringan biji kopi menggunakan sistem termoelektrik yang didukung panel surya sebagai sumber energi. Dengan melakukan analisis, pengering biji kopi dapat dioptimalkan untuk mendukung kualitas dari produk, efisiensi mesin pengering, dan keberlanjutan bisnis dalam industri kopi. Menurut Sari (2022), pemanfaatan teknologi energi terbarukan pada sektor pertanian dapat meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil pertanian khususnya biji kopi. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap perkembangan teknologi di bidang teknik mesin.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan diatas, maka ada beberapa hal yang menjadi permasalahan yang harus ditangani sebagai berikut :

1. Bagaimana analisa kinerja dari mesin pengering biji kopi menggunakan termoelektrik ?
2. Bagaimana analisa kinerja panel surya sebagai sumber energi dari pengeringan menggunakan termoelektrik ?

1.3 Batasan Masalah

Dengan banyaknya perkembangan yang dapat ditemukan dalam hal ini, maka perlu adanya batasan – batasan terhadap apa yang diciptakan dan diselesaikan

dalam hal ini. Adapun beberapa batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Panel surya yang digunakan jenis panel surya *polly crystalline*, *mono crystalin* dengan kapasitas total 2800 watt
2. Baterai yang digunakan dengan kapasitas 100 AH
3. Media yang dikeringkan adalah biji kopi dengan skala kecil
4. Pengujian alat pengering biji kopi menggunakan termoelektrik dengan panel surya pada saat intensitas cahaya matahari penuh

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari Analisis pengering biji kopi menggunakan termoelektrik berbasis panel surya yakni terdapat dua tujuan sebagai berikut :

1.4.1 Tujuan umum

1. Sebagai syarat untuk menyelesaikan program pendidikan Sarjana Terapan pada Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali.
2. Menerapkan ilmu - ilmu yang telah diperoleh selama mengikuti perkuliahan di jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali.

1.4.2 Tujuan khusus

1. Dapat menganalisis kinerja mesin pengering biji kopi dengan termoelektrik.
2. Dapat menganalisis kinerja dari panel surya sebagai sumber energi.

1.5 Manfaat Penelitian

Penulis berharap dengan hasil pengujian ini dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1.5.1 Bagi penulis

1. Penelitian ini berguna untuk mengaplikasikan ilmu dan pemahaman yang diperoleh selama perkuliahan, sebagai referensi media pembelajaran untuk memperluas wawasan.
2. Penelitian ini memperluas pemahaman tentang teknologi termoelektrik dan panel surya serta penerapannya dalam sistem pengeringan.

1.5.2 Bagi Politeknik Negeri Bali

1. Penelitian ini dapat memotivasi mahasiswa untuk mengembangkan ide-ide teknologi yang inovatif dan membuka peluang usaha, seperti menciptakan produk pengeringan kopi yang siap dipasarkan.
2. Proyek ini dapat digunakan sebagai bahan pembelajaran praktik untuk membantu siswa memahami konsep termoelektrik, energi terbarukan, dan teknik peralatan. Selain itu, mahasiswa mendapatkan pengalaman langsung dalam analisis dan pengembangan teknologi.

1.5.3 Bagi masyarakat

1. Perkembangan pengering menggunakan termoelektrik berbasis panel surya mendorong masyarakat untuk menerapkan teknologi baru dalam praktik pertanian, sehingga menciptakan pertanian yang lebih berkelanjutan dan produktif.
2. Penelitian ini memberikan teknologi yang mudah diterapkan bagi masyarakat pedesaan, terutama di daerah terpencil yang tidak memiliki pasokan listrik yang memadai. Oleh karena itu, alat ini dapat membantu mempercepat proses modernisasi pertanian kopi.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Kopi

Kopi merupakan salah satu komoditas utama di sektor pertanian dan mempunyai nilai ekonomi besar di pasar domestik dan internasional. Pengeringan merupakan langkah penting dalam pengolahan kopi yang bertujuan untuk mengurangi kadar air pada biji kopi untuk memperpanjang umur simpan dan meningkatkan kualitas produk akhir. Pengeringan adalah suatu cara untuk mengeluarkan atau menghilangkan sebagian besar air dari bahan dengan menggunakan energi panas, dilakukan hingga mencapai kadar air keseimbangan dengan lingkungan tertentu sehingga jamur, enzim, mikroorganisme, dan serangga yang dapat merusak menjadi tidak aktif. Gambar biji kopi dapat dilihat pada 2.1.

Mengeringkan kopi dengan mengurangi kadar air biji kopi dari kandungan aslinya (biasanya sekitar 60-70%) menjadi kadar air yang aman untuk penyimpanan sekitar 12 – 13%. Proses ini dimaksudkan untuk mencegah pertumbuhan mikroorganisme dan reaksi kimia yang dapat membahayakan kualitas kopi. Pengeringan yang tidak optimal dapat menyebabkan berkurangnya kualitas kopi, seperti munculnya rasa keasaman yang berlebihan, rasa yang tidak enak, atau bahkan kerusakan biji kopi. Di sisi lain, pengeringan yang tepat dapat meningkatkan rasa, aroma, dan tekstur kopi (Lopes et al., 2021).

Pengeringan biji kopi ideal pada temperatur 50 °C, karena jika temperatur yang tinggi mengakibatkan kadar kafein, cita rasa dan aroma dari kopi akan berkurang dan pengeringan pada temperatur 50 °C perpindahan antara partikel air dan penguapan dapat berjalan dengan baik sehingga dapat menurunkan kadar air dengan baik serta cukup untuk menguapkan air tanpa membuat biji kopi menjadi rusak, sehingga mengurangi resiko fermentasi berlebih atau kontaminasi. Untuk pengeringan biji kopi pada temperatur 50 °C membutuhkan waktu selama 10 jam untuk mencapai kadar air 12 % (Uswatun Hasanah et al., 2022).



Gambar 2. 1 Biji kopi
Sumber : Bitka (2023)

Kandungan biji kopi kering diatur dalam SNI sesuai dengan tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2. 1 Standar mutu biji kopi kering

No	Karakteristik	Syarat mutu
1.	Kadar air	12,5 %
2.	Kadar kotoran	0,5 %
3.	Bau	Bebas dari bau busuk
4.	Ukuran biji	5.6 mm
5.	Warna	cokelat muda
6.	Protein	12,3 gram
7.	Karbohidrat (CHO)	35,0 gram
8.	Lemak	0,5 gram
9.	Kalsium (Ca)	179 mg
10.	Fosfor (P)	383 mg
11.	Besi (Fe)	5,6 mg
12.	Natrium (Na)	72 mg

Sumber : SNI 01-2907-2008

2.2 Proses Pengeringan Biji Kopi

Dalam proses pascapanen, biji kopi mengalami berbagai tahapan perlakuan mulai dari pengupasan kulit, fermentasi, pencucian, pengeringan, hingga penyimpanan. Setiap tahapan akan menentukan bentuk fisik dari biji kopi yang siap untuk dikeringkan. Bentuk biji kopi ini sangat mempengaruhi waktu, metode, efisiensi, dan hasil mutu pengeringan, karena setiap bentuk memiliki kadar air dan struktur fisik yang berbeda. Secara umum, bentuk biji kopi pada tahap pengeringan dapat dibagi menjadi tiga, yaitu: biji kopi berkulit buah (*whole cherry*), biji kopi berkulit tanduk (*parchment*), dan biji kopi kupasan (*green bean*).

2.2.1 Biji kopi berkulit buah (*whole cherry*)

Biji kopi berkulit buah atau *whole cherry* adalah buah kopi yang masih dalam kondisi utuh, belum mengalami proses pengupasan sama sekali. Pada tahap ini, biji kopi masih terbungkus oleh:

1. Kulit luar (*eksokarp*),
2. Daging buah (*mesokarp*),
3. Lendir atau lapisan lendir (*mucilage*),
4. Kulit tanduk (*endokarp*),
5. Dan biji di bagian inti.

Whole cherry digunakan dalam metode pengolahan yang disebut proses natural (pengeringan kering). Dalam proses ini, buah kopi langsung dijemur tanpa dicuci atau dikupas terlebih dahulu. Pengeringan dilakukan hingga kadar air turun ke tingkat yang aman, sekitar 11–12%. Metode ini lebih hemat air dan energi karena tidak membutuhkan fermentasi dan pencucian. Namun, waktu pengeringannya lebih lama (bisa mencapai 2–3 minggu tergantung cuaca), dan jika tidak dikontrol dengan baik, dapat menimbulkan rasa asam berlebih atau kontaminasi jamur. Pengeringan *whole cherry* menghasilkan cita rasa yang lebih kompleks, dengan karakter *fruity* dan *body* yang lebih kuat, namun memerlukan kontrol temperatur dan kelembapan yang ketat untuk menjaga mutu (Ahmed et al., 2022).

2.2.2 Biji kopi berkulit (*parchment coffee*)

Biji kopi berkulit atau *parchment coffee* adalah biji kopi yang telah dikupas kulit luarnya (kulit merah) melalui proses *pulping*, dan kemudian difermentasi serta dicuci untuk menghilangkan lendir. Pada tahap ini, biji masih terbungkus oleh kulit tanduk (*parchment*), yaitu lapisan keras pelindung biji di bagian dalam. *Parchment coffee* berasal dari metode pengolahan *washed process* (proses basah). Setelah pencucian, biji kopi dikeringkan dalam bentuk ini, baik melalui penjemuran langsung atau alat pengering. Pengeringan biji kopi dalam bentuk *parchment* cenderung lebih cepat daripada *whole cherry* karena kadar air awalnya lebih rendah. Biji kopi dalam bentuk *parchment* memiliki keunggulan dalam stabilitas rasa dan mutu fisik, serta lebih tahan terhadap kerusakan selama pengeringan dan penyimpanan (Prastyo et al., 2021).

2.2.3 Biji kopi kupasan (*green bean*)

Green bean adalah biji kopi yang sudah mengalami seluruh tahapan pascapanen, mulai dari pulping, fermentasi, pencucian, pengeringan, hingga pengupasan kulit tanduk (*hulling*). *Green bean* adalah bentuk biji kopi mentah siap disangrai, dan menjadi standar perdagangan kopi secara internasional. Biasanya *green bean* tidak lagi dikeringkan, tetapi pada beberapa kondisi tertentu (misalnya jika kadar air masih tinggi), *green bean* akan menjalani pengeringan lanjutan untuk mencapai kadar air ideal, yaitu 10–12%. *Green bean* memiliki bentuk bersih, padat, dan warna kehijauan atau kekuningan. Pengeringan biji dalam bentuk ini harus dilakukan secara hati-hati, karena tanpa pelindung kulit tanduk, biji lebih rentan pecah dan menurun mutunya jika terkena panas berlebih. Kualitas *green bean* sangat dipengaruhi oleh konsistensi temperatur dan kelembapan selama proses pengeringan, terutama jika menggunakan alat mekanis seperti dryer berbasis termoelektrik (Nugroho et al., 2023).

2.3 Termoelektrik

Termoelektrik (*thermoelectric*) merupakan suatu komponen yang dapat merubah energi kalor (perbedaan temperatur) menjadi energi listrik secara langsung, selain itu termoelektrik juga dapat mengkonversikan energi listrik menjadi proses pompa kalor. Gambar termoelektrik dapat dilihat pada 2.2.

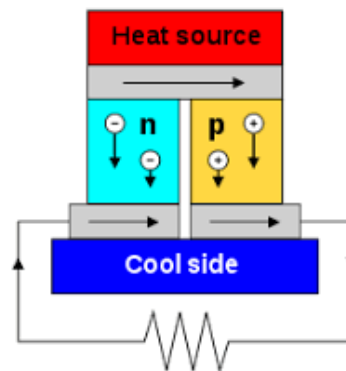


Gambar 2.2 Termoelektrik
Sumber : Sunrom (2023)

Prinsip kerja yang digunakan pada Termoelektrik adalah fenomena yang menggunakan interaksi antara panas dan listrik untuk menghasilkan energi atau mengatur temperatur. Dua efek utama yang mendasari prinsip kerja dari termoelektrik adalah efek Peltier dan efek Seebeck.

2.3.1 Efek Seebeck

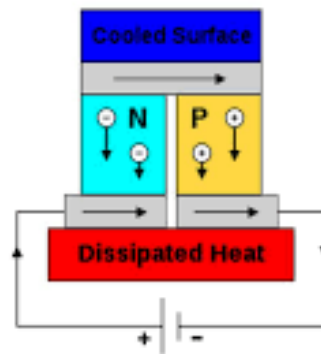
Efek Seebeck ditemukan oleh Thomas Johann Seebeck pada tahun 1821. Efek ini terjadi ketika terdapat perbedaan temperatur antara dua sambungan logam atau semikonduktor yang berbeda, yang kemudian menghasilkan tegangan listrik. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh pergerakan elektron dari sisi dengan temperatur tinggi (*hot side*) ke sisi dengan temperatur rendah (*cold side*). Efek Seebeck banyak dimanfaatkan dalam perangkat seperti termokopel untuk mengukur temperatur serta generator termoelektrik (TEG) untuk mengonversi panas menjadi listrik. Proses terjadinya efek seebeck tersebut dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Proses termoelektrik mengubah energi panas menjadi energi listrik
Sumber : Kristopo (2019)

2.3.2 Efek Peltier

Efek Peltier ditemukan oleh Jean Charles Athanase Peltier pada tahun 1834. Efek ini terjadi ketika arus listrik mengalir melalui dua material yang berbeda, yang menyebabkan pelepasan atau penyerapan panas di sambungan antara material tersebut. Fenomena ini bersifat kebalikan dari efek Seebeck. Efek Peltier sering diaplikasikan dalam perangkat pendingin termoelektrik (TEC), seperti pendingin mini untuk prosesor komputer dan sistem pendingin tanpa kompresor pada aplikasi portabel. Proses terjadinya efek peltier tersebut dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Proses termoelektrik mengubah energi listrik menjadi energi panas
Sumber : Kristopo (2019)

2.4 Heat Sink Pada Termoelektrik

Heatsink ditemukan pertama kali oleh Daniel L. Thomas pada tahun 1982. *Heatsink* berfungsi sebagai media memperluas perpindahan panas agar penyerapan panas lebih cepat. *Heatsink* menyerap panas dari suatu benda yang menempel dengan *heatsink* tersebut dan melepaskan panas ke lingkungan. *Heatsink* seringkali digunakan sebagai pendingin elektronik. Ada dua bagian pada *heatsink* yaitu bagian penyerapan panas dan bagian pendinginan, bagian penyerap panas terbuat dari aluminium dan tembaga dan pada bagian pendinginan terbuat dari aluminium.

2.5 Panel Surya

Panel surya merupakan teknologi yang berfungsi mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui proses yang disebut efek fotovoltaiik. Prinsip kerja panel surya berpusat pada penggunaan sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor, seperti silikon. Ketika cahaya matahari mengenai permukaan sel surya, foton-foton dari cahaya akan diserap oleh material semikonduktor. Proses ini menyebabkan elektron-elektron dalam atom material semikonduktor mendapatkan energi tambahan sehingga keluar dari orbitnya dan menghasilkan aliran elektron, atau disebut arus listrik.



Gambar 2.5 Skema proses pemanfaatan energi surya
Sumber : Surya (2016)

2.6 Jenis jenis panel surya

Panel surya terdiri dari fotovoltaiik yang menghasilkan listrik dari intensitas cahaya saat intensitas cahaya berkurang (mendung, berawan dan hujan) arus listrik yang dihasilkan akan berkurang. Pada umumnya jenis – jenis panel surya yang digunakan sebagai berikut :

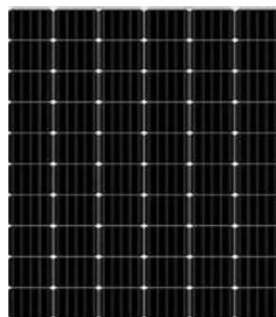
2.6.1 Mono-crystalline

Panel surya jenis monokristalin dikenal memiliki kinerja dan efisiensi paling tinggi dibandingkan jenis lainnya. Efisiensinya berkisar antara 15% hingga 20%, karena selnya terbuat dari satu kristal silikon utuh. Struktur ini memungkinkan pergerakan elektron lebih lancar, sehingga daya serap energi matahari menjadi lebih maksimal. Informasi lengkap mengenai spesifikasi dan tampilan panel surya ini disajikan pada Tabel 2.2 dan Gambar 2.6.

Tabel 2. 2 Spesifikasi panel surya monocrystalin

Parameter	Spesifikasi Umum
Jenis Panel	Monokristalin
Daya Maksimum (Pmax)	100 Watt peak (Wp)
Tegangan Maksimum (Vmp)	±18.0 Volt
Arus Maksimum (Imp)	±5.56 Ampere
Tegangan Rangkaian Terbuka (Voc)	±22.0 Volt
Arus Hubung Singkat (Isc)	±5.9 Ampere
Efisiensi Modul	±18–21%
Temperatur Operasi	-40°C hingga +85°C
Ukuran Panel	1000 × 670 × 30 mm
Berat	6–8 kg
Material Permukaan	Kaca tempered + bingkai aluminium

Sumber : Surya (2016)



Gambar 2.6 Panel surya *mono-crystalline*
Sumber : Surya (2016)

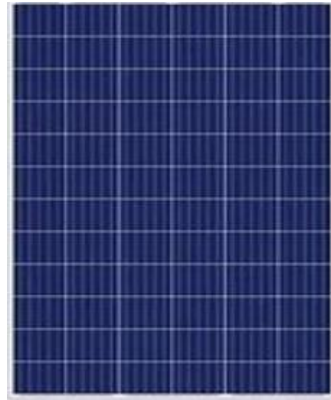
2.6.2 Poly-crystalline

Panel surya polycrystalline merupakan tipe kedua dari generasi pertama sel surya, yang dibuat dari potongan-potongan silikon yang dicetak menjadi satu blok. Karena terdiri dari banyak kristal silikon, proses pembuatannya lebih sederhana dan biayanya lebih murah dibandingkan dengan sel monokristalin. Namun, efisiensinya sedikit lebih rendah, yaitu sekitar 13–15%, sehingga ukuran sel dan modulnya biasanya lebih besar untuk menghasilkan daya yang sama. Detail spesifikasi dan bentuk panel ini dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan Gambar 2.7.

Tabel 2.3 Spesifikasi panel surya *poly-crystalline*

Parameter	Spesifikasi Umum
Jenis Panel	Polikristalin
Daya Maksimum (Pmax)	100 Watt peak (Wp)
Tegangan Maksimum (Vmp)	±17.5 – 18.0 Volt
Arus Maksimum (Imp)	±5.56 Ampere
Tegangan Rangkaian Terbuka (Voc)	±21.5 – 22.5 Volt
Arus Hubung Singkat (Isc)	±5.8 – 6.0 Ampere
Efisiensi Modul	±15 – 17%
Temperatur Operasi	-40°C hingga +85°C
Ukuran Panel	1000 × 670 × 35 mm
Berat	7 – 9 kg
Material Permukaan	Kaca tempered + bingkai aluminium

Sumber : Surya (2016)



Gambar 2. 7 Panel surya *poly-crystalline*
Sumber : Surya (2016)

Kekurangan Panel Surya Polycrystalline:

- a. Efisiensi panel ini hanya sekitar 13% hingga 16%, lebih rendah dibandingkan dengan panel monocrystalline, sehingga konversi cahaya matahari ke listrik tidak seoptimal jenis lainnya.
- b. Karena efisiensinya lebih rendah, dibutuhkan area pemasangan yang lebih luas untuk menghasilkan daya yang sama.
- c. Kinerja panel cenderung menurun saat cuaca sangat panas, dan penurunannya lebih signifikan dibandingkan dengan panel monocrystalline.

Kelebihan Panel Surya Polycrystalline:

- a. Harganya lebih terjangkau karena proses produksinya lebih sederhana, membuatnya menjadi pilihan ekonomis untuk sistem tenaga surya.
- b. Biaya awal investasi untuk membangun pembangkit listrik tenaga surya menggunakan panel ini lebih rendah dibandingkan dengan jenis monocrystalline.
- c. Tampilan panel lebih menarik dengan warna biru cerah, memberikan nilai estetika tambahan pada instalasi.

2.6.3 Panel surya *thin film*

Panel surya *thin film* merupakan jenis panel fotovoltaik yang dibuat dengan menyemprotkan atau menyisipkan lapisan tipis bahan semikonduktor di atas substrat seperti kaca, logam, atau plastik. Berbeda dengan panel monokristalin dan polikristalin yang berbasis silikon kristal, panel *thin film* biasanya terbuat dari

bahan seperti amorphous silicon (a-Si), cadmium telluride (CdTe), atau copper indium gallium selenide (CIGS).

Keunggulan utama panel thin film adalah fleksibilitas bentuknya, bobot yang ringan, serta kinerja yang lebih baik dalam kondisi cahaya rendah dan temperatur tinggi. Namun, panel ini memiliki efisiensi konversi energi yang lebih rendah dibandingkan jenis kristalin, sehingga memerlukan area permukaan yang lebih luas untuk menghasilkan daya yang sama.

Dalam konteks sistem pengering berbasis energi surya, panel thin film dapat menjadi alternatif ketika kondisi pemasangan tidak memungkinkan penggunaan panel konvensional atau ketika dibutuhkan panel yang ringan dan fleksibel. Spesifikasi dan gambar panel surya thin film dapat dilihat pada tabel 2.4 dan gambar 2.8.

Tabel 2. 4 Spesifikasi panel surya thin-film

Parameter	Spesifikasi Umum
Jenis Panel	Thin Film (a-Si, CdTe, atau CIGS)
Daya Maksimum (Pmax)	100 Watt peak (Wp)
Tegangan Maksimum (Vmp)	±18 – 22 Volt
Arus Maksimum (Imp)	±4.5 – 5.5 Ampere
Tegangan Rangkaian Terbuka (Voc)	±22 – 26 Volt
Arus Hubung Singkat (Isc)	±5.0 – 6.0 Ampere
Efisiensi Modul	±10 – 13%
Temperatur Operasi	-40°C hingga +85°C
Ukuran Panel	Lebih besar dari kristalin (±1200 x 800 mm)
Berat	Lebih ringan (tergantung bahan substrat)
Fleksibilitas	Bisa fleksibel (tergantung jenis substrat)

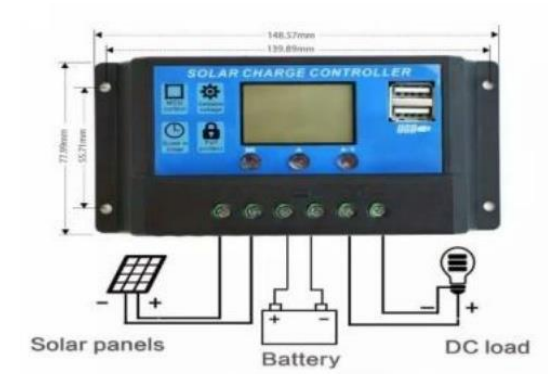
Sumber : Surya (2016)



Gambar 2. 8 Panel surya thin-film

2.7 Solar Charge Controller

Solar Charge Controller (SCC) adalah komponen penting dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang berfungsi untuk mengatur aliran arus searah (DC) dari panel surya ke baterai, serta dari baterai ke beban. Perangkat ini akan memutus aliran listrik ke baterai saat daya sudah penuh, sehingga dapat mencegah overcharging. Sebaliknya, ketika daya baterai hampir habis, SCC akan menghentikan aliran listrik ke beban, agar baterai tidak mengalami kerusakan karena kehabisan daya. Informasi lengkap mengenai spesifikasi dan tampilan perangkat ini dapat dilihat pada Tabel 2.5 dan Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Solar charge controller
Sumber : Revolva Elfridus (2022)

Tabel 2. 5 Spesifikasi SCC

Spesifikasi	Keterangan
Nominal System Voltage	12V/24V auto work
Rated Battery Current	30A
Rated Load Current	20A
Maximum Battery Voltage	32V
Max. Solar Input Voltage	150VDC
Max. PV Input Power	12V 390W
	24V 780W
Dimension (mm)	242 x 169 x 91
Weight (Kg)	2.0
Enclosure	IP30

Sumber: panelsuryajakarta(2016)

2.8 Baterai

Baterai merupakan perangkat yang digunakan untuk menyimpan suatu energi, yang dalam sistem ini energi berasal dari modul surya. Baterai menjadi komponen penting PLTS dengan sistem off-grid atau kombinasi. Baterai dan berbagai parameternya seperti perawatan, masa pakai daya, dan efisiensi berpengaruh kepada kinerja PLTS. Spesifikasi dan gambar dapat dilihat pada tabel 2.6 dan gambar 2.11.



Gambar 2. 10 Baterai panel surya
Sumber : Sanspo (2018)

Tabel 2. 6 Spesifikasi baterai

Spesifikasi		Keterangan
Nominal Voltage		12V
Rated Capacity (20HR)		100Ah
Dimensions	Length	328 mm
	Width	171 mm
	Height	214 mm
	Total height	220 mm
Approx. Mass		20.9 kg

Sumber: panelsuryajakarta (2016)

2.9 Inverter

Inverter adalah perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya atau baterai menjadi arus bolak-balik (AC), sehingga energi listrik dapat digunakan oleh peralatan listrik rumah tangga atau komponen lain yang membutuhkan sumber AC, seperti pompa, elemen pemanas AC, atau alat elektronik tertentu. Dalam penggunaan inverter dalam panel surya berfungsi untuk mengubah arus dari AC menjadi DC, penggunaan inverter opsional jika menggunakan arus AC maka tidak perlu lagi menambahkan inverter. Spesifikasi dan gambar dapat dilihat pada tabel 2.7 dan gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Inverter
Sumber: Tonny S. (2016)

Tabel 2. 7 Spesifikasi inverter

Spesifikasi	Keterangan
Jenis Inverter	Pure Sine Wave / Modified Sine Wave
Daya Output	300 Watt
Tegangan Input (DC)	12 V DC
Tegangan Output (AC)	220 V AC / 50 Hz
Efisiensi Konversi	$\geq 85\%$
Tipe Pendinginan	Kipas otomatis
Proteksi	Overload, Short Circuit, Overvoltage, Overheat
Konektor Output	Soket AC
Dimensi	18 x 10 x 6 cm
Berat	± 1 kg
Material Casing	Aluminium anti panas

Sumber: Tonny S. (2016)

2.10 Sistem Panel Surya

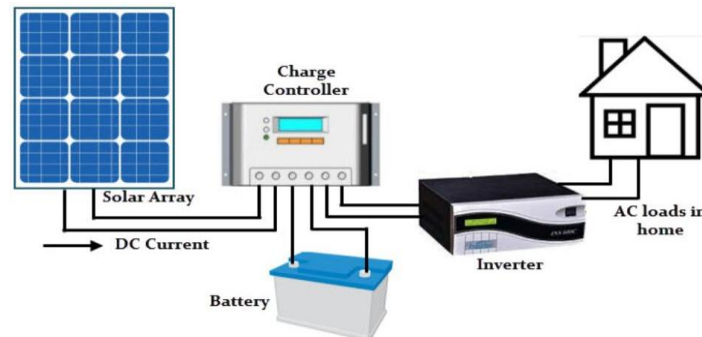
Sistem panel surya merupakan sistem pembangkit listrik yang mampu mengkonversikan sinar matahari kemudian mengubahnya menjadi arus listrik. Dari sistem ini dapat dibagi menjadi 3 yaitu :

2.10.1 Sistem off grid

Sistem *off-grid* adalah sistem panel surya yang tidak terhubung ke jaringan listrik umum (*grid*). Sistem ini biasanya digunakan di daerah terpencil atau lokasi yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik. Komponen utama sistem *off-grid* meliputi panel surya, baterai, pengontrol daya, dan inverter.

Keuntungan utama dari sistem ini adalah kemandirian energi karena tidak bergantung pada jaringan listrik umum. Namun, tantangannya terletak pada kebutuhan akan penyimpanan energi yang memadai, terutama untuk penggunaan

saat malam hari atau cuaca mendung (Gupta, 2021). Gambar dapat dilihat pada 2.12.

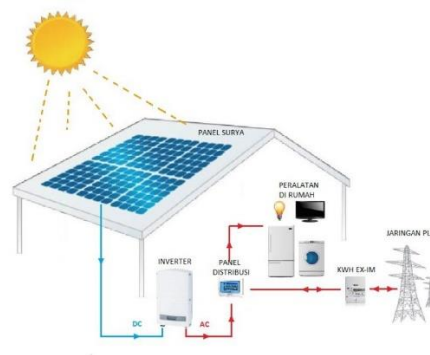


Gambar 2. 12 Sistem *off-grid* panel surya
Sumber : PT Surya Utama Putra (2016)

2.10.2 Sistem *on-grid*

Sistem *on-grid* adalah sistem panel surya yang terhubung langsung ke jaringan listrik umum. Energi yang dihasilkan oleh panel surya akan digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik pengguna, dan kelebihan energi akan dialirkan ke jaringan listrik umum melalui mekanisme net metering.

Keunggulan sistem ini adalah biaya awal yang lebih rendah karena tidak memerlukan baterai untuk penyimpanan energi. Namun, ketergantungan pada jaringan listrik umum menjadi kekurangan utama, terutama di daerah dengan jaringan listrik yang tidak stabil. Sistem *on-grid* lebih cocok untuk daerah perkotaan dengan infrastruktur jaringan listrik yang baik. Gambar dapat dilihat pada 2.13.

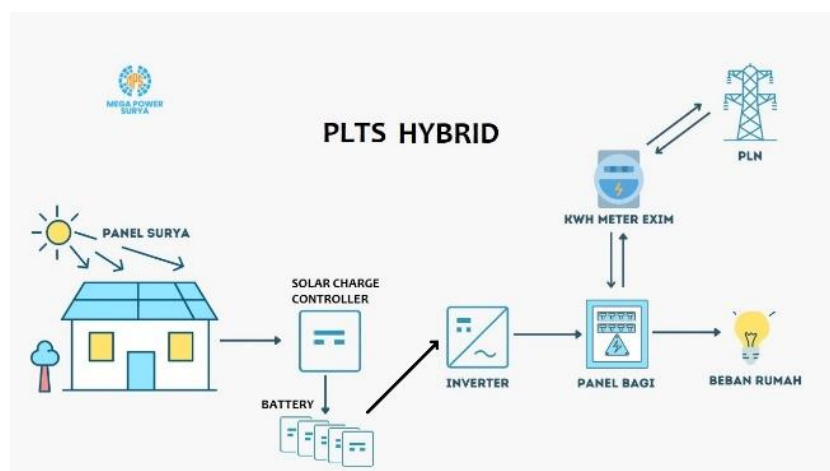


Gambar 2. 13 Sistem *on-grid* panel surya
Sumber : Indoniaga (2022)

2.10.3 Sistem *hybird*

Sistem hybrid merupakan sistem pembangkit listrik tenaga surya yang mengombinasikan karakteristik dari sistem off-grid (mandiri) dan on-grid (terhubung ke jaringan PLN). Pada sistem ini, energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya tidak hanya digunakan secara langsung untuk memenuhi kebutuhan beban, tetapi juga disimpan dalam baterai untuk digunakan pada saat cuaca mendung atau malam hari ketika tidak ada cahaya matahari. Selain itu, sistem hybrid juga tetap terhubung dengan jaringan listrik umum sebagai cadangan sumber energi tambahan. Dengan demikian, apabila energi dari panel surya dan baterai tidak mencukupi, sistem akan secara otomatis mengambil suplai listrik dari jaringan PLN. Keunggulan utama dari sistem hybrid adalah fleksibilitasnya yang tinggi, karena dapat beroperasi secara mandiri tanpa bergantung pada jaringan listrik, namun tetap memiliki cadangan dari PLN untuk menjaga kontinuitas pasokan listrik. Hal ini menjadikan sistem hybrid sangat ideal untuk digunakan pada wilayah yang memiliki pasokan listrik tidak stabil, namun tetap menginginkan efisiensi energi terbarukan.

Penelitian oleh Chen et al. (2023) menunjukkan bahwa sistem *hybird* adalah solusi ideal untuk lokasi dengan jaringan listrik yang tidak stabil. Selain itu, penggunaan teknologi manajemen energi pintar dapat meningkatkan efisiensi sistem *hybird* secara keseluruhan (Hassan et al., 2020). Gambar dapat dilihat pada 2.14.



Gambar 2. 14 Sistem *hybird* panel surya
Sumber : megapowersurya (2021)

2.11 Pengertian Psikrometrik

Psikrometrik merupakan ilmu yang membahas tentang sifat-sifat campuran udara dengan uap air, dan ini mempunyai arti yang sangat penting dalam pengkondisian udara karena udara pada atmosfer merupakan percampuran antara udara dan uap air, jadi tidak benar-benar kering. Kandungan uap air dalam udara pada kondisi tertentu harus dibuang atau bahkan ditambahkan. (Kurniawan dan Setyawan, 2015). Terdapat pada gambar (2.15).

2.11.1 Sifat udara pada psikrometrik

Beberapa sifat udara dalam psikrometrik adalah sebagai berikut :

1. *Dry Bulb Temperature* (°C)

Temperatur bola kering atau *dry bulb temperature* (Tdb) merupakan temperatur campuran udara kering dan uap air yang diukur melalui skala termometer raksa secara langsung.

2. *Wet-bulb temperature*

Temperatur bola basah. Temperatur udara yang diukur dengan menggunakan sling psychrometer yang ujungnya dibasahi dengan cara diayunkan.

3. Kelembaban relatif

Kelembaban relatif atau *relative humidity* (RH) merupakan salah satu sifat termodinamika udara yang menyatakan perbandingan tekanan uap parsial (Pv) terhadap tekanan uap jenuh (Pvs), pada temperatur konstan, yang hasilnya dinyatakan dalam satuan %.

Kelembaban relatif dapat didekati dengan persamaan :

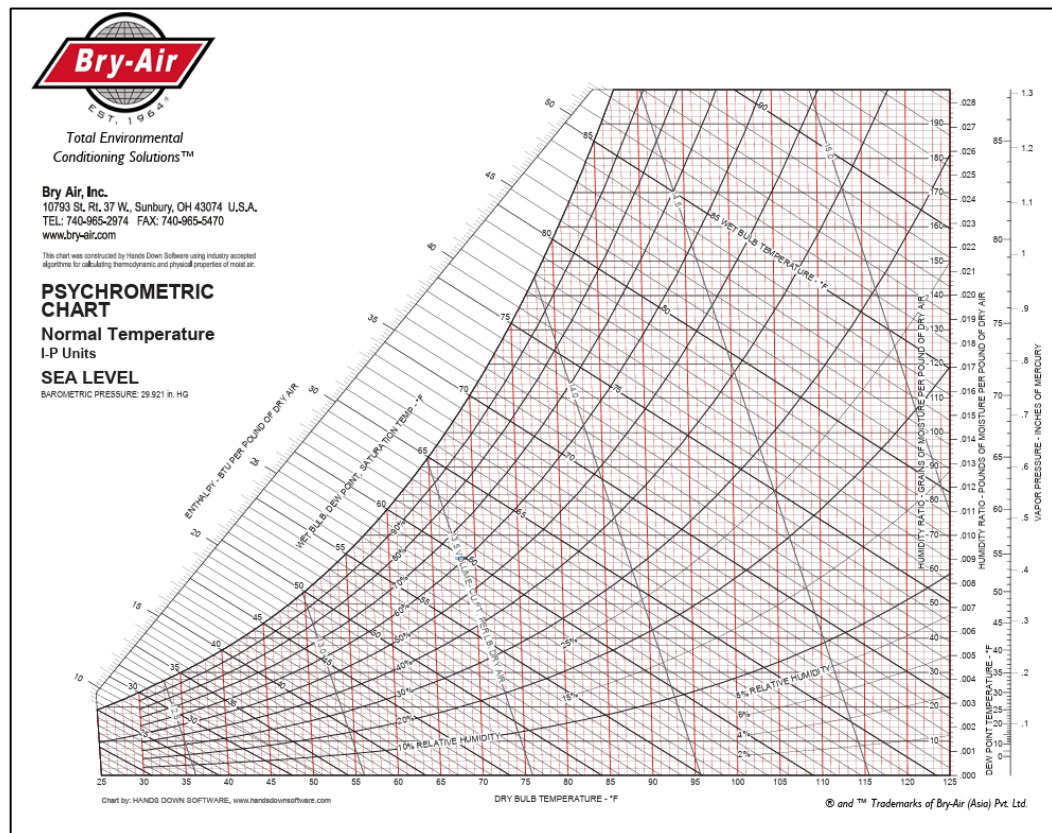
$$RH = P_v / P_{vs} \quad (2.1)$$

Dimana :

RH = Kelembaban relatif (%)

Pv = Tekanan uap parsial (kPa)

Pvs = Tekanan uap jenuh (kPa)



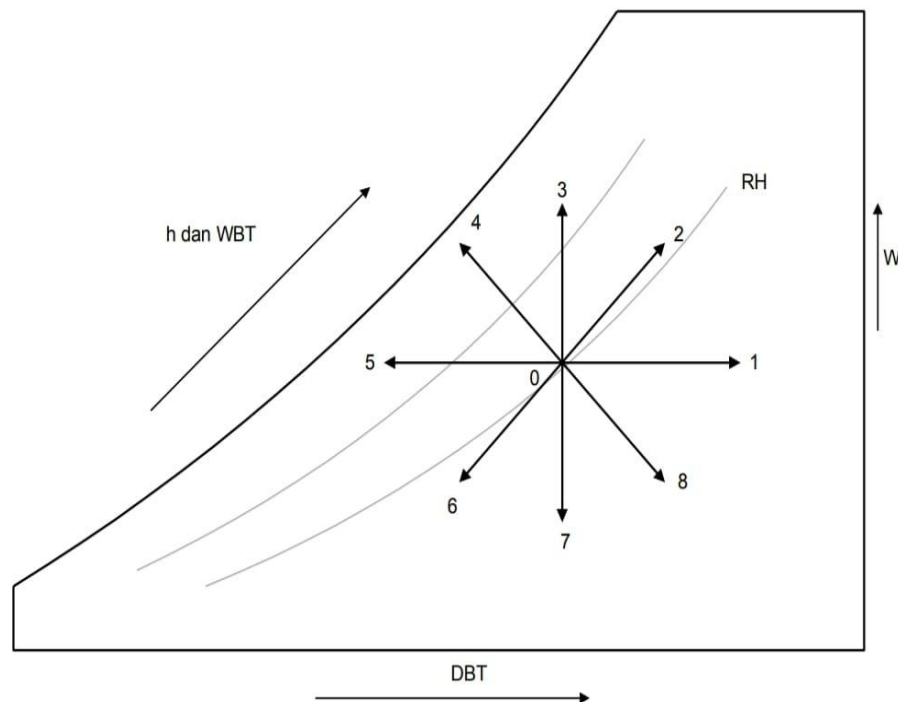
Gambar 2.15 Diagram psikrometrik proses penurunan kelembaban
Sumber : Kurniawan (2016)

2.11.2 Proses udara dalam psikrometrik

Diagram psikrometrik merupakan representasi grafis yang digunakan untuk menggambarkan dan menganalisis berbagai sifat termodinamika udara lembab, seperti temperatur udara kering (dry bulb temperature), kelembapan relatif (relative humidity), kelembapan absolut (humidity ratio), entalpi, dan volume spesifik. Diagram ini sangat berguna dalam proses-proses yang melibatkan pertukaran panas dan massa antara udara dan air, seperti pemanasan, pendinginan, pelembaban, dan pengeringan. Dalam konteks sistem pengeringan biji kopi, penggunaan diagram psikrometrik menjadi alat bantu penting untuk memahami perubahan kondisi udara yang terjadi selama proses berlangsung. Dengan menganalisis pergerakan titik kondisi udara pada diagram tersebut, kita dapat mengevaluasi efisiensi proses pengeringan, menentukan laju penguapan air, serta menilai kinerja keseluruhan dari alat pengering. Pemahaman yang baik terhadap perilaku udara lembab melalui diagram psikrometrik memungkinkan perancang atau peneliti untuk

mengoptimalkan desain sistem pengering agar lebih efisien dan hemat energi, serta menghasilkan mutu hasil pengeringan yang lebih baik. Terdapat pada gambar 2.16.

Proses udara yang umum terjadi dalam *psycrometric* dapat dianalisis melalui perubahan titik pada diagram psikrometrik, meliputi sebagai berikut (Setyawan, 2021) :



Gambar 2.16 Proses-proses psikometrik
Sumber : Wirajati (2021)

Adapun keterangan dari gambar (2.16) yaitu :

0-1 : Proses pemanasan sensible (*heating*)

Proses ini terjadi ketika udara dipanaskan tanpa terjadi perubahan kandungan uap airnya. Dengan kata lain, kelembaban absolut tetap, namun temperatur udara meningkat dan kelembaban relatif menurun. Proses ini ditunjukkan oleh pergerakan garis horizontal ke kanan pada diagram psikrometrik.

0-2 : Proses pemanasan dan pelembaban (*heating and humidification*)

Merupakan proses di mana udara mengalami kenaikan temperatur sekaligus penambahan uap air. Hal ini menyebabkan kenaikan temperatur dan kelembaban absolut secara bersamaan. Proses ini umumnya terjadi dalam ruang tertutup dengan penambahan uap dan pemanas aktif.

0-3 : Proses pelembaban (*humidification*)

Pada proses ini, uap air ditambahkan ke dalam udara tanpa perubahan temperatur yang signifikan. Kelembaban absolut dan kelembaban relatif meningkat, dan dalam diagram psikrometrik digambarkan sebagai pergerakan vertikal ke atas.

0-4 : Proses pendinginan dan pelembaban (*cooling dan humidification*)

Proses ini terjadi ketika udara mengalami penurunan temperatur bersamaan dengan penambahan uap air. Fenomena ini bisa terjadi pada sistem pendingin evaporatif, di mana udara didinginkan melalui penguapan air.

0-5 : Proses pendinginan sensible (*cooling*)

Dalam proses ini, udara mengalami penurunan temperatur tanpa perubahan kandungan uap air. Kelembaban relatif meningkat seiring turunnya temperatur, dan pada diagram psikrometrik digambarkan sebagai pergerakan horizontal ke kiri.

0-6 : Proses pendinginan dan penurunan kelembapan (*cooling and dehumidification*)

Proses ini terjadi ketika udara didinginkan hingga melampaui titik embunnya, sehingga terjadi kondensasi uap air. Temperatur dan kelembaban absolut udara sama-sama menurun. Proses ini umum pada sistem AC dengan coil dingin dan digambarkan sebagai garis miring ke kiri bawah.

0-7 : Proses penurunan kelembapan (*dehumidification*)

Merupakan proses pengurangan kandungan uap air dalam udara tanpa adanya perubahan temperatur yang signifikan. Dalam praktiknya, dehumidifikasi biasanya disertai proses pendinginan atau pemanasan, tergantung aplikasinya.

0-8 : Proses pemanasan dan penurunan kelembapan (*heating and dehumidification*)

Proses ini terjadi ketika udara dipanaskan sambil dikurangi kadar uap airnya. Umumnya digunakan dalam sistem pengeringan, di mana udara dipanaskan agar dapat menyerap uap air dari produk, sehingga kelembaban absolut dan relatif udara berkurang.

2.12 Menghitung Kinerja Mesin Pengering

Untuk mengevaluasi kinerja sistem pengering berbasis termoelektrik, diperlukan analisis terhadap beberapa parameter utama yang merepresentasikan efisiensi penggunaan energi dan efektivitas proses pengeringan. Tiga parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah efisiensi termal, efisiensi pengeringan, dan koefisien performa (*Coefficient of Performance/COP*). Perhitungan ketiga parameter tersebut dilakukan untuk mengetahui seberapa efektif dan efisien mesin pengering bekerja dalam proses penghilangan kadar air dari biji kopi, serta sebagai dasar untuk mengoptimalkan desain dan pengoperasian alat.

2.12.1 Efisiensi Termal (η_t)

Efisiensi ini menunjukkan seberapa besar energi listrik yang dikonsumsi berhasil dikonversikan menjadi energi panas yang berguna di dalam ruang pengering yang dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut 2.1 (Riffat & Ma, 2004) :

$$\eta_t = \frac{Q_{trans}}{E_{in}} \times 100 \% \quad (2.1)$$

Keterangan:

η_t = Efisiensi termal (%)

Q_{trans} = Energi panas yang berhasil di transfer ke udara (kJ)

E_{in} = Energi listrik yang digunakan (kJ)

Q_{trans} merupakan jumlah energi panas yang berhasil ditransfer ke udara di dalam ruang pengering sebagai media pemanas. Besarnya Q_{trans} menunjukkan seberapa efektif sistem pemanas dalam meningkatkan temperatur udara pengering yang akan berinteraksi langsung dengan biji kopi selama proses pengeringan. Energi ini diperoleh dari hasil perpindahan panas akibat perbedaan temperatur yang terjadi, dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut 2.2 (Riffat & Ma, 2004) :

$$Q_{trans} = \dot{m}_{udara} \times c_p \times \Delta t \times t \quad (2.2)$$

keterangan :

Q_{trans} = Energi panas yang berhasil di transfer ke udara (kJ/s)

$\dot{m}_{udara}$ = Laju aliran udara (kg/s)

$$c_p = \text{Kapasitas panas spesifik udara} \quad (\text{kJ/kg} \cdot \text{K})$$

$$\Delta T = T_{\text{keluar}} - T_{\text{masuk}} \quad (\text{K})$$

$$t = \text{Waktu pengeringan} \quad (\text{s})$$

Laju aliran udara ($\dot{m}_{\text{udara}}$) digunakan sebagai tolak ukur dalam mengetahui kecepatan udara yang dialirkan oleh fan, adapun persamaan yang digunakan untuk laju aliran massa sebagai berikut 2.3 (Anderias, 2022):

$$\dot{m}_{\text{udara}} = \rho \times V \times A \quad (2.3)$$

keterangan :

$$\dot{m}_{\text{udara}} = \text{Laju aliran udara} \quad (\text{kg/s})$$

$$\rho = \text{Densitas} \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$v = \text{Kecepatan udara} \quad (\text{m/s})$$

$$A = \text{Luas permukaan} \quad (\text{m}^2)$$

E_{in} merupakan total energi listrik yang digunakan oleh sistem pengering termoelektrik selama proses pengeringan berlangsung. Besarnya energi ini menjadi acuan utama dalam menilai efisiensi sistem, karena seluruh proses perpindahan panas dan penguapan air pada bahan yang dikeringkan bersumber dari konsumsi energi listrik. Nilai E_{in} dihitung berdasarkan hasil perkalian antara tegangan, arus listrik, dan waktu operasi, sebagaimana dipersamakan sebagai berikut 2.4 (Anderias, 2022):

$$E_{in} = V \times I \times t \times \cos \varphi \quad (2.4)$$

keterangan :

$$E_{in} = \text{Total energi listrik} \quad (\text{J})$$

$$V = \text{Voltase} \quad (\text{V})$$

$$I = \text{Ampere} \quad (\text{A})$$

$$t = \text{Waktu pengeringan} \quad (\text{s})$$

$$\cos \varphi = \text{Faktor daya}$$

2.12.2 Efisiensi Pengeringan (η_p)

Efisiensi pengeringan merupakan ukuran seberapa efektif energi listrik yang digunakan dalam sistem dapat dimanfaatkan secara langsung untuk proses penguapan air dari bahan yang dikeringkan. Efisiensi ini dihitung dengan

membandingkan energi yang dibutuhkan untuk menguapkan kadar air dari bahan terhadap total energi listrik yang dikonsumsi sistem. Nilai efisiensi pengeringan η_p dipersamakan sebagai berikut 2.5.

$$\eta_p = \frac{Q_{uap}}{E_{in}} \times 100 \% \quad (2.5)$$

keterangan:

Q_{uap} = Energi yang dibutuhkan untuk menguapkan air (kJ)

L = Panas laten penguapan air (kJ/kg)

E_{in} = Energi listrik yang digunakan (kJ)

Energi penguapan air m_{evap} dihitung berdasarkan jumlah air yang diuapkan dan panas laten penguapan air dengan persamaan sebagai berikut 2.6 (Anderias, 2022):

$$Q_{uap} = m_r \times \Delta h \quad (2.6)$$

keterangan :

Q_{uap} = Energi yang dibutuhkan untuk menguapkan air (kJ)

m_r = Massa air yang diuapkan (kg)

Δh = Perubahan entalpi (entalpi akhir - entalpi awal) (kJ / kg)

2.12.3 Coefficient of Performance

Kinerja Pengering (COP) - *Coefficient of Performance* merupakan salah satu parameter penting dalam mengevaluasi kinerja sistem pengering berbasis termoelektrik. COP menggambarkan seberapa efisien sistem dalam memanfaatkan energi listrik untuk menghasilkan energi panas yang digunakan dalam proses pengeringan. Dalam sistem pengering termoelektrik, COP didefinisikan sebagai perbandingan antara energi panas yang berhasil ditransfer ke ruang pengering (Q_{out}) dengan energi listrik yang dikonsumsi oleh alat (E_{in}). Nilai COP yang tinggi menunjukkan bahwa sistem bekerja secara efisien, yaitu mampu menghasilkan panas yang besar dengan konsumsi daya listrik yang relatif rendah.

Coefficient of Performance mengukur rasio antara panas yang disuplai untuk pengeringan dan energi listrik yang dikonsumsi, mirip seperti efisiensi tapi tanpa dikali 100% 2.7.

$$COP = \frac{Q_{trans}}{E_{in}} \quad (2.7)$$

keterangan :

COP = Coefficient of Performance

Q_{trans} = Energi panas ditransfer ke udara (J)

E_{in} = Total energi listrik (J)

2.12.4 Menghitung Laju Aliran Massa Pengeringan

Menghitung laju aliran massa pengeringan merupakan tahapan untuk mengetahui jumlah uap air yang dikeluarkan bahan, dengan menganalisis berat basah bahan, berat kering bahan dan waktu selama proses dilakukan. (M. Yahya, 2014). Adapun persamaan untuk menghitung laju aliran massa pengeringan sebagai berikut 2.8.

$$m_a = \frac{m_o - m_1}{t} \quad (2.8)$$

keterangan :

m_a = Jumlah uap air yang dikeluarkan bji kopi (kg/s)

m_o = Massa bahan saat basah (kg)

m_1 = Massa bahan saat kering (kg)

t = Waktu pengeringan (s)

2.12.5 Specific moisture extraction rate (SMER)

Nilai laju ekstraksi uap spesifik atau *specific moisture extraction rate* (SMER) adalah parameter yang digunakan untuk mengukur efisiensi energi pada proses pengeringan. SMER menyatakan jumlah massa air (dalam kilogram) yang berhasil diuapkan dari bahan per satuan energi listrik (dalam kilowatt-jam) yang digunakan oleh sistem pengering. Nilai SMER dinyatakan dalam satuan kg/kWh. Semakin besar nilai SMER, maka semakin efisien sistem pengering dalam menggunakan energi listrik untuk menguapkan air dari bahan yang dikeringkan. Sebaliknya, nilai SMER yang rendah menunjukkan bahwa sistem membutuhkan energi lebih besar untuk menguapkan jumlah air yang sama, sehingga efisiensinya lebih rendah. Perhitungan SMER menggunakan persamaan sebagai berikut 2.9 (Mahlia, Hor and Masjuki, 2010)

The specific moisture removal rate (SMER)

$$\text{SMER} = \frac{\text{Amount of water removal evaporated}}{\text{Energy input to the dryer}} (\text{kg/kWh}) \quad (2.9)$$

2.13 Menghitung Kinerja Dari Panel Surya

Untuk menghitung kinerja dari panel surya didapat dengan cara menghitung efesiensi dari panel surya. Untuk menghitung efesiensi panel surya didapat menggunakan persamaan berikut :

Daya listrik adalah besaran listrik yang menyatakan besarnya energi yang digunakan untuk mengaktifkan komponen atau peralatan listrik / elektronik dalam waktu tertentu. Produksi daya input adalah hasil dari konversi energi matahari menjadi energi listrik oleh panel surya. Daya input PLTS dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut 2.10 (Suwarti dan Prasetyo 2018) :

$$P_{in} = i_{rad} \times A \quad (2.10)$$

keterangan:

P_{in} = Daya yang masuk solar panel (W)

i_{rad} = Intensitas cahaya Matahari (W/m²)

A = Luas Penampang Solar Panel (m²)

Produksi daya output PLTS mengacu pada jumlah daya listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS dari panel surya setelah melalui proses konversi energi matahari menjadi energi listrik. Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut 2.11 (Febriana. A, 2024) :

$$P_{out} = V_{PV} \times I_{PV} \quad (2.11)$$

keterangan

P_{out} = Daya yang keluar solar panel (W)

V_{PV} = Tegangan solar panel (V)

I_{PV} = Arus solar panel (A)

Efisiensi PLTS diukur dalam persentase dan dinyatakan sebagai perbandingan antara daya listrik output dengan daya matahari input yang diterima oleh panel surya. Persamaan dasar untuk menghitung efisiensi PLTS adalah sebagai berikut 2.12 (Febriana. A, 2024) :

$$\eta = \left(\frac{P_{in}}{P_{out}} \right) \times 100\% \quad (2.12)$$

keterangan :

η = Efisiensi (%)

P_{in} = Produksi daya *output* PLTS (W)

P_{out} = Beban yang akan digunakan (W)

2.14 Komponen Alat Pengering

Alat pengering yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa komponen utama yang dirancang untuk bekerja secara terpadu dalam mendukung proses pengeringan biji kopi. Setiap komponen memiliki peran dan fungsi tertentu, mulai dari komponen pemanas, sistem sirkulasi udara, sensor temperatur dan kelembapan, hingga sumber daya listrik. Pemilihan dan perancangan komponen-komponen ini disesuaikan agar sistem dapat beroperasi secara efisien dan sesuai dengan tujuan penelitian. Adapun komponen yang saling terkait tersebut secara garis besar, adapun komponen yang digunakan antara lain :

1. Termoelektrik

Pada perangkat ini digunakan modul termoelektrik tipe Peltier TEC-12706. Modul termoelektrik, yang juga dikenal sebagai pendingin Peltier atau solid-state heat pump, bekerja berdasarkan prinsip efek Peltier. Ketika arus listrik dialirkan melalui modul tersebut, panas akan berpindah dari satu sisi ke sisi lainnya. Proses ini mampu menghasilkan selisih suhu sekitar 40°C hingga 70°C, terutama pada modul berkualitas tinggi. Teknologi ini umumnya dimanfaatkan untuk mentransfer panas dari satu area menuju area lain. Ilustrasi dan data detailnya dapat dilihat pada gambar 2.17 dan tabel 2.8.



Gambar 2. 17 Termoelektrik TEC1-12706

Sumber : Sunrom (2023)

Tabel 2. 8 Spesifikasi termoelektrik TEC-12706

Model	TEC-12706
Dimensi	40 x 40 x 3.7 mm
ΔT_{max}	>60 °C
Internal resistance	2.0-2.2 Ω
Voltage	DC 12 V
Single weight	23.g
Daya input	6 A
Working current	4.5 – 5 A

Sumber: Sunrom (2023)

2. Fan

Fan DC berfungsi untuk menjaga temperatur udara agar tidak melewati batas temperatur yang ditetapkan. Fan berfungsi membantu proses pendistribusian udara pada heatsink baik itu sisi panas ataupun sisi dingin sehingga temperatur heatsink dapat terkondisikan. Terdapat pada gambar 2.18 dan tabel 2.9.



Gambar 2.18 Fan dc 12 v 80 mm
Sumber : Aliexpress (2024)

Tabel 2. 9 Spesisikasi fan

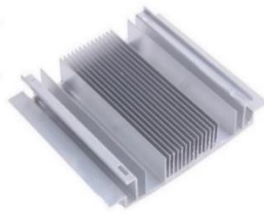
Jenis	Fan DC
Ukuran	8 x 8 x 2,5 cm
Tegangan	12 V DC
Arus	0,25 A
Panjang kabel	+/- 29 cm

Sumber : Aliexpress (2024)

3. Heat sink

Heatsink berfungsi sebagai alat memperluas daerah perpindahan panas dari sebuah penghasil panas sehingga proses pembuangan panas dapat cepat terjadi. Guna memperluas area permukaan perpindahan panas, salah satu tekniknya adalah dengan membuat sirip-sirip yang ada disamping atau atas dari heatsink, sehingga dengan ukuran luas penampang yang

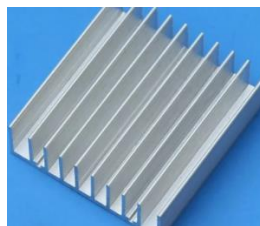
sama akan menghasilkan luas perpindahan panas yang besar. Tebal tipisnya sirip juga berpengaruh dari proses perpindahan panas, semakin tebal akan semakin sukar/lama panas menjalar keseluruh bagian *heatsink*. Ukuran spesifikasi *heatsink* yang digunakan adalah 10,5 cm x 12 cm dengan lebar 2,5 cm dan jarak setiap siripnya yaitu 2 mm. Terdapat pada gambar 2.19.



Gambar 2. 19 Heatsink
Sumber : Aliexpress (2024)

4. Cold sink

Cold sink dapat kita sebut sebagai material yang dapat menyerap dan mendisipasi dingin dari suatu tempat yang bersentuhan dengan sumber energi dingin dan membuangnya. Cara kerja dari *cold sink* sama dengan *heat sink* namun *cold sink* menyerap sisi dingin dari termoelektrik dan memperluas area perpindahan energi dingin dari sebuah penghasil energi dingin sehingga proses pembuangan energi dingin dapat cepat terjadi. Untuk ukuran dari cold sink yang digunakan adalah 4 cm x 6 cm dengan ketebalan 2.8 cm. Terdapat pada gambar 2.20.



Gambar 2. 20 Coldsink
Sumber : Aliexpress (2024)

5. Sensor DHT 22

Sensor DHT 22 merupakan sensor digital yang digunakan untuk mengukur temperatur dan kelembapan relatif udara di dalam ruang pengering. Sensor ini memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi, dengan kemampuan

mengukur temperatur dalam rentang -40°C hingga 80°C dan kelembapan antara 0% hingga 100% RH. Pada alat pengering ini, DHT22 berfungsi untuk memantau kondisi lingkungan secara real-time, sehingga data temperatur dan kelembapan dapat digunakan sebagai dasar dalam menganalisis kinerja proses pengeringan serta efisiensi alat secara keseluruhan. Terdapat pada gambar 2.21 dan tabel 2.10.



Gambar 2. 21 Sensor DHT-22
Sumber : Wiradipa (2023)

Tabel 2. 10 Spesifikasi sensor DHT 22

Parameter	Spesifikasi
Tipe Sensor	DHT22 (AM2302)
Tegangan Operasi	3.3 – 6 V DC
Arus Maksimum	2.5 mA
Rentang Pengukuran Temperatur	-40°C hingga $+80^{\circ}\text{C}$
Akurasi Temperatur	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
Rentang Pengukuran Kelembapan	0% hingga 100% RH
Akurasi Kelembapan	$\pm 2-5\%$ RH
Resolusi Data	Temperatur: 0.1°C , Kelembapan: 0.1% RH
Frekuensi Sampling	0.5 Hz (1 data/2 detik)
Antarmuka Komunikasi	Digital (single-wire)
Dimensi Fisik	$28.2\text{ mm} \times 13.8\text{ mm} \times 10.2\text{ mm}$

Sumber : Aliexpress (2024)

6. Sensor DS18B20

Sensor DS18B20 adalah sensor temperatur digital yang banyak digunakan dalam aplikasi pemantauan temperatur karena akurasinya yang tinggi, bentuknya yang kecil, serta kemampuannya untuk berkomunikasi melalui satu jalur data (one-wire interface). Dalam penelitian ini, DS18B20 digunakan untuk mengukur temperatur pada titik-titik tertentu dalam sistem pengering, seperti temperatur sisi panas dan sisi dingin pada

termoelektrik yang penting untuk menganalisis distribusi panas dan kinerja sistem. DS18B20 memiliki keunggulan dalam hal kemampuan multi-drop, yaitu beberapa sensor dapat dihubungkan pada satu pin data mikroprosesor dengan identitas unik masing-masing, serta mampu memberikan hasil pengukuran temperatur dengan resolusi hingga 12-bit. Sensor ini cocok digunakan di lingkungan yang memerlukan ketelitian temperatur, termasuk sistem termoelektrik. Terdapat pada gambar 2.22 dan tabel 2.11.



Gambar 2. 22 Sensor DS18B20

Sumber : Oktavia, Anadita Rizti (2022)

Tabel 2. 11 Spesifikasi sensor DS18B20

Parameter	Spesifikasi
Tipe Sensor	DS18B20
Tegangan Operasi	3.0 – 5.5 V DC
Rentang Pengukuran Temperatur	-55°C hingga +125°C
Akurasi Temperatur	±0.5°C (pada -10°C hingga +85°C)
Resolusi Data	9 hingga 12-bit (default: 12-bit)
Protokol Komunikasi	Digital (One-Wire Interface)
Arus Saat Konversi	Maksimal 1.5 mA
Waktu Konversi Temperatur	93.75 ms hingga 750 ms
Panjang Kabel Maksimum	Hingga 100 m (dengan resistor pull-up yang sesuai)
Identitas Unik	64-bit ID setiap sensor
Tipe Keluaran	Digital
Dimensi Fisik (TO-92)	(TO-92)

Sumber : Oktavia, Anadita Rizti (2022)

BAB III

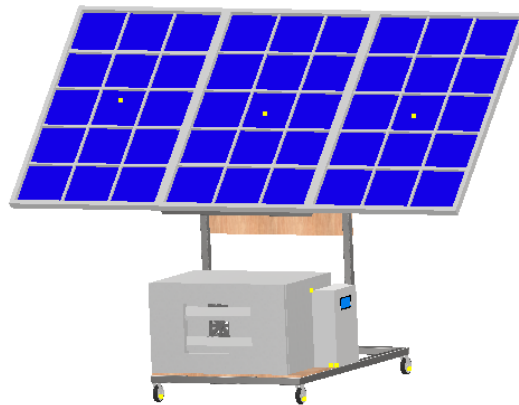
METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

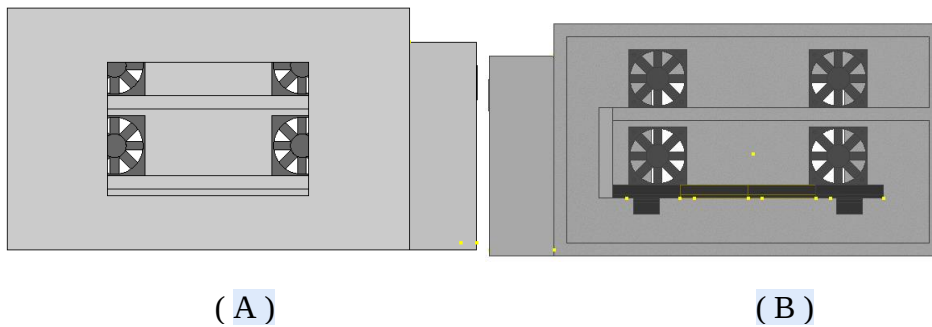
Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis kinerja dari alat mesin pengering biji dengan kapasitas 1000 gram yang memanfaatkan termoelektrik dengan jenis modul peltier TEC-12706 sebagai pemanas untuk proses pengeringan biji kopi dengan panel surya jenis *polly crystalline, monocrystalline dan thin film* dengan kapasitas total 280 watt sebagai sumber energi. Diharapkan hasil pengeringan biji kopi dengan metode ini lebih baik daripada pengeringan menggunakan metode yang lain. Hasil yang diperoleh nantinya pengering menggunakan termoelektrik bisa dijadikan alternatif untuk industri skala kecil. Desain alat dapat dilihat pada gambar 3.1

Dimensi Alat :

Panjang box pengering	: 640 mm
Lebar box pengering	: 540 mm
Tinggi box pengering	: 410 mm
Jumlah rak	: 1 buah
Jumlah temoelektrik	: 4 buah
Jumlah panel surya	: 3 buah (dimensi 2278 x 1134 mm)
Kapasitas baterai	: 100 A
Kapasitas pengeringan	: 1 kg

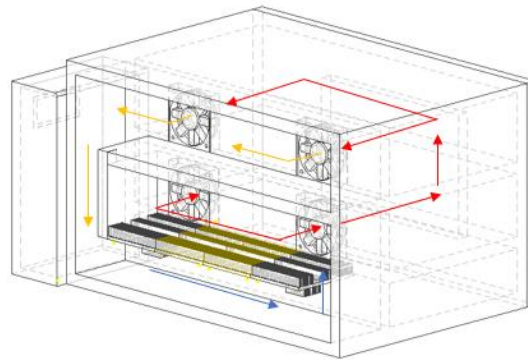


Gambar 3. 1 Alat pengering biji kopi menggunakan termoelektrik



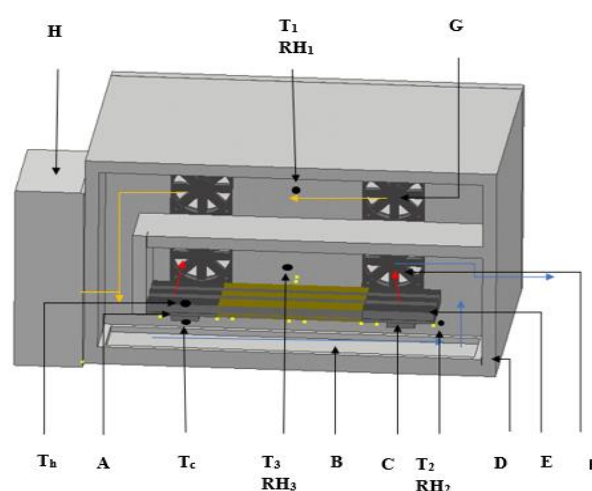
Gambar 3. 2 (A) Tampak depan (B) Tampak belakang

Mekanisme sirkulasi udara pada ruang pengering berbasis termoelektrik yang digunakan untuk proses pengeringan biji kopi yaitu udara panas dihasilkan oleh sisi panas dari modul Peltier dan dibantu oleh kipas untuk mengalir masuk ke dalam ruang pengering (ditunjukkan dengan panah merah). Udara panas ini berfungsi untuk meningkatkan temperatur di dalam ruang pengering dan mempercepat proses penguapan air dari biji kopi. Setelah itu, udara yang telah mengandung uap air akan keluar dari ruang pengering melalui jalur aliran udara panas keluar (ditandai dengan panah kuning). Sebagian dari udara yang keluar tersebut diarahkan melewati sisi dingin dari modul Peltier, sehingga terjadi proses kondensasi di mana uap air di udara berubah menjadi air cair (ditunjukkan dengan panah biru). Udara yang telah didinginkan kemudian disirkulasikan kembali ke sisi panas untuk dihangatkan ulang, menciptakan siklus sirkulasi udara tertutup. Dapat dilihat pada gambar 3.3



Gambar 3.3 Aliran udara dalam kotak pengering

Penempatan sensor pada sistem pengering ini dilakukan pada beberapa titik pengukuran untuk memperoleh data temperatur dan kelembapan secara akurat. Sensor DHT22 digunakan untuk mengukur temperatur dan kelembapan udara pada tiga posisi, yaitu T_1 dan RH_1 yang menggambarkan udara keluar dari ruang pengering, T_2 dan RH_2 yang menggambarkan udara setelah melalui proses kondensasi, serta T_3 dan RH_3 yang menggambarkan udara yang masuk ke dalam ruang pengering. Sementara itu, sensor DS18B20 digunakan untuk mengukur temperatur pada tiga titik berbeda, yaitu pada sisi panas dari heatsink, sisi dingin dari coolsink, serta temperatur ruangan dan komponen yang lainnya dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Skematik sistem dan penempatan alat ukur

Keterangan :

A : Termoelektrik

B : Talang air

C : *Coldsink* sisi dingin termoelektrik

D : *Drain*

E : *Heatsink* sisi panas termoelektrik

F : Fan *supply* udara

G ; Fan *return* udara

H ; Panel

T_1 : Temperatur udara masuk ruang pengering

T_2 : Temperatur udara kondensasi

T_3 : Temperatur udara masuk ruang pengering

RH_1 : Kelembapan ruang pengering

RH_2 : Kelembapan udara kondensasi

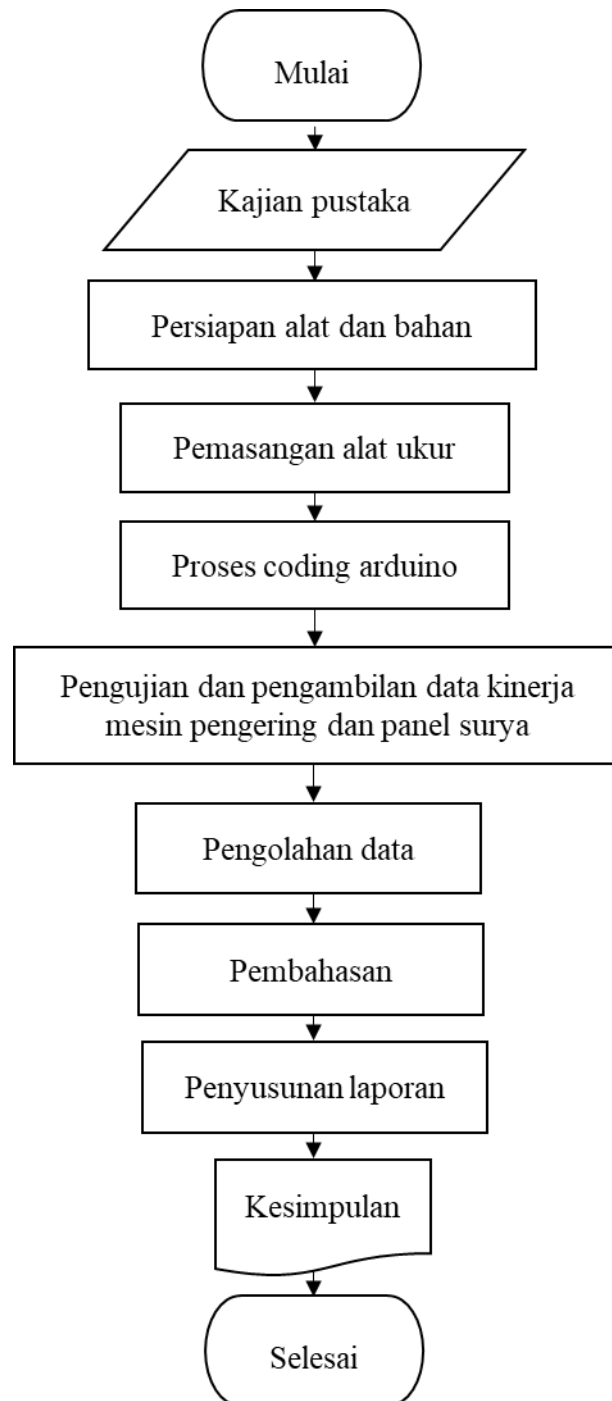
RH_3 : Kelembapan udara masuk ruang pengering

T_h : Temperatur *heatsink*

T_c : Temperatur *coldsink*

3.2 Alur Penelitian

Pada alur penelitian untuk menganalisis alat pengering biji kopi meliputi beberapa langkah sebagai berikut :



Gambar 3. 5 Diagram alur penelitian

3.3 Lokasi Dan Waktu Penelitian

3.3.1 Lokasi penelitian

Lokasi dan tempat yang akan digunakan dalam pelaksanaan penelitian skripsi Analisis alat pengering biji kopi menggunakan termoelektrik dengan panel surya dilaksanakan di Politeknik Negeri Bali, Jimbaran, Kuta Selatan, Kabupaten Badung, Bali.

3.3.2 Waktu penelitian

Adapun waktu penelitian yang meliputi persiapan kegiatan penelitian, pelaksanaan penelitian, pengambilan data, pengolahan data, dan penyusunan laporan skripsi dilampirkan dalam tabel 3.1

Tabel 3. 1 Waktu penelitian

No	Uraian Kegiatan	Tahun 2025																															
		Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni				Juli				Agustus			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1	Penyusunan Proposal																																
2	Ujian Proposal																																
3	Persiapan Alat dan Bahan																																
4	Perakitan Alat																																
5	Pengambilan Data																																
6	Pengolahan Data																																
7	Analisa dan Pembahasan																																
8	Penyusunan Laporan skripsi																																
9	Ujian Skripsi																																

3.4 Penentuan Sumber Data

Tabel data dibuat untuk mengetahui dari pengujian untuk mengetahui kondisi temperatur dan kelembapan udara dari alat pengering biji kopi. Berikut merupakan tabel yang akan digunakan dalam pengujian alat pengering biji kopi dapat dilihat pada tabel 3.2. dan pengujian panel surya sebagai sumber energi yang dapat dilihat pada tabel 3.3

Tabel 3. 2 Penentuan sumber data mesin pengering

No	Waktu	Temperatur			Kelembapan			TH	TC	TR	V	I	m_o	m_1	K_o	K	v
		T_1	T_2	T_3	RH_1	RH_2	RH_3										
1.																	
2.																	
3.																	
4.																	
5.																	
Rata rata :																	
Efisiensi :																	

Keterangan :

T_1 : Temperatur ruang pengering

T_2 : Temperatur udara kondensasi

T_3 : Temperatur udara masuk ruang pengering

RH_1 : Kelembapan ruang pengering

RH_2 : Kelembapan udara kondensasi

RH_3 : Kelembapan udara masuk ruang pengering

T_h : Temperatur *heatsink*

T_c : Temperatur *coldsink*

TR : Temperatur Ruangan

V : Voltase

I : Arus

m_o : Massa awal

m_1 : Masaa akhir

K_o : Kadar air awal

K_1 : Kadar air akhir

v : Kecepatan udara

Tabel 3. 3 Penentuan sumber data panel surya

No	Waktu (menit)	Daya (watt)		It (W/m^2)	Baterai (%)	Luas (m^2)
		V	I			
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
Rata – rata :						

Efisiensi panel surya :

Keterangan :

V : Tegangan

I : Arus

It : Intensitas radiasi matahari

3.5 Sumber Daya Penelitian

Pada penentuan daya yang akan dicapai dalam analisis ini yaitu mencari seberapa efisien kinerja dari mesin pengering kopi yang menggunakan termoelektrik dengan panel surya sebagai sumber energi. Pada analisis mesin pengering, perhitungan dilakukan secara manual dengan memanfaatkan data temperatur dan kelembapan dari arduino yang diambil secara langsung. Dan untuk data analisis panel surya perhitungan dilakukan dengan cara mencatat daya *input*, daya *output*, dan beban yang digunakan pada saat proses pengeringan dengan cara menggunakan avo meter.

3.6 Instrumen Penelitian

Dalam proses pengujian untuk alat pengering biji kopi ini memerlukan beberapa alat dan bahan, adapun beberapa alat dan bahan yang dibutuhkan sebagai berikut :

1. Arduino

Arduino digunakan sebagai media untuk memunculkan data yang diperoleh setelah dilakukan pemrograman.

2. Alat pengukur kadar air

Pada penelitian ini alat pengukur kadar air berfungsi untuk mengukur jumlah kandungan air dalam biji kopi setelah dilakukannya proses pengeringan. Gambar dapat dilihat pada 3.6



Gambar 3. 6 Alat pengukur kadar air
Sumber : Mertayadi (2024)

3. Timbangan

Timbangan merupakan alat yang digunakan untuk mengukur berat dari biji kopi baik sebelum ataupun setelah proses pengeringan. Gambar dapat dilihat pada 3.7



Gambar 3. 7 Timbangan

4. Stopwatch

Pada penelitian ini stopwatch merupakan alat pengukur atau pengatur waktu yang digunakan untuk mencatat pengambilan data ataupun proses pengeringan. Gambar dapat dilihat pada 3.8



Gambar 3. 8 Stopwatch
Sumber : Sentral kalibrasi (2024)

5. Avometer

Avometer, juga dikenal sebagai multimeter merupakan alat ukur serbaguna yang digunakan untuk mengukur beberapa parameter listrik. Nama "Avometer" berasal dari tiga fungsi utamanya: Ampere (arus), Volt (tegangan), dan Ohm (hambatan). Gambar dapat dilihat pada 3.9



Gambar 3. 9 Avometer
Sumber : Otoklix (2023)

6. Lux meter

Lux meter merupakan alat yang digunakan untuk mengukur tingkat pencahayaan atau intensitas cahaya. Pada penelitian ini lux meter digunakan untuk mengukur intensitas cahaya yang akan diserap oleh panel surya yang akan diubah menjadi energi listrik. Gambar dapat dilihat pada 3.10



Gambar 3. 10 Lux meter
Sumber : Rakusilmu (2018)

7. Anemo meter

Pada penelitian ini anemo meter digunakan untuk mengukur kecepatan angin yang diperoleh dari fan yang berfungsi untuk mendistribusikan udara panas yang dihasilkan oleh termoelektrik dengan satuan (m/s). Gambar dapat dilihat pada 3.11



Gambar 3. 11 Anemo meter

3.7 Prosedur Pengujian

Pada prosedur pengujian ini meliputi 2 langkah, yaitu prosedur pengujian alat pengering biji kopi dan prosedur pengujian panel surya sebagai penghasil energi listrik

3.7.1 Prosedur pengujian alat pengering biji kopi

Prosedur pengujian untuk menganalisa kinerja dari alat pengering biji kopi sebagai berikut :

1. Pemilihan biji kopi mentah.
2. Pemasangan sensor temperatur pada ruangan pengering.
3. Proses pengupasan biji kopi dengan kulitnya.
4. Menimbang biji kopi yang mentah menggunakan timbangan.
5. Memasukan biji kopi mentah kedalam ruangan pengering.
6. Melaksanakan proses pengujian mesin pengering biji kopi dengan menghidupkan alat pengering.
7. Mencatat data temperatur dan kelembapan setiap 30 menit.
8. Setelah selesai pengujian, biji kopi yang telah kering diukur kadar airnya dan ditimbang untuk dilakukan proses efisiensi mesin pengering biji kopi.

3.7.2 Prosedur pengujian panel surya sebagai sumber energi

Prosedur pengujian untuk menganalisa kinerja dari panel surya sebagai sumber energi dari pengering biji kopi sebagai berikut :

1. Pemilihan panel surya yang akan digunakan.
2. Perencanaan dan perhitungan kebutuhan energi dari pengering biji kopi.
3. Perakitan alat dan bahan yang akan digunakan.
4. Menentukan tempat yang akan digunakan dalam proses pengujian.
5. Mulai mencatat data dari daya yang masuk dan daya yang keluar dari panel surya menggunakan avo meter.
6. Mulai menghitung efisiensi panel surya sebagai sumber energi dari proses pengeringan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Pada bab ini membahas hasil dan pembahasan dari proses pengujian alat pengering biji kopi berbasis sistem termoelektrik. Desain alat ini mengacu pada kebutuhan pengeringan prototype biji kopi secara efisien dengan memanfaatkan modul termoelektrik peltier 12706 sebagai sumber panas utama dipadukan dengan panel surya sebagai sumber energi listrik. Adapun tahapan dalam pengambilan data temperatur dan kelembapan selama proses pengeringan berlangsung, prosedur pengujian alat untuk mengetahui kinerja sistem, serta dokumentasi data yang diperoleh dari hasil pengujian. Selanjutnya, data yang telah dikumpulkan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai respon alat terhadap perubahan temperatur dan kelembapan. Selain itu, dilakukan analisis melalui perhitungan yang bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas kerja sistem termoelektrik, efisiensi pengeringan, serta kestabilan temperatur dan kelembapan selama proses berlangsung. Dengan demikian, bab ini menjadi dasar dalam mengevaluasi sejauh mana alat yang dirancang mampu memenuhi kebutuhan fungsional sebagai sistem pengering biji kopi yang efisien dan ramah lingkungan.

4.1.1 Hasil desain

Berdasarkan hasil desain dari alat pengering biji kopi yang menggunakan termoelektrik sebagai sumber energi panas. Di bagian belakang merupakan area siklus udara terjadi mulai dari udara masuk yang kabin sampai udara keluar kabin hingga terjadi proses kondensasi, serta terdapat beberapa alat ukur temperatur dan kelembapan yang digunakan sebagai pengambilan data sistem. Gambar tersebut dapat dilihat pada gambar 4.1.



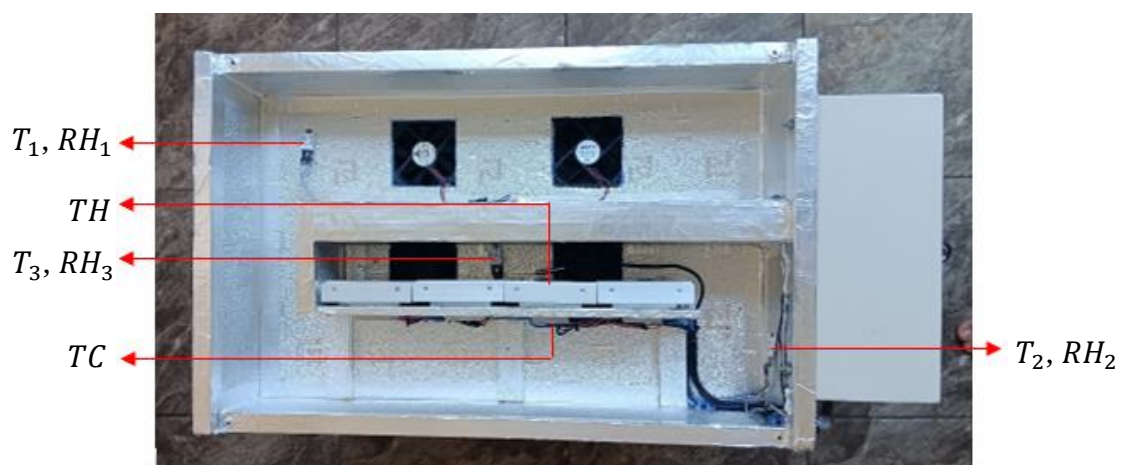
(A)

(B)

Gambar 4. 1 Tampak depan (A) tampak belakang (B)

4.1.2 Penempatan sensor pada ruang pengering

Penempatan sensor pada ruang pengering dirancang untuk memperoleh data temperatur dan kelembapan yang akurat selama proses pengeringan biji kopi berlangsung. Sensor DHT22 digunakan untuk mengukur temperatur dan kelembapan relatif udara secara bersamaan. Sensor ini diletakkan di 3 titik yang berbeda yaitu pada T_1 dan RH_1 (udara keluar dari ruang pengering) dapat dilihat pada gambar (4.3) , T_2 dan RH_2 (proses kondensasi) dapat dilihat pada gambar (4.4) , T_3 dan RH_3 (udara masuk ke ruang pengering) yang dapat dilihat pada gambar (4.5) . Selain itu, sensor temperatur DS18B20 diletakkan pada 3 titik yang berbeda yaitu pada sisi panas dari heatsink, sisi dingin dari coolsink dan temperatur ruangan. Dengan konfigurasi ini, data temperatur dan kelembapan dapat dikumpulkan secara real time untuk analisis efisiensi termal dan kinerja pengering secara keseluruhan."

**Gambar 4. 2** Penempatan sensor



Gambar 4. 3 Sensor T_1 dan RH_1



Gambar 4. 4 Sensor T_2 dan RH_2



Gambar 4. 5 Sensor T_3 dan RH_3



Gambar 4. 6 Sensor pada heatsink



Gambar 4. 7 Sensor pada coldsink



Gambar 4. 8 Sensor pada ruangan

4.1.2 Langkah pengambilan data temperatur dan kelembapan

Pengambilan data temperatur dan kelembapan pada alat pengering biji kopi dilakukan dengan memanfaatkan sensor yang terintegrasi dengan mikrokontroler Arduino. Sensor temperatur sensor DS18B20 dan DHT22 dipasang di dalam ruang pengering untuk memantau kondisi ruangan selama proses berlangsung. Data dari sensor dibaca secara real-time oleh Arduino dan ditampilkan pada layar LCD yang terhubung sebagai tampilan output. Data yang ditampilkan meliputi temperatur udara di dalam ruang pengering dan tingkat kelembapan relatif, yang kemudian digunakan untuk keperluan analisis kinerja alat pengering.

Langkah – langkah untuk pengambilan data menggunakan aplikasi PLX-DAQ tersebut antara lain :

1. Memasukkan program ke arduino uno.
2. Memasang kabel power dan kabel data ke arduino uno lalu hubungkan kabel data ke laptop atau PC.
3. Membuka aplikasi PLX-DAQ lalu sesuaikan *port* USB dari kabel data arduino.
4. Menekan tombol *connect* maka data akan ditampilkan di menu excel PLX-DAQ , data yang ditampilkan di excel di *setting* dengan interval setiap 5 menit sekali hingga waktu dan data yang ditargetkan.

4.1.3 Langkah dalam pengambilan data panel surya

Pengambilan data pada panel surya bertujuan untuk mengetahui kinerja panel dalam menghasilkan energi listrik serta pengaruh intensitas cahaya matahari terhadap daya yang dihasilkan. Pengukuran dilakukan secara manual menggunakan multimeter digital untuk mencatat nilai tegangan (Volt) dan arus listrik (Ampere) yang keluar dari panel surya. Selain itu, alat ukur intensitas cahaya menggunakan lux meter digunakan untuk mengukur seberapa besar intensitas cahaya matahari dalam satuan W/m^2 yang diterima oleh permukaan panel. Pengambilan data dilakukan secara berkala dalam setiap 30 menit, dengan mencatat nilai tegangan, arus, dan intensitas cahaya secara bersamaan. Daya listrik (W) dihitung dengan persamaan $P = V \times I$. Data yang diperoleh digunakan untuk menganalisis hubungan antara intensitas cahaya matahari dengan daya listrik yang dihasilkan, serta mengevaluasi efisiensi panel surya dalam menyuplai energi bagi sistem pengering berbasis termoelektrik.

4.2 Proses Pengujian Biji Kopi

Adapun langkah-langkah proses pengujian biji kopi berkulit buah (*whole cherry*) sebagai berikut :

1. Pada proses awal yaitu proses pemetikan biji kopi

Langkah awal dimulai dengan pemetikan buah kopi secara selektif, yaitu hanya memanen buah yang telah matang dengan warna merah cerah atau kuning pekat. Pemilihan ini bertujuan untuk memperoleh biji kopi yang seragam dan layak diuji dalam proses pengeringan



Gambar 4. 9 Pemetikan biji kopi

229

2. Penimbangan berat awal biji kopi

Biji kopi ditimbang menggunakan timbangan digital untuk menentukan massa awal 1 kg



Gambar 4. 10 Penimbangan biji kopi

3. Penempatan biji kopi pada rak alat pengering

Biji kopi *whole cherry* disebarakan secara merata di atas rak berlubang dalam ruang pengering dengan 1 layer agar aliran udara panas dapat merata ke seluruh permukaan biji.



Gambar 4. 11 Penempatan biji kopi pada rak pengering

227

4. Mulai mengidupakan alat pengering biji kopi

Alat pengering diaktifkan dengan menggunakan sumber daya dari panel surya. Sistem pendingin dan pemanas berbasis termoelektrik mulai bekerja untuk menghasilkan temperatur pengering yang stabil.



Gambar 4. 12 Pengujian biji kopi *whole cherry*

4.2.1 Data pengujian biji kopi *whole cherry*

Hasil yang didapatkan dalam pengujian biji kopi dengan kapasitas 1 kg dengan termoelektrik menggunakan data logger yang langsung terhubung pada arduino untuk mencatat secara langsung seperti waktu, temperatur dan kelembapan, temperatur heatsink dan coldsink, untuk voltase (V), ampere (I) dilakukan pencatatan secara manual dengan rentang waktu 30 menit . Dan untuk berat awal, dan kadar air awal pencatatan dilakukan pada saat sebelum proses pengeringan dan untuk berat akhir dan kelembapan akhir dicatat pada saat akhir proses pengujian.

Tabel 4. 1 Data pengujian biji kopi *whole cherry* selama 9 jam

No	Waktu	Temperatur				Kelembapan %			TH	TC	V	I	m_0 (kg)	m_1 (kg)	KA_{awal} (%)	KA_{akhir} (%)	v (m/s)
		$T_1^{\circ}C$	$T_2^{\circ}C$	$T_3^{\circ}C$	TR	$RH_1\%$	$RH_2\%$	$RH_3\%$									
1	07.01.23	27,8	27,5	27,9	24,9	84,8%	88,1%	79,5%	13,7	41,6	222,8	1,41	1	0,561	43	18	3,16
2	07:31:23	43,9	42,7	50,8	47,8	54,7%	55,5%	38,7%	41,6	88,5	222,1	1,32					
3	08:01:23	48,8	47,5	54,4	51,4	49,5%	49,9%	28,8%	44,7	90,4	222,8	1,32					
4	08:31:23	51,1	49,6	56,3	53,3	47,4%	47,4%	32,9%	46,6	93,7	221,6	1,28					
5	09:01:23	50,0	48,3	55,6	52,6	46,9%	48,1%	33,1%	45,3	92,4	222,2	1,25					
6	09:31:23	54,1	52,5	58,8	55,8	39,4%	39,4%	27,4%	48	95,1	222,5	1,2					
7	10:01:23	54,2	52,6	59	56	38,8%	38,9%	27,0%	48,1	95,2	221,8	1,2					
8	10:31:23	54,6	52,9	59,3	56,3	38,1%	38,0%	26,4%	48,3	95,5	221,4	1,25					
9	11:01:23	55,1	53,5	59,8	56,8	38,1%	37,9%	26,5%	48,9	96,3	222,1	1,2					
10	11:31:23	55,5	53,9	60,1	57,1	37,1%	36,8%	25,8%	49	96,2	221,2	1,2					
11	12.01.23	55,8	54,1	60,4	57,4	37,2%	36,9%	25,7%	49,1	96,2	222,9	1,2					
12	12.31.23	56,4	54,7	61	58	36,4%	35,9%	24,7%	49,6	96,8	222,8	1,2					
13	13.01.23	56,2	54,5	60,7	57,7	35,5%	35,1%	24,1%	49,1	96,2	222,7	1,2					
14	13.31.23	56,2	54,4	60,6	57,6	35,4%	35,0%	24,1%	49,1	96,2	222,3	1,2					
15	14.01.23	56,2	54,4	60,5	57,5	35,4%	35,2%	24,3%	49,1	96,3	221,6	1,2					
16	14.31.23	56,0	54,3	60,4	57,4	35,4%	35,1%	24,0%	48,9	95,9	222,9	1,2					
17	15.01.23	55,8	54	60,2	57,2	35,5%	35,3%	24,4%	48,7	95,8	222,1	1,2					
18	15.31.23	55,7	53,9	60,2	57,2	35,4%	35,2%	24,3%	48,7	95,8	222,6	1,2					
rata rata		52,41	50,85	57	54				45,92	91,89	222,2	1,2					

Tabel 4. 2 Data pengujian biji kopi *whole cherry* selama 10 jam

No	Waktu	Temperatur			TR	Kelembapan %			TC	TH	I	V	m_0 (kg)	m_1 (kg)	KA_{awal} (%)	KA_{akhir} (%)	v (m/s)
		T_1 °C	T_2 °C	T_3 °C		RH_1 %	RH_2 %	RH_3 %									
1	07.01.23	27,80	27,5	29,4	25	84,8%	88,1%	79,5%	13,7	41,6	1,4	222,0	1	0,465	41,6	12,3	3,16
2	07:31:23	46,00	44,7	53,8	49	52,5%	53,2%	37,1%	43,1	90,4	1,3	221,8					
3	08:01:23	51,10	49,6	57,8	53	47,4%	47,4%	32,9%	46,6	93,7	1,3	221,6					
4	08:31:23	48,50	44,2	55,6	52	39,6%	44,3%	34,7%	42,2	88,8	1,3	221,2					
5	09:01:23	54,10	52,5	60,3	52	39,4%	39,4%	27,4%	48	95,1	1,3	221,3					
6	09:31:23	54,30	52,7	60,5	54	38,8%	38,7%	27,2%	48,1	95,1	1,2	221,2					
7	10:01:23	54,60	53	60,9	54	37,9%	37,9%	26,5%	48,4	95,5	1,2	221,6					
8	10:31:23	55,50	53,8	61,7	55	37,4%	37,1%	25,6%	49,1	96,3	1,3	221,9					
9	11:01:23	55,70	53,9	61,8	55	37,3%	37,0%	25,6%	48,9	96	1,2	221,2					
10	11:31:23	56,30	54,6	62,4	55	36,8%	36,3%	24,9%	49,5	96,6	1,2	222,3					
11	12.01.23	56,40	54,7	62,5	55	36,4%	35,9%	24,7%	49,6	96,8	1,2	222,6					
12	12.31.23	56,30	54,6	62,3	55,8	35,8%	35,4%	24,2%	49,4	96,7	1,2	223,0					
13	13.01.23	56,20	54,4	62	56	35,4%	35,2%	24,3%	49,1	96,3	1,2	222,8					
14	13.31.23	55,80	54,1	61,7	56,9	35,5%	35,2%	24,3%	48,6	95,8	1,2	221,0					
15	14.01.23	55,70	53,9	61,7	57	35,3%	35,1%	24,1%	48,7	95,9	1,2	221,4					
16	14.31.23	55,80	54	61,7	57	35,2%	34,8%	24,2%	48,7	95,9	1,2	221,6					
17	15.01.23	55,70	54	61,8	58	35,0%	34,8%	24,1%	48,7	95,8	1,2	222,1					
18	15.31.23	55,80	54	61,7	57	34,9%	34,7%	24,0%	48,7	95,9	1,2	222,4					
19	16.01.23	55,80	54	61,8	57	34,9%	34,7%	23,9%	48,7	95,9	1,2	222,5					
20	16.31.23	55,80	53,9	61,8	57	34,8%	34,6%	23,8%	48,7	96	1,2	222,4					
Rata rata		53,2	51,4	59,2	53,5				46,33	92,51	1,2	221,9					

4.2.2 Hasil pengujian biji kopi *whole cherry*

Proses pengeringan biji kopi dengan menggunakan sistem termoelektrik berhasil menurunkan kadar air dari 41,6% menjadi 12,3% dalam waktu 10 jam dengan berat akhir 465 gram. Penurunan kadar air ini menunjukkan kinerja alat pengering yang cukup efektif dalam menghilangkan kadar air bebas pada biji kopi hingga mencapai standar kadar air aman untuk penyimpanan, yaitu berkisar antara 11–13% yang ditampilkan pada gambar 4.13. Waktu pengeringan yang relatif stabil menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan temperatur dan kelembapan dalam batas optimal selama proses berlangsung.



Gambar 4. 13 Hasil pengeringan biji kopi (*whole cherry*)

4.2.3 Data pengujian biji kopi *whole cherry*

Hasil yang didapatkan dalam pengujian biji kopi dengan kapasitas 1 kg dengan termoelektrik menggunakan data logger yang langsung terhubung pada arduino untuk mencatat secara langsung seperti waktu, temperatur dan kelembapan, temperatur heatsink dan coldsink, untuk voltase (V), ampere (I) dilakukan pencatatan secara manual dengan rentang waktu 30 menit . Dan untuk berat awal, dan kadar air awal pencatatan dilakukan pada saat sebelum proses pengeringan dan untuk berat akhir dan kelembapan akhir dicatat pada saat akhir proses pengujian.

Tabel 4. 3 Data pengujian biji kopi *parchment coffee* selama 6 jam

No	Waktu	Temperatur				Kelembapan			TC	TH	V	I	m_0	m_1	KA_{awal}	KA_{akhir}	v
		$T_1^{\circ}C$	$T_2^{\circ}C$	$T_3^{\circ}C$	TR	$RH_1\%$	$RH_2\%$	$RH_3\%$					(kg)	(kg)	(%)	(%)	(m/s)
1	07.04.34	34,5	34,2	39,7	33,2	73,2	75,4	57,6	30	51,9	221,5	1,3	1	0,328	38	13	3,16
2	07.38.27	46,2	38,4	43,9	40,9	55,9	57,8	42,5	37,1	78,5	222,3	1,1					
3	08.12.20	42,4	41,5	46,1	42,7	54	54,8	49,4	39,4	80,8	221,8	1,1					
4	08.46.13	42,4	38	44,6	43,1	49,5	53	40,1	37,3	77,9	221,5	1,1					
5	09.20.06	45,1	44,1	48,8	45,3	49	48,3	35,3	40,5	81,4	221,7	1,1					
6	09.53.59	44,1	43,3	48,1	44,6	51,1	51,5	34,8	40,2	81,7	221,9	1,1					
7	10.27.52	45,6	44,4	49,9	46	44,9	45,8	33,6	41,9	83,6	221,1	1,1					
8	12.09.31	47,1	45,8	51,1	47,2	43,2	43,4	31,4	42,7	84,2	222,2	1,1					
9	12.43.24	43,5	42,3	47,4	44,2	46,2	47,6	34	39,8	81,3	222,7	1,1					
10	13.17.17	45,4	44	49,5	45,9	43,2	44,2	31	41,6	83,1	222,6	1,1					
11	13.51.10	45,5	43,3	49,6	45,9	43,1	44	31,9	41,9	83,2	222,0	1,1					
12	14.25.03	45,9	45,1	50	46,2	43	43,9	31,8	42	83,4	222,5	1,1					
rata rata		44	42	47,4	43,8				39,5	79,3	222	1,1					

Tabel 4. 4 Data pengujian biji kopi *parchment coffee* selama 7 jam

No	Waktu	Temperatur			TR	Kelembapan %			TC	TH	I	V	m_0 (kg)	m_1 (kg)	KA_{awal} (%)	KA_{akhir} (%)	v (m/s)
		$T_1 ^\circ C$	$T_2 ^\circ C$	$T_3 ^\circ C$		RH_1 %	RH_2 %	RH_3 %									
1	09.44.28	29,1	28,5	28,3	20,3	86,1%	87,5%	89,1%	25,4	28,9	1,4	222,6	1	0,321	30%	12 %	3,16
2	10.39.50	52,0	50,4	56,7	48,7	47,8%	48,2%	33,9%	46,1	92,6	1,4	221,9					
3	10.59.58	53,6	51,9	58,1	50,1	44,4%	44,6%	31,6%	47,2	93,9	1,3	222,1					
4	11.25.08	54,9	53,2	59,4	51,4	41,4%	41,3%	28,5%	48,4	95,1	1,3	222,8					
5	11.50.19	56,3	54,6	60,8	52,8	37,8%	37,4%	26,0%	49,5	96,3	1,3	222,3					
6	12.42.51	58,4	56,6	62,8	54,8	33,5%	32,7%	22,3%	51,3	98,2	1,3	222,2					
7	12.57.56	58,8	57,0	62,9	54,9	32,3%	31,4%	21,7%	51,0	97,9	1,3	221,2					
8	13.18.04	59,1	57,2	63,2	55,2	31,5%	30,6%	21,2%	51,2	97,9	1,3	221,9					
9	13.57.43	59,1	57,3	63,6	55,6	31,5%	30,5%	20,8%	51,9	99,0	1,3	222,1					
10	14.02.45	59,5	57,7	63,9	55,9	31,2%	30,2%	20,6%	52,2	99,4	1,2	222,9					
11	14.32.58	60,5	58,7	64,7	56,7	30,3%	29,1%	20,0%	52,9	100,1	1,2	222,2					
12	15.32.28	60,7	58,7	64,7	56,7	29,4%	28,1%	19,3%	52,7	99,9	1,2	222,8					
13	15.57.37	60,5	58,5	64,4	56,4	29,1%	27,9%	19,3%	52,3	99,5	1,2	222,3					
14	16.22.47	60,3	58,2	64,1	56,1	28,9%	27,7%	19,4%	52,0	99,1	1,2	222,1					
rata rata		55,9	54,2	59,8	51,8				48,9	92,7	1,3	222,2					

4.2.4 Hasil pengujian biji kopi *parchment coffee*

Proses pengeringan biji kopi dengan menggunakan sistem termoelektrik berhasil menurunkan kadar air dari 30% menjadi 12% dalam waktu 7 jam. Penurunan kadar air ini menunjukkan kinerja alat pengering yang cukup efektif dalam menghilangkan kadar air bebas pada biji kopi hingga mencapai standar kadar air aman untuk penyimpanan, yaitu berkisar antara 11–13% yang ditampilkan pada gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Hasil pengeringan biji kopi 7 jam

4.3 Pengujian Panel Surya Pengujian Biji Kopi

Dalam pelaksanaan proses pengeringan biji kopi yang memanfaatkan panel surya sebagai sumber energi listrik berbasis konversi energi cahaya matahari, terdapat beberapa tahapan pengujian yang dilakukan guna memperoleh data performa sistem secara menyeluruh. Adapun tahapan-tahapan tersebut dijelaskan sebagai berikut:

1. Pencatatan intensitas radiasi matahari. Mengingat kinerja panel surya sangat dipengaruhi oleh tingkat pencahayaan, maka dilakukan pengukuran intensitas cahaya matahari menggunakan alat lux meter setiap interval 30 menit. Data ini berguna untuk menganalisis pengaruh variasi cahaya terhadap efisiensi dan stabilitas output sistem.
2. Pengukuran parameter listrik panel surya. Setelah sistem dinyalakan, dilakukan pencatatan terhadap tegangan (Volt) dan arus listrik (Ampere) yang dihasilkan oleh panel surya secara berkala setiap 30 menit. Hasil pengukuran tersebut digunakan untuk menentukan daya listrik ($P = V \times I$) yang kemudian disuplai ke sistem pemanas. Dokumentasi hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4. 15 Pencatatan data P_{out} panel surya

Berikut merupakan data hasil pengujian dari panel surya meliputi intensitas cahaya, tegangan dan arus. Pengambilan data dilakukan pada rentang waktu 30 menit.

Tabel 4. 5 Data pengujian panel surya biji kopi *whole cherry* selama 10 jam

Waktu	Arus (A)	Tegangan (V)	Intensitas (W/ m ²)	Luas (m ²)	Baterai (%)
07.00	3,70	132	250	7,75	68
07.30	1,7	132	337	7,75	69
08.00	4,3	129	339	7,75	69
08.30	5,8	129	496	7,75	73
09.00	7,1	129	684	7,75	82
09.30	7,8	132	780	7,75	82
10.00	5,7	132	759	7,75	92
10.30	6,30	129	646	7,75	98
11.00	5,8	132	688	7,75	100
11.30	1,9	140	442	7,75	100
12.00	1,7	142	642	7,75	100
12.30	1,7	142	500	7,75	100
13.00	1,7	144	568	7,75	100
13.30	1,7	139	627	7,75	100
14.00	1,7	142	475	7,75	100
14.30	1,7	148	696	7,75	100
15.00	1,7	142	438	7,75	100
15.30	1,3	133	132	7,75	99
16.00	1,4	130	170	7,75	99
16.30	3,7	133	256	7,75	98
17.00	3,1	133	419	7,75	99
Rata rata	3,40	135,43	492,57	7,75	91,81

Tabel 4. 6 Data pengujian panel surya biji kopi *parchment coffee* selama 7 jam

Waktu	Arus (A)	Tegangan (V)	Iradiasi Matahari (W/m ²)	Luas (m ²)	Baterai (%)
09.44.28	3,3	130	226	7,75	91
10.14.28	3,8	130	296	7,75	95
10.44.28	4,8	130	378	7,75	100
11.14.28	5,9	130	500	7,75	100
11.44.28	6,9	130	641	7,75	100
12.14.28	1,3	143	795	7,75	100
12.44.28	1,1	146	1106	7,75	100
13.14.28	1,1	142	1113	7,75	100
13.44.28	1,1	147	1328	7,75	100
14.14.28	1	142	1278	7,75	100
14.44.28	1,2	142	1206	7,75	100
15.14.28	0,9	143	1226	7,75	100
15.44.28	0,9	145	1277	7,75	100
16.14.28	1,4	144	1200	7,75	100
rata rata	2,5	138,9	897,9	7,75	99

4.4 Kinerja Mesin Pengering Pengujian Biji Kopi *Whole Cherry*

Kinerja mesin pengering biji kopi (*whole cherry*) dievaluasi melalui beberapa parameter utama, yaitu efisiensi termal, efisiensi pengeringan, COP (*Coefficient of Performance*), SMER (*Specific Moisture Extraction Rate*), dan laju aliran massa pengeringan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi termal mesin cukup baik dalam mengubah energi listrik menjadi panas yang digunakan untuk mengeringkan biji kopi. Efisiensi pengeringan menunjukkan seberapa efektif mesin dalam menguapkan kandungan air dari biji kopi. Nilai COP menunjukkan rasio antara panas yang digunakan untuk proses pengeringan dengan energi listrik yang dikonsumsi, sedangkan nilai SMER menggambarkan seberapa banyak air yang berhasil diuapkan per satuan energi listrik. Selain itu, laju aliran massa pengeringan menunjukkan kecepatan pengurangan kadar air dalam biji kopi selama proses berlangsung. Secara keseluruhan, mesin pengering mampu bekerja secara efektif dan efisien dalam proses pengeringan biji kopi *whole cherry*.

4.4.1 Efisiensi termal (η_t)

Laju aliran udara ($\dot{m}_{udara}$) digunakan sebagai tolak ukur dalam mengetahui kecepatan udara yang dialirkan oleh *fan* dalam proses pengeringan biji kopi, adapun persamaan yang digunakan untuk laju aliran massa sebagai berikut 4.1. (Anderias, 2022):

$$\dot{m}_{udara} = \rho \times v \times A \quad (4.1)$$

dimana :

ρ (densitas) pada temperatur 53,54 °C adalah 1,08 kg/m³

v (kecepatan udara) yang mengalir ke ruang pengering adalah 3 m/s

A (luas permukaan) dari fan adalah 0,0064 m²

Nilai densitas sebesar 53,54°C diperoleh dari hasil pengujian yang ditampilkan pada lampiran 13 dan kecepatan udara 3,16 m/s yang digunakan dalam perhitungan ini diperoleh dari hasil pengujian yang ditampilkan pada tabel 4.2, sedangkan luas permukaan diperoleh dari template yang tertera pada spesifikasi fan tabel 2.9.

sehingga :

$$\begin{aligned} \dot{m}_{udara} &= 1,08 \text{ kg/m}^3 \times 3,16 \text{ m/s} \times 0,0064 \text{ m}^2 \\ &= 0,00218192 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Q_{trans} merupakan jumlah energi panas yang ditransfer ke udara di dalam ruang pengering dan berfungsi sebagai media pemanas. Nilai Q_{trans} mencerminkan efektivitas sistem pemanas dalam menaikkan temperatur udara yang akan bersentuhan langsung dengan biji kopi selama proses pengeringan. Energi ini berasal dari perpindahan panas akibat perbedaan temperatur dan dapat dihitung menggunakan persamaan 4.2 (Riffat & Ma, 2004).

$$Q_{trans} = \dot{m}_{udara} \times c_p \times \Delta t \times t \quad (4.2)$$

dimana :

c_p pada temperatur 53,54 °C adalah 1007 J/kg.K

T_1 adalah 326,31 °K

T_3 adalah 332,32 °K

waktu pengeringan adalah 36000 s

Nilai c_p sebesar $53,54^\circ\text{C}$ diperoleh dari hasil pengujian yang ditampilkan pada lampiran 13 sedangkan temperatur dan waktu pengeringan diperoleh pada hasil pengujian yang ditampilkan pada tabel 4.2.

sehingga :

$$\begin{aligned} Q_{trans} &= 0,02184912 \text{ kg/s} \times 1007 \text{ J/kg.K} \times (326,31^\circ\text{K} - 332,31^\circ\text{K}) \times 36000 \text{ s} \\ &= 0,020736 \text{ kg/s} \times 1007 \text{ J/kg.K} \times 6^\circ\text{K} \times 36000 \text{ s} \\ &= 4.750.879,7 \text{ J} \end{aligned}$$

E_{in} merupakan total energi listrik yang digunakan oleh sistem pengering termoelektrik selama proses pengeringan berlangsung. Besarnya energi ini menjadi acuan utama dalam menilai efisiensi sistem, karena seluruh proses perpindahan panas dan penguapan air pada bahan yang dikeringkan bersumber dari konsumsi energi listrik. Nilai E_{in} dihitung berdasarkan hasil perkalian antara tegangan, arus listrik, dan waktu operasi, sebagaimana dipersamakan sebagai berikut: 4.3 (Anderias, 2022):

$$E_{in} = V \times I \times t \quad (4.3)$$

dimana :

$$V = 221,9 \text{ V}$$

$$I = 1,2 \text{ A}$$

$$t = 10 \text{ jam} \approx 36000 \text{ s}$$

Nilai voltase 221,9 arus 1,2 A dan waktu pengeringan selama 10 jam atau 36000 s ditentukan setelah melakukan pengujian yang dicatumkan pada tabel 4.2. sehingga :

$$\begin{aligned} E_{in} &= 220 \text{ V} \times 1,2 \text{ A} \times 36000 \text{ s} \\ &= 9.586.080 \text{ J} \end{aligned}$$

Efisiensi termal merupakan salah satu parameter penting dalam mengevaluasi performa sistem pengering berbasis termoelektrik. Efisiensi ini menunjukkan seberapa besar energi listrik yang dikonsumsi berhasil dikonversikan menjadi energi panas yang berguna di dalam ruang pengering dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut 4.4. (Riffat & Ma, 2004) :

$$\eta_t = \frac{Q_{trans}}{E_{in}} \times 100 \% \quad (4.4)$$

dimana :

$$\begin{aligned} \eta_t &= \frac{4.750.879,7 J}{9.586.080 J} \times 100 \% \\ &= 49\% \end{aligned}$$

4.4.2 Efisiensi pengeringan (η_p)

Energi penguapan air Q_{uap} dihitung berdasarkan jumlah air yang diuapkan dan panas laten penguapan air dengan persamaan sebagai berikut 4.5. (Anderias, 2022):

$$Q_{uap} = m_r \times \Delta h \quad (4.5)$$

dimana :

berat awal dari kopi yaitu 1kg

berat akhir dari kopi yaitu 0,421 kg

entalpy awal di temperatur 53,2 yaitu 170.7kJ/kg

entalpy akhir di temperatur 51,2 yaitu 114.1kJ/kg

Nilai berat awal 1 kg dan berat akhir 0,421 kg ditentukan setelah melakukan pengujian yang sudah dicantumkan pada tabel 4.2 dan untuk entalpy ditentukan setelah melakukan pengujian yang dicantumkan pada lampiran 13.

sehingga :

$$\begin{aligned} Q_{uap} &= (1 \text{ kg} - 0,421 \text{ kg}) \times (170.7 \text{ kJ/kg} - 114.1 \text{ kJ/kg}) \\ &= 0,579 \text{ kg} \times 56,6 \text{ kJ/kg} \\ &= 33,7714 \text{ kJ} \approx 33771,4 \text{ J} \end{aligned}$$

Efisiensi pengeringan merupakan ukuran seberapa efektif energi listrik yang digunakan dalam sistem dapat dimanfaatkan secara langsung untuk proses penguapan air dari bahan yang dikeringkan. Efisiensi ini dihitung dengan membandingkan energi yang dibutuhkan untuk menguapkan kadar air dari bahan terhadap total energi listrik yang dikonsumsi sistem. Nilai efisiensi pengeringan η_p dipersamakan sebagai berikut 4.6.

$$\eta_p = \frac{Q_{uap}}{E_{in}} \times 100 \% \quad (4.6)$$

dimana :

$$\begin{aligned}\eta_p &= \frac{33771,4 \text{ J}}{9.586.080 \text{ J}} \times 100 \% \\ &= 35 \%\end{aligned}$$

4.4.3 Coefficient of performance

Kinerja Pengering (COP) - *Coefficient of Performance* merupakan salah satu parameter penting dalam mengevaluasi kinerja sistem pengering berbasis termoelektrik. COP menggambarkan seberapa efisien sistem dalam memanfaatkan energi listrik untuk menghasilkan energi panas yang digunakan dalam proses pengeringan. Dalam sistem pengering termoelektrik, COP didefinisikan sebagai perbandingan antara energi panas yang berhasil ditransfer ke ruang pengering (Q_{out}) dengan energi listrik yang dikonsumsi oleh alat (E_{in}). Nilai COP yang tinggi menunjukkan bahwa sistem bekerja secara efisien, yaitu mampu menghasilkan panas yang besar dengan konsumsi daya listrik yang relatif rendah.

Coefficient of Performance mengukur rasio antara panas yang disuplai untuk pengeringan dan energi listrik yang dikonsumsi, mirip seperti efisiensi tapi tanpa dikali 100%. 4.7.

Persamaan:

$$COP = \frac{Q_{out}}{E_{in}} \quad (4.7)$$

dimana :

$$\begin{aligned}COP &= \frac{33771,4 \text{ J}}{9.504.000 \text{ J}} \\ &= 0,35\end{aligned}$$

4.4.4 Laju aliran massa pengeringan

Menghitung laju aliran massa pengeringan merupakan tahapan untuk mengetahui jumlah uap air yang dikeluarkan bahan, dengan menganalisis berat basah bahan, berat kering bahan dan waktu selama proses dilakukan. (M. Yahya, 2014). Adapun persamaan untuk menghitung laju aliran massa pengeringan sebagai berikut 4.8.

$$m_a = \frac{m_o - m_1}{t} \quad (4.8)$$

dimana :

$$\begin{aligned} m_a &= \frac{1 \text{ kg} - 0,421 \text{ kg}}{10} \\ &= \frac{0,579 \text{ kg}}{10} \\ &= 0,0579 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

4.4.5 Specific moisture extraction rate

Nilai laju ekstraksi uap spesifik atau *specific moisture extraction rate* (SMER) adalah parameter yang digunakan untuk mengukur efisiensi energi pada proses pengeringan. SMER menyatakan jumlah massa air (dalam kilogram) yang berhasil diuapkan dari bahan per satuan energi listrik (dalam kilowatt-jam) yang digunakan oleh sistem pengering. Nilai SMER dinyatakan dalam satuan kg/kWh. Semakin besar nilai SMER, maka semakin efisien sistem pengering dalam menggunakan energi listrik untuk menguapkan air dari bahan yang dikeringkan. Sebaliknya, nilai SMER yang rendah menunjukkan bahwa sistem membutuhkan energi lebih besar untuk menguapkan jumlah air yang sama, sehingga efisiensinya lebih rendah. Perhitungan SMER menggunakan persamaan sebagai berikut : (Mahlia, Hor and Masjuki, 2010).

The specific moisture removal rate (SMER)

$$\text{SMER} = \frac{\text{Amount of water removal evaporated}}{\text{Energy input to the dryer}} (\text{kg/kWh}) \quad (4.9)$$

dimana :

daya yang digunakan adalah $221,9\text{V} \times 1,2 \text{ A} = 266 \text{ W} \approx 0,266 \text{ kW}$

sehingga :

$$\begin{aligned} \text{SMER} &= \frac{0,0579 \text{ kg/h}}{0,266 \text{ kW}} \\ &= 0,021766 \text{ kg/kWh} \end{aligned}$$

4.5 Kinerja mesin pengering pengujian biji kopi (*parchment coffee*)

Evaluasi kinerja mesin pengering dilakukan untuk mengetahui efektivitas dan efisiensi alat dalam mengonversi energi input diubah menjadi panas guna menguapkan kadar air pada bahan. Parameter yang dianalisis meliputi efisiensi termal, efisiensi pengeringan, COP, laju aliran massa pengeringan, dan *Specific*

Moisture Extraction Rate (SMER), yang menunjukkan jumlah uap air yang diuapkan per satuan energi.

4.5.1 Efisiensi termal (η_t)

Laju aliran udara ($\dot{m}_{udara}$) digunakan untuk mengetahui seberapa besar udara yang dialirkan oleh kipas selama proses pengeringan biji kopi. Persamaan yang digunakan untuk menghitung laju aliran massa ditunjukkan pada Persamaan 4.1 (Anderias, 2022).

$$\dot{m}_{udara} = \rho \times v \times A \quad (4.10)$$

dimana :

ρ (densitas) pada temperatur 55,64 °C adalah 1,073 kg/m³

v (kecepatan udara) yang mengalir ke ruang pengering adalah 3,16 m/s

A (luas permukaan) dari fan adalah 0,0064 m²

Nilai densitas sebesar 55,54 °C diperoleh dari hasil pengujian yang ditampilkan pada lampiran 14 dan kecepatan udara 3,16 m/s yang digunakan dalam perhitungan ini diperoleh dari hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4.2, sedangkan luas permukaan diperoleh dari template yang tertera pada spesifikasi fan tabel 2.9.

sehingga :

$$\begin{aligned} \dot{m}_{udara} &= 1,073 \text{ kg/m}^3 \times 3,16 \text{ m/s} \times 0,0064 \text{ m}^2 \\ &= 0,0021700325 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Q_{trans} merupakan energi panas yang ditransfer ke udara di ruang pengering dan berperan sebagai media pemanas. Nilai ini mencerminkan efektivitas sistem dalam meningkatkan temperatur udara yang bersentuhan langsung dengan biji kopi. Perhitungannya dilakukan menggunakan Persamaan 4.2 (Riffat & Ma, 2004).

$$Q_{trans} = \dot{m}_{udara} \times c_p \times \Delta t \times t \quad (4.11)$$

dimana :

c_p pada temperatur 55,64 °C adalah 1007 J/kg.K

T_1 adalah 327,52 °K

T_3 adalah 6265,15 °K

waktu pengeringan adalah 25200 s

Nilai c_p sebesar 55,64 °C diperoleh dari hasil pengujian yang ditampilkan pada lampiran 14 sedangkan temperatur dan waktu pengeringan diperoleh pada hasil pengujian yang ditampilkan pada tabel 4.4.

sehingga :

$$\begin{aligned} Q_{trans} &= 0,0021700325 \text{ kg/s} \times 1007 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \times (327,52^\circ\text{K} - 6265,15^\circ\text{K}) \times 36000 \text{ s} \\ &= 0,00206016 \text{ kg/s} \times 1007 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \times 5,9^\circ\text{K} \times 25200 \text{ s} \\ &= 3.248,993,1 \text{ J} \end{aligned}$$

E_{in} merupakan total energi listrik yang dikonsumsi oleh sistem pengering termoelektrik selama proses berlangsung. Nilai ini menjadi acuan dalam menilai efisiensi sistem, karena seluruh proses pengeringan bergantung pada energi listrik. E_{in} dihitung dari hasil perkalian antara tegangan, arus, dan waktu operasi, seperti ditunjukkan pada Persamaan 4.3 (Anderias, 2022).

$$E_{in} = V \times I \times t \quad (4.12)$$

dimana :

$$V = 222,2 \text{ V}$$

$$I = 1,3 \text{ A}$$

$$t = 7 \text{ jam} \approx 25200 \text{ s}$$

Nilai voltase 221,9 arus 1,2 A dan waktu pengeringan selama 10 jam atau 36000 s ditentukan setelah melakukan pengujian yang dicatumkan pada tabel 4.2.

sehingga :

$$\begin{aligned} E_{in} &= 222,2 \text{ V} \times 1,3 \text{ A} \times 25200 \text{ s} \\ &= 7,279,272 \text{ J} \end{aligned}$$

Efisiensi termal merupakan salah satu parameter penting dalam mengevaluasi performa sistem pengering berbasis termoelektrik. Efisiensi ini menunjukkan seberapa besar energi listrik yang dikonsumsi berhasil dikonversikan menjadi energi panas yang berguna di dalam ruang pengering dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut 4.4. (Riffat & Ma, 2004) :

$$\eta_t = \frac{Q_{trans}}{E_{in}} \times 100 \% \quad (4.13)$$

dimana :

$$\eta_t = \frac{3.248,993,1 J}{7,279,272 J} \times 100 \% \\ = 44 \%$$

4.5.2 Efisiensi pengeringan (η_p)

Energi penguapan air Q_{uap} dihitung berdasarkan jumlah air yang diuapkan dan panas laten penguapan air dengan persamaan sebagai berikut 4.5. (Anderias, 2022):

$$Q_{uap} = m_r \times \Delta h \quad (4.14)$$

dimana :

berat awal dari kopi yaitu 1kg

berat akhir dari kopi yaitu 0,321 kg

entalpy awal di temperatur 53,2 yaitu 180.6kJ/kg

entalpy akhir di temperatur 51,2 yaitu 117.7kJ/kg

Nilai berat awal 1 kg dan berat akhir 0,321 kg ditentukan setelah melakukan pengujian yang sudah dicantumkan pada tabel 4.2 dan untuk entalpy ditentukan setelah melakukan pengujian yang dicantumkan pada lampiran 13.

sehingga :

$$Q_{uap} = (1 \text{ kg} - 0,321 \text{ kg}) \times (180.6 \text{ kJ/kg} - 117.7 \text{ kJ/kg}) \\ = 0,679 \text{ kg} \times 62,9 \text{ kJ/kg} \\ = 42,7091 \text{ kJ} \approx 42709,1 \text{ J}$$

Efisiensi pengeringan merupakan ukuran seberapa efektif energi listrik yang digunakan dalam sistem dapat dimanfaatkan secara langsung untuk proses penguapan air dari bahan yang dikeringkan. Efisiensi ini dihitung dengan membandingkan energi yang dibutuhkan untuk menguapkan kadar air dari bahan terhadap total energi listrik yang dikonsumsi sistem. Nilai efisiensi pengeringan η_p dipersamakan sebagai berikut 4.6.

$$\eta_p = \frac{Q_{uap}}{E_{in}} \times 100 \% \quad (4.15)$$

dimana :

$$\eta_p = \frac{42709,1 J}{7,279,272 J} \times 100 \%$$

$$= 58 \%$$

4.5.3 Coefficient of performance

Kinerja Pengering (COP) - *Coefficient of Performance* merupakan salah satu parameter penting dalam mengevaluasi kinerja sistem pengering berbasis termoelektrik. COP menggambarkan seberapa efisien sistem dalam memanfaatkan energi listrik untuk menghasilkan energi panas yang digunakan dalam proses pengeringan. Dalam sistem pengering termoelektrik, COP didefinisikan sebagai perbandingan antara energi panas yang berhasil ditransfer ke ruang pengering (Q_{out}) dengan energi listrik yang dikonsumsi oleh alat (E_{in}). Nilai COP yang tinggi menunjukkan bahwa sistem bekerja secara efisien, yaitu mampu menghasilkan panas yang besar dengan konsumsi daya listrik yang relatif rendah.

Coefficient of Performance mengukur rasio antara panas yang disuplai untuk pengeringan dan energi listrik yang dikonsumsi, mirip seperti efisiensi tapi tanpa dikali 100%. 4.7.

Persamaan:

$$COP = \frac{Q_{out}}{E_{in}} \quad (4.16)$$

dimana :

$$\begin{aligned} COP &= \frac{42709,1 \text{ J}}{7,279,272 \text{ J}} \\ &= 0,58 \end{aligned}$$

4.5.4 Menghitung laju aliran massa pengeringan

Menghitung laju aliran massa pengeringan merupakan tahapan untuk mengetahui jumlah uap air yang dikeluarkan bahan, dengan menganalisis berat basah bahan, berat kering bahan dan waktu selama proses dilakukan. (M. Yahya, 2014). Adapun persamaan untuk menghitung laju aliran massa pengeringan sebagai berikut 4.8.

$$m_a = \frac{m_o - m_1}{t} \quad (4.17)$$

dimana :

$$m_a = \frac{1 \text{ kg} - 0,321 \text{ kg}}{7}$$

$$= \frac{0,679 \text{ kg}}{7}$$

$$= 0,097 \text{ kg/h}$$

4.5.5 Specific moisture extraction rate (SMER)

Nilai laju ekstraksi uap spesifik atau *specific moisture extraction rate* (SMER) adalah parameter yang digunakan untuk mengukur efisiensi energi pada proses pengeringan. SMER menyatakan jumlah massa air yang berhasil diuapkan dari bahan per satuan energi listrik yang digunakan oleh sistem pengering. Nilai SMER dinyatakan dalam satuan kg/kWh. Semakin besar nilai SMER, maka semakin efisien sistem pengering dalam menggunakan energi listrik untuk menguapkan air dari bahan yang dikeringkan. Sebaliknya, nilai SMER yang rendah menunjukkan bahwa sistem membutuhkan energi lebih besar untuk menguapkan jumlah air yang sama, sehingga efisiensinya lebih rendah. Perhitungan SMER menggunakan persamaan sebagai berikut : (Mahlia, Hor and Masjuki, 2010).

The specific moisture removal rate (SMER)

$$\text{SMER} = \frac{\text{Amount of water removal evaporated}}{\text{Energy input to the dryer}} (\text{kg/kWh}) \quad (4.18)$$

dimana :

daya yang digunakan adalah $222,2\text{V} \times 1,3 \text{ A} = 288 \text{ W} \approx 0,288 \text{ kW}$

sehingga :

$$\text{SMER} = \frac{0,097 \text{ kg/h}}{0,288 \text{ kW}}$$

$$= 0,33680 \text{ kg/kWh}$$

4.6 Menghitung Kinerja Dari Panel Surya Pengujian Whole Cherry

Untuk menghitung kinerja dari panel surya didapat dengan cara menghitung efisiensi dari panel surya. Untuk menghitung efisiensi panel surya didapat menggunakan persamaan berikut :

Daya listrik adalah besaran listrik yang menyatakan besarnya energi yang digunakan untuk mengaktifkan komponen atau peralatan listrik / elektronik dalam waktu tertentu. Produksi daya input adalah hasil dari konversi energi matahari

menjadi energi listrik oleh panel surya. Daya input PLTS dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut 4.10 (Suwarti dan Prasetyo 2018) :

$$P_{in} = irad \times A \quad (4.19)$$

keterangan:

P_{in} = Daya yang masuk solar panel (W)

$irad$ = Intensitas cahaya matahari (W/m²)

A = Luas penampang solar panel (m²)

jawab :

$$\begin{aligned} P_{in} &= 492,57 \text{ W/m}^2 \times 7,75 \text{ m}^2 \\ &= 3817,43 \text{ W} \end{aligned}$$

Produksi daya output PLTS mengacu pada jumlah daya listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS dari panel surya setelah melalui proses konversi energi matahari menjadi energi listrik. Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut 4.11 (Febriana. A, 2024) :

$$P_{out} = V_{PV} \times I_{PV} \quad (4.20)$$

keterangan :

P_{out} = Daya yang keluar solar panel (W)

V_{PV} = Tegangan solar panel (V)

I_{PV} = Arus keluar solar panel (I)

jawab :

$$\begin{aligned} P_{out} &= 3,40 \text{ A} \times 135,43 \text{ V} \\ &= 453,12 \text{ w} \end{aligned}$$

Efisiensi PLTS diukur dalam persentase dan dinyatakan sebagai perbandingan antara daya listrik output dengan daya matahari input yang diterima oleh panel surya. Persamaan dasar untuk menghitung efisiensi PLTS adalah sebagai berikut 4.12 (Febriana. A, 2024) :

$$\eta = \left(\frac{P_{in}}{P_{out}} \right) \times 100\% \quad (4.21)$$

keterangan :

η = Efisiensi (%)

P_{in} = Produksi daya output PLTS (W)

P_{out} = Beban yang akan digunakan (W)

Jawab :

$$\eta = \left(\frac{453,12 \text{ W}}{3817,43 \text{ W}} \right) \times 100\%$$

$$\eta = 11,87 \%$$

Maka efisiensi dari pengujian panel surya sebagai sumber energi listrik untuk pengering biji kopi dengan termoelektrik dengan pengujian 10 jam dari pukul 07.00 hingga 17.00 mendapatkan rata rata efisiensi 11,87 %

4.7 Menghitung Kinerja Dari Panel Surya Biji Kopi (*Parchment Coffee*)

Daya listrik merupakan suatu besaran yang menunjukkan jumlah energi yang diperlukan untuk mengoperasikan komponen atau peralatan listrik dan elektronik dalam kurun waktu tertentu. Produksi daya input adalah hasil dari konversi energi matahari menjadi energi listrik oleh panel surya. Daya input PLTS dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut 4.10 (Suwarti dan Prasetyo 2018) :

$$P_{in} = irad \times A \quad (4.22)$$

keterangan:

$$P_{in} = \text{Daya yang masuk solar panel (W)}$$

$$irad = \text{Intensitas cahaya Matahari (W/m}^2 \text{)}$$

$$A = \text{Luas Penampang Solar Panel (m}^2 \text{)}$$

jawab :

$$\begin{aligned} P_{in} &= 897,86 \text{ W/m}^2 \times 7,750 \text{ m}^2 \\ &= 6958,39 \text{ W} \end{aligned}$$

Produksi daya output PLTS mengacu pada jumlah daya listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS dari panel surya setelah melalui proses konversi energi matahari menjadi energi listrik. Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut 4.11 (Febriana. A, 2024) :

$$P_{out} = V_{PV} \times I_{PV} \quad (4.23)$$

keterangan

$$P_{out} = \text{Daya yang keluar solar panel (W)}$$

$$V_{PV} = \text{Tegangan solar panel (V)}$$

$$I_{PV} = \text{Arus keluar solar panel} \quad (A)$$

jawab :

$$\begin{aligned} P_{out} &= 138,86 \text{ V} \times 2,48 \text{ A} \\ &= 332,04 \text{ W} \end{aligned}$$

Efisiensi PLTS diukur dalam persentase dan dinyatakan sebagai perbandingan antara daya listrik output dengan daya matahari input yang diterima oleh panel surya. Persamaan dasar untuk menghitung efisiensi PLTS adalah sebagai berikut 4.12 (Febriana. A, 2024) :

$$\eta = \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \times 100\% \quad (4.24)$$

keterangan :

η = Efisiensi (%)

P_{in} = Produksi daya *output* PLTS (W)

P_{out} = Beban yang akan digunakan (W)

jawab :

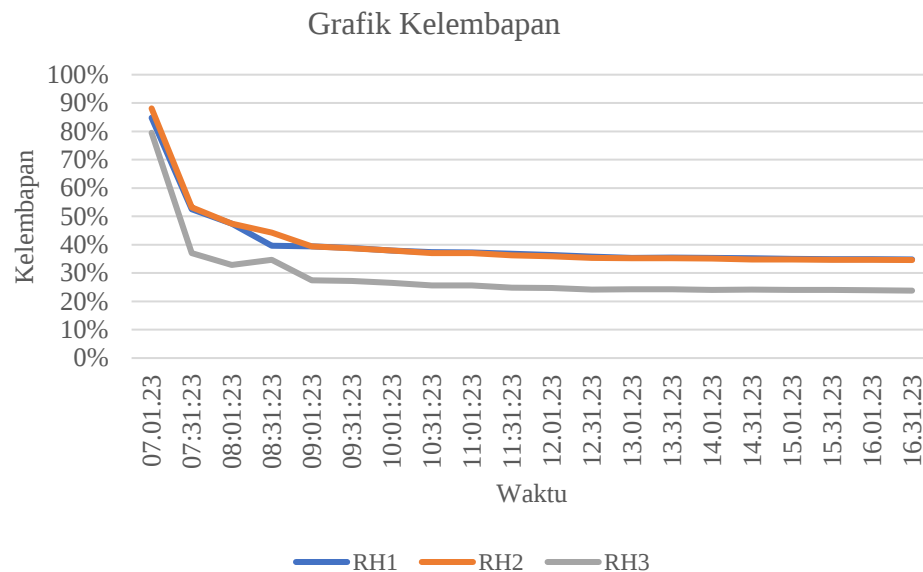
$$\begin{aligned} \eta &= \left(\frac{332,04 \text{ W}}{6958,39 \text{ W}} \right) \times 100\% \\ &= 0,5 \% \end{aligned}$$

4.8 Pembahasan Pengujian Biji Kopi (*Whole Cherry*)

Pada pembahasan pengujian biji kopi *whole cherry* ini meliputi tentang grafik data penurunan kelembapan, grafik data temperatur ruangan, grafik data sisi panas dan sisi dingin dari termoelektrik dan grafik penurunan kadar air biji kopi *whole cherry*

4.8.1 Grafik data kelembapan pada pengujian selama 10 jam

Grafik kelembapan menunjukkan perubahan nilai kelembapan relatif pada tiga titik penting dalam sistem pengering biji kopi berbasis termoelektrik, yaitu RH_1 (udara keluar), RH_2 (ruang kondensasi), dan RH_3 (udara masuk). Yang ditunjukkan pada gambar 4.16.

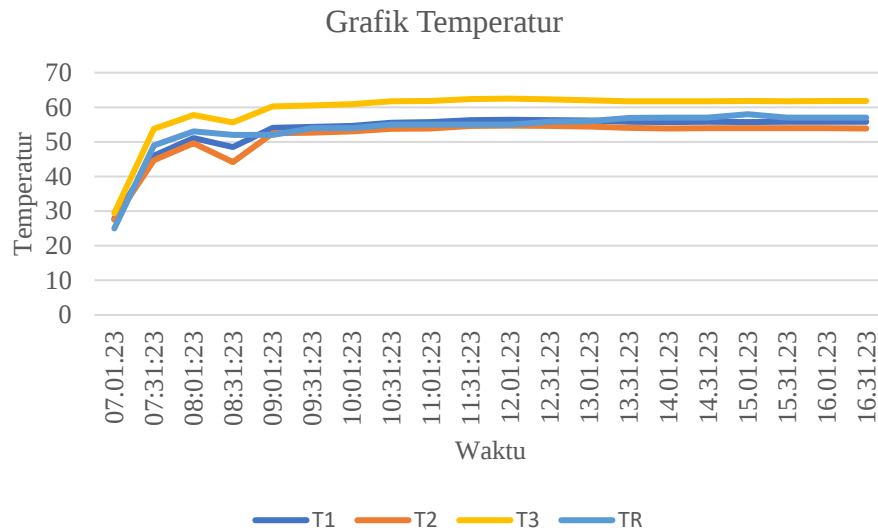


Gambar 4. 16 Grafik data kelembapan pada pengujian biji kopi (*whole cherry*)

Grafik Kelembapan menunjukkan perubahan kelembapan relatif tiga sensor terhadap waktu mulai pukul 07.01.23 hingga 16.31.23, di mana ketiganya mengalami penurunan yang sangat tajam pada jam pertama dari sekitar 90% menjadi sekitar 40–50%, kemudian laju penurunan melambat dan kelembapan cenderung stabil mendekati rentang 30–40% setelah pukul 09.31.23. RH_2 dan RH_1 memiliki pola penurunan grafik yang hampir sama karena pada RH_2 tidak terjadi proses kondensasi, sehingga kelembapan turun hanya akibat pengeringan alami di dalam ruang yang tertutup dalam satu siklus sirkulasi. Kondisi ini diperburuk oleh kinerja termoelektrik yang kurang maksimal pada sisi dingin, sehingga kelembapan tidak dapat dikondensasikan secara efektif. Sementara itu, RH_3 menunjukkan nilai kelembapan lebih rendah, ini membuktikan bahwa pengeringan dapat berjalan baik.

4.8.2 Grafik data temperatur pengujian biji kopi selama 10 jam

Grafik temperatur menunjukkan perubahan temperatur pada empat titik penting selama proses pengeringan biji kopi menggunakan sistem termoelektrik, yaitu T_1 , T_2 , T_3 dan TR. Yang ditunjukkan pada gambar 4.17

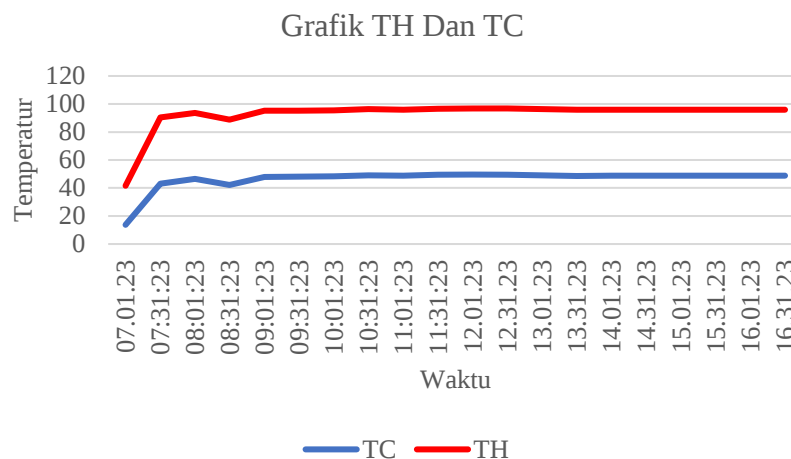


Gambar 4. 17 Grafik temperatur pada pengujian 10 jam

Grafik Temperatur menunjukkan perubahan suhu empat titik pengukuran T_1 , T_2 , T_3 dan TR. Terhadap waktu mulai pukul 07.01.23 hingga 16.31.23, di mana seluruh sensor mengalami kenaikan suhu yang tajam pada jam pertama dari sekitar 25–30 °C menjadi lebih dari 50 °C, kemudian suhu perlahan naik dan stabil hingga akhir pengamatan. T_3 mencatat suhu tertinggi sepanjang waktu dengan nilai mendekati 65 °C, menunjukkan area tersebut menerima pemanasan lebih intensif, T_2 menunjukkan temperatur pada sisi dingin modul Peltier, yang seharusnya menjadi tempat kondensasi uap air. Namun, terlihat bahwa T_2 tidak mencapai temperatur rendah yang diharapkan, justru stabil di kisaran 52–55 °C. Hal ini menunjukkan bahwa sisi dingin tidak bekerja secara efektif. Kemungkinan besar disebabkan oleh desain sistem yang tertutup, menyebabkan udara panas dari sisi panas Peltier ikut masuk ke sisi dingin, sehingga temperatur sisi dingin meningkat dan gagal melakukan proses kondensasi secara maksimal. Suhu T_1 dan TR relatif stabil di rentang 55–60 °C setelah pukul 09.31.23, menandakan kondisi pemanasan telah tercapai dan sistem berada dalam keadaan hampir setimbang. Secara keseluruhan, grafik ini memperlihatkan proses pemanasan cepat di awal dan stabilisasi suhu tinggi yang mendukung proses pengeringan di dalam ruang tertutup.

4.8.3 Grafik data TH,TC pengujian biji kopi selama 10 jam

Grafik menunjukkan perubahan temperatur pada sisi panas (TH) dan sisi dingin (TC) dari modul termoelektrik (Peltier) selama proses pengeringan biji kopi. TH menunjukkan temperatur tinggi yang stabil, sementara TC menunjukkan temperatur yang tidak sesuai harapan untuk sisi dingin. Yang ditunjukkan pada gambar 4.18.

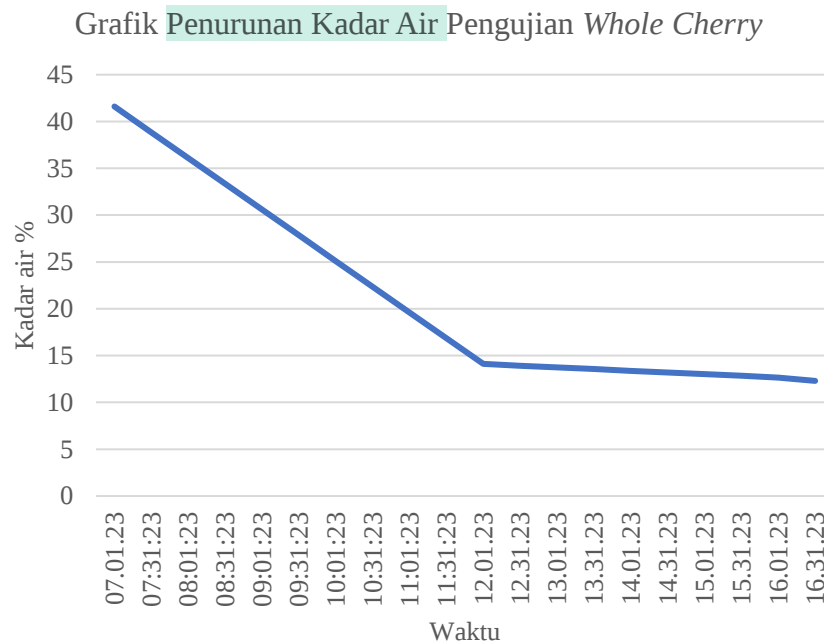


Gambar 4. 18 Grafik data TH,TC pengujian biji kopi selama 10 jam

TH (sisi panas) mengalami peningkatan temperatur yang signifikan pada awal proses, mencapai sekitar 100°C, dan selanjutnya stabil di kisaran tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa modul Peltier berhasil menghasilkan panas secara konsisten untuk mendukung proses pengeringan biji kopi. TC (sisi dingin), yang seharusnya menunjukkan temperatur lebih rendah, justru stabil pada temperatur tinggi sekitar 50°C. Ini menandakan bahwa proses pendinginan di sisi dingin tidak berjalan optimal. Penyebab utama kondisi ini adalah karena sistem menggunakan siklus udara tertutup, di mana udara panas dari proses pengeringan kembali melewati sisi dingin. Akibatnya, udara panas malah memanaskan cold sink, sehingga temperatur TC menjadi tinggi dan tidak efektif sebagai pendingin.

4.8.4 Grafik penurunan kadar air selama 10 jam

Berdasarkan grafik yang ditampilkan pada gambar 4.16, kadar air biji kopi *whole cherry* mengalami penurunan signifikan dari nilai awal sekitar 41,6 % hingga mencapai 12,3 % pada akhir proses pengeringan yang ditunjukkan pada gambar 4.19.



Gambar 4. 19 Grafik penurunan kadar air pengujian 10 jam

Fase awal menunjukkan laju penurunan kadar air yang relatif cepat, yang umumnya disebabkan oleh penguapan air bebas pada permukaan biji kopi akibat perbedaan suhu dan kelembapan antara udara pengering dan material. Seiring waktu, kecepatan penurunan kadar air mulai melambat, sebagaimana terlihat dari garis grafik yang semakin landai. Hal ini menunjukkan transisi dari penguapan air bebas menuju proses pelepasan air terikat di dalam struktur biji kopi, yang memerlukan waktu lebih lama untuk keluar. Secara keseluruhan, pola penurunan kadar air tersebut mencerminkan efektivitas proses pengeringan dalam menurunkan kadar air hingga batas yang lebih stabil dan sesuai dengan standar penyimpanan. Kondisi akhir menunjukkan kadar air telah berada dalam kisaran yang aman untuk mencegah pertumbuhan mikroorganisme dan mempertahankan mutu biji kopi.

4.8.5 Diagram psikometrik pengujian biji kopi selama 10 jam

Diagram psikrometrik merupakan digunakan untuk mengetahui sifat-sifat campuran udara dengan uap air, dan ini mempunyai arti yang sangat penting dalam pengkondisian udara, pada sistem ini kandungan uap air dalam kabin di kurangi atau *dehumidifikasi*. Sehingga diagram psikrometrik untuk pengujian selama 10 jam dapat digambarkan seperti pada gambar 4.17.

1. Data pada pengujian 1,5 jam pertama

$T_1 = 53,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur keluar kabin)
$T_2 = 51,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur kondensasi)
$T_3 = 59,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur masuk kabin)
$RH_1 = 47,4 \text{ } \%$	(RH keluar kabin)
$RH_2 = 47,4 \text{ } \%$	(RH kondensasi)
$RH_3 = 32,9 \text{ } \%$	(RH masuk kabin)

2. Data pada pengujian 1,5 jam kedua

$T_1 = 53,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur keluar kabin)
$T_2 = 51,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur kondensasi)
$T_3 = 59,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur masuk kabin)
$RH_1 = 38,8 \text{ } \%$	(RH keluar kabin)
$RH_2 = 38,7 \text{ } \%$	(RH kondensasi)
$RH_3 = 27,2 \text{ } \%$	(RH masuk kabin)

3. Data pada pengujian 1,5 jam ketiga

$T_1 = 53,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur keluar kabin)
$T_2 = 51,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur kondensasi)
$T_3 = 59,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur masuk kabin)
$RH_1 = 37,3 \text{ } \%$	(RH keluar kabin)
$RH_2 = 28,8 \text{ } \%$	(RH kondensasi)
$RH_3 = 25,6 \text{ } \%$	(RH masuk kabin)

4. Data pada pengujian 1,5 jam keempat

$T_1 = 53,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur keluar kabin)
$T_2 = 51,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur kondensasi)
$T_3 = 59,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur masuk kabin)
$RH_1 = 38,8 \text{ } \%$	(RH keluar kabin)
$RH_2 = 35 \text{ } \%$	(RH kondensasi)
$RH_3 = 24,2 \text{ } \%$	(RH masuk kabin)

5. Data pada pengujian 1,5 jam kelima

$T_1 = 53,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur keluar kabin)
---------------------------------------	-----------------------------

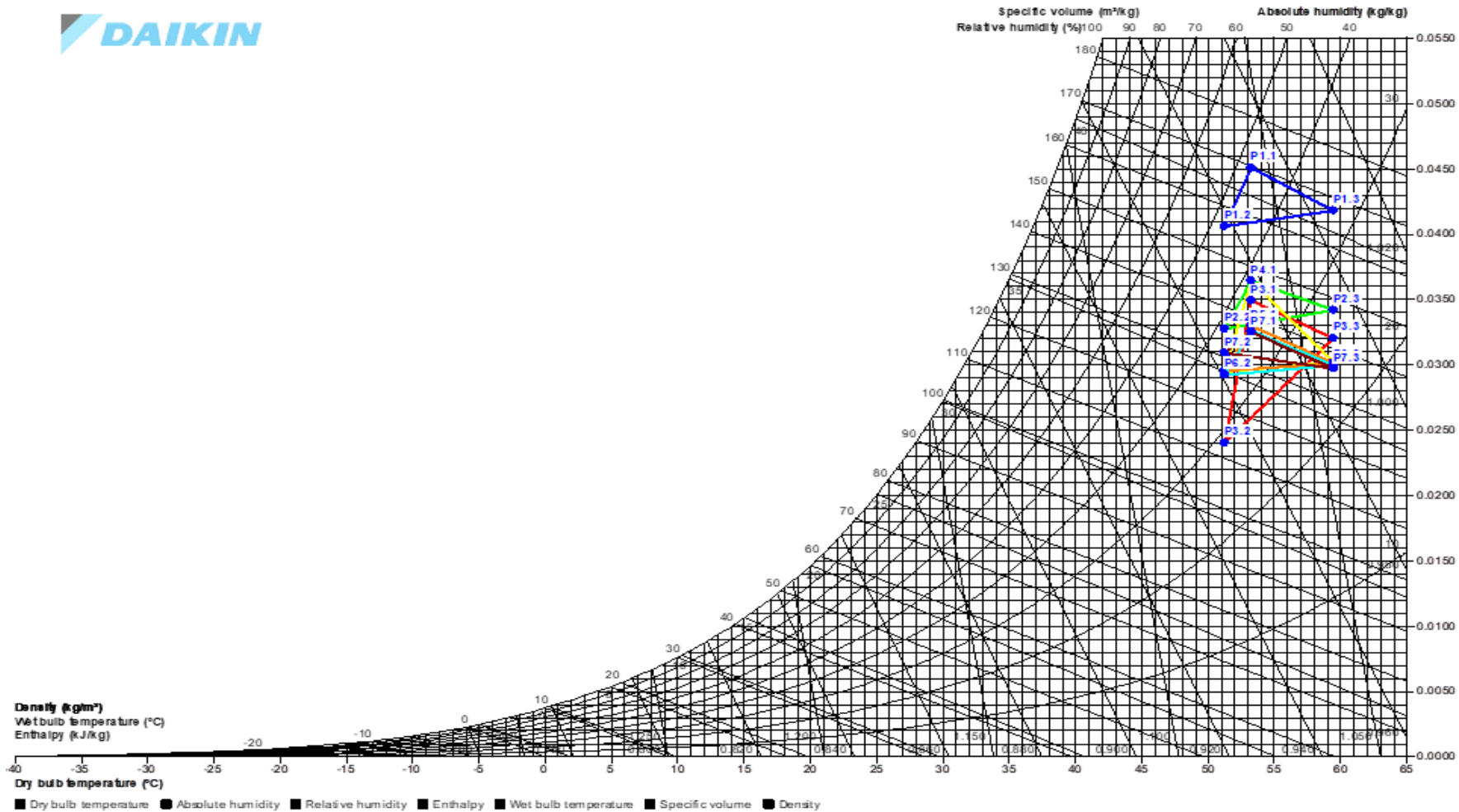
$T_2 = 51,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur kondensasi)
$T_3 = 59,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur masuk kabin)
$RH_1 = 35,3 \text{ } \%$	(RH keluar kabin)
$RH_2 = 35,1 \text{ } \%$	(RH kondensasi)
$RH_3 = 24,1 \text{ } \%$	(RH masuk kabin)

6. Data pada pengujian 1,5 jam keenam

$T_1 = 53,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur keluar kabin)
$T_2 = 51,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur kondensasi)
$T_3 = 59,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur masuk kabin)
$RH_1 = 34,9 \text{ } \%$	(RH keluar kabin)
$RH_2 = 34,7 \text{ } \%$	(RH kondensasi)
$RH_3 = 24 \text{ } \%$	(RH masuk kabin)

7. Data pada pengujian 1 jam ketujuh

$T_1 = 53,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur keluar kabin)
$T_2 = 51,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur kondensasi)
$T_3 = 59,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur masuk kabin)
$RH_1 = 34,8 \text{ } \%$	(RH keluar kabin)
$RH_2 = 36,6 \text{ } \%$	(RH kondensasi)
$RH_3 = 23,8 \text{ } \%$	(RH masuk kabin)



Gambar 4. 20 Diagram psikometrik whole chery

Adapun keterangan pada diagram psikrometrik yaitu:

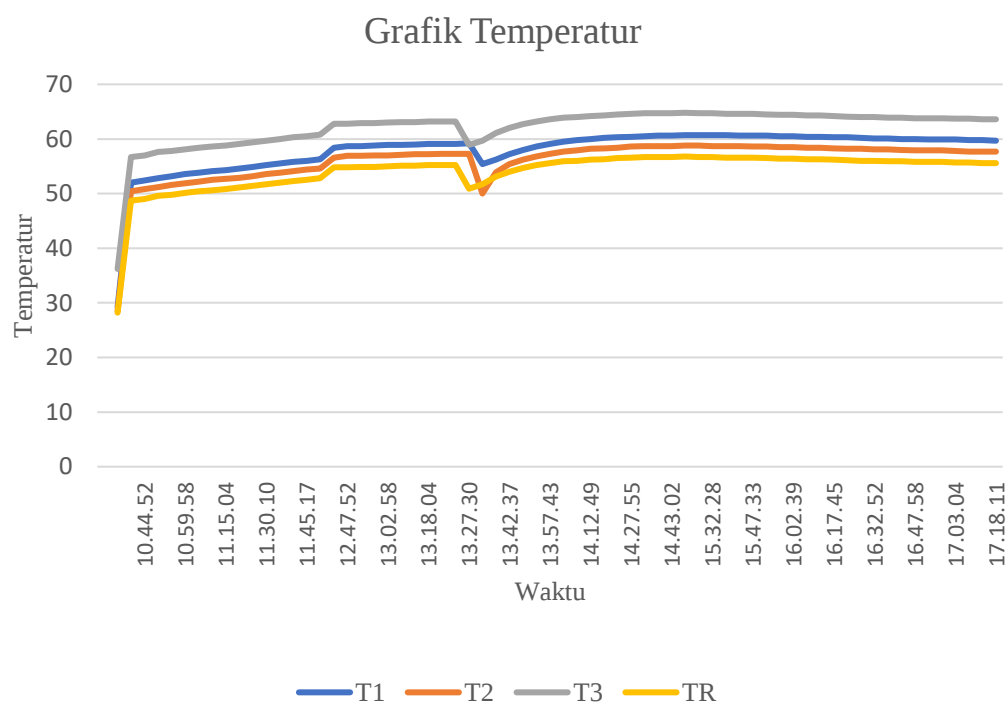
1. Garis berwarna biru merupakan kondisi saat mesin *on* 1,5 jam pertama dengan temperatur dan kelembaban udara masuk kabin yaitu 53,2 °C / 47,4 %, temperatur dan kelembaban kondensasi 51,2 °C / 47,4 % dan temperatur dan kelembaban keluar kabin 59,4 °C / 32,9 %.
2. Garis berwarna hijau merupakan kondisi saat mesin *on* 1,5 jam kedua dengan temperatur dan kelembaban udara masuk kabin yaitu 53,2 °C / 32,4 %, temperatur dan kelembaban kondensasi 51,2 °C / 38,7 % dan temperatur dan kelembaban keluar kabin 59,4 °C / 27,2 %
3. Garis berwarna merah merupakan kondisi saat mesin *on* 1,5 jam ketiga dengan temperatur dan kelembaban udara masuk kabin yaitu 53,2 °C / 37,3 %, temperatur dan kelembaban kondensasi 51,2 °C / 28,8 % dan temperatur dan kelembaban keluar kabin 59,4 °C / 25,6 %
4. Garis berwarna kuning merupakan kondisi saat mesin *on* 1,5 jam keempat dengan temperatur dan kelembaban udara masuk kabin yaitu 53,2 °C / 38,8 %, temperatur dan kelembaban kondensasi 51,2 °C / 35 % dan temperatur dan kelembaban keluar kabin 59,4 °C / 24,4 %
5. Garis berwarna coklat merupakan kondisi saat mesin *on* 1,5 jam keempat dengan temperatur dan kelembaban udara masuk kabin yaitu 53,2 °C / 35,3 %, temperatur dan kelembaban kondensasi 51,2 °C / 35,1 % dan temperatur dan kelembaban keluar kabin 59,4 °C / 24,1 %
6. Garis berwarna biru muda merupakan kondisi saat mesin *on* 1 jam keempat dengan temperatur dan kelembaban udara masuk kabin yaitu 53,2 °C / 28,8 %, temperatur dan kelembaban kondensasi 51,2 °C / 27,7 % dan temperatur dan kelembaban keluar kabin 59,4 °C / 19,3 %
7. Garis berwarna coklat tua merupakan kondisi saat mesin *on* 1 jam keempat dengan temperatur dan kelembaban udara masuk kabin yaitu 53,2 °C / 34,8 %, temperatur dan kelembaban kondensasi 51,2 °C / 36,6 % dan temperatur dan kelembaban keluar kabin 59,4 °C / 23,8 %

4.9 Pembahasan Pengujian Biji Kopi (*Parchment Coffee*)

Pada pembahasan pengujian biji kopi *whole cherry* ini meliputi tentang grafik data penurunan kelembapan, grafik data temperatur ruangan, grafik data sisi panas dan sisi dingin dari termoelektrik dan grafik penurunan kadar air biji kopi *whole cherry*

4.9.1 Grafik data temperatur pada pengujian selama 7 jam

Gambar 4.20 menunjukkan grafik perubahan temperatur dari empat titik pengukuran pada sistem pengering selama pengujian berlangsung, yaitu T_1 (udara keluar), T_2 (temperatur sisi dingin atau kondensasi), T_3 (udara masuk), dan TR (temperatur ruang pengering) yang ditunjukkan pada gambar 4.21.



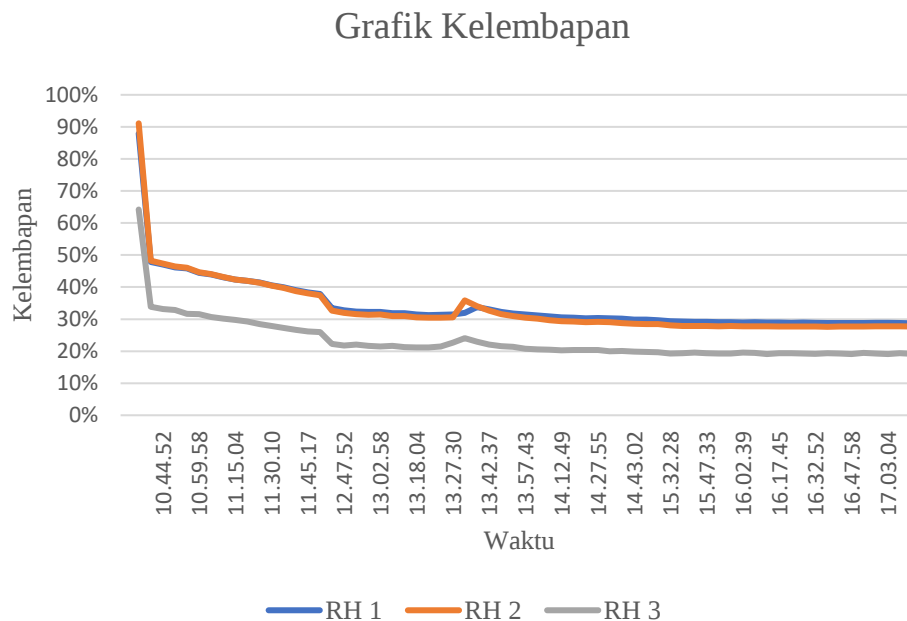
Gambar 4. 21 Grafik temperatur pengujian *parchment coffee*

Temperatur T_1 menunjukkan grafik peningkatan tajam dari awal pengujian sekitar 30 °C hingga mencapai lebih dari 60 °C pada pukul 10.59.52, kemudian relatif stabil hingga akhir pengamatan. Kenaikan ini mengindikasikan bahwa udara yang keluar dari ruang pengering telah menerima suplai panas yang cukup besar secara cepat, sehingga proses transfer panas dari sumber pemanas ke aliran udara berjalan efektif. Temperatur T_1 yang tinggi ini berperan penting dalam membantu

membawa uap air keluar dari bahan yang dikeringkan. Temperatur T_2 seharusnya mencerminkan suhu pada sisi coldsink atau permukaan pendingin dari modul termoelektrik yang idealnya berada lebih rendah dibanding suhu ruang pengering. Namun, pada grafik terlihat bahwa T_2 juga mengalami kenaikan signifikan mendekati suhu T_1 dan TR, bahkan sempat turun sesaat sekitar pukul 13.27.39 sebelum kembali stabil mendekati 60 °C. Hal ini menunjukkan bahwa sisi dingin tidak bekerja secara optimal karena udara panas dari sisi hotsink kembali bersirkulasi ke area pendinginan akibat sistem yang berada dalam satu siklus tertutup, sehingga proses kondensasi tidak berlangsung secara efektif. Temperatur T_3 menunjukkan nilai tertinggi dibanding ketiga parameter lainnya, dengan suhu yang meningkat cepat hingga mendekati 65 °C dan relatif stabil sepanjang pengujian. Nilai ini menggambarkan kondisi udara setelah dipanaskan sebelum masuk ke ruang pengering. Suhu yang tinggi dan konsisten pada titik ini menunjukkan sistem pemanas bekerja secara terus-menerus untuk menghasilkan aliran udara panas yang diperlukan dalam mendukung proses penguapan air dari bahan yang dikeringkan. Temperatur TR mencerminkan suhu udara di dalam ruang pengering yang juga mengalami peningkatan stabil hingga mendekati 60 °C, sejalan dengan tren kenaikan T_1 dan T_3 . Kestabilan temperatur TR pada rentang tinggi ini menunjukkan proses pemanasan berjalan efektif dalam mempertahankan suhu ruang pengering pada kisaran optimal, sehingga proses pengeringan dapat berlangsung secara efisien tanpa fluktuasi suhu yang ekstrem.

4.9.2 Grafik data kelembapan pada pengujian selama 7 jam

Gambar 4.27 memperlihatkan perubahan kelembapan relatif dari tiga titik pengukuran, yaitu RH_1 (udara keluar), RH_2 (kondensasi), dan RH_3 (udara masuk) selama proses pengeringan berlangsung, dengan waktu pengamatan dari pukul 09.44.28 hingga 16.44.28 dan interval setiap 30 menit yang ditunjukkan pada gambar 4.22

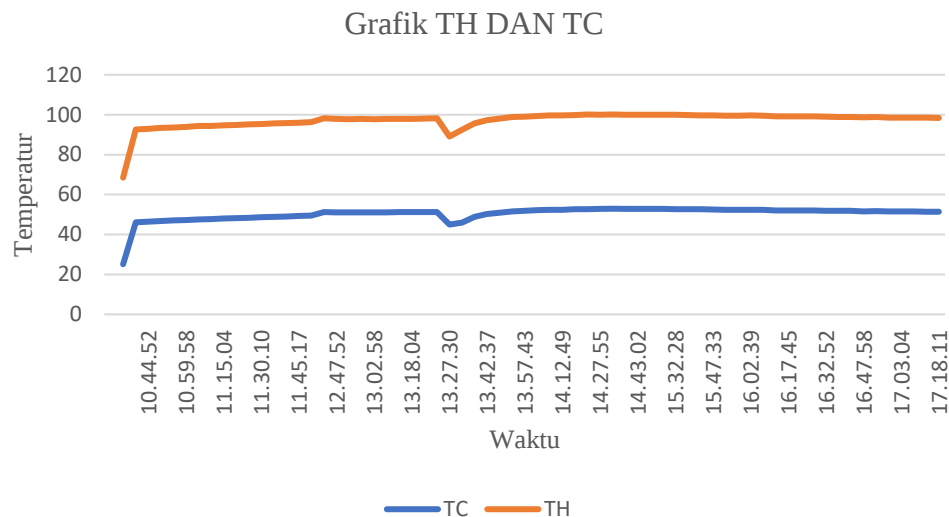


Gambar 4. 22 Grafik penurunan kelembapan pengujian *parchment coffee*

Kelembapan RH_1 menunjukkan penurunan yang sangat tajam pada awal pengujian dari sekitar 90% menjadi sekitar 45% pada pukul 10.59.58, kemudian terus menurun perlahan hingga stabil mendekati 30% sampai akhir pengamatan. Penurunan kelembapan ini mengindikasikan bahwa udara keluar dari ruang pengering telah mengalami proses pelepasan uap air secara bertahap akibat suhu tinggi yang konsisten, mendukung proses pengeringan bahan secara efektif. Kelembapan RH_2 mencerminkan kelembapan pada sisi coldsink yang seharusnya lebih rendah dibanding titik lain akibat proses kondensasi, namun pada grafik terlihat RH_2 tetap tinggi mendekati RH_1 bahkan sempat naik kembali sekitar pukul 13.27.37. Kondisi ini menunjukkan proses kondensasi tidak berjalan secara efektif karena sistem berada dalam siklus tertutup, sehingga uap air tidak banyak terakumulasi di sisi dingin dan kelembapan tetap relatif tinggi. Kelembapan RH_3 mencatat nilai kelembapan terendah di antara ketiga parameter, dengan penurunan cepat hingga mendekati 30% pada awal pengujian dan terus turun stabil hingga mendekati 20% sampai akhir pengamatan. Tren ini menunjukkan bahwa area RH_3 , yang kemungkinan terletak lebih dekat dengan aliran udara kering atau suhu lebih tinggi, menjadi titik pengeringan paling efektif di dalam sistem.

4.9.3 Grafik data TH dan TC pada pengujian selama 7 jam

Gambar 4.28 memperlihatkan grafik perubahan temperatur sisi panas (TH) dan sisi dingin (TC) pada modul termoelektrik selama proses pengujian berlangsung. Pengukuran dilakukan dari pukul 09.44.28 hingga 16.44.28 dengan interval waktu setiap 30 menit yang ditunjukkan pada gambar 4.23.

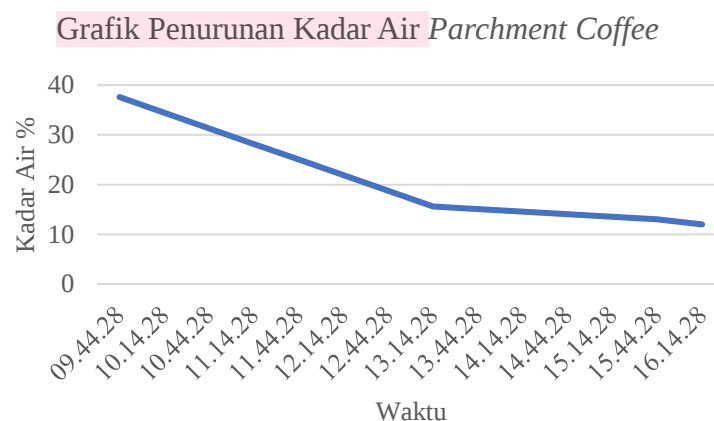


Gambar 4. 23 Grafik TH dan TC biji kopi pengujian *parchment coffee*

Temperatur sisi panas (TH) menunjukkan peningkatan yang sangat signifikan pada awal pengujian. Mulai dari sekitar 30°C, suhu meningkat tajam hingga hampir 95°C pada pukul 10.44.28. Setelah itu, TH cenderung stabil dengan sedikit fluktuasi di kisaran 97–99°C hingga akhir pengujian. Nilai ini menunjukkan bahwa modul termoelektrik bekerja secara intensif pada sisi panas, menyerap dan melepaskan energi panas secara terus-menerus. Temperatur tinggi pada sisi panas ini mendukung proses pemanasan udara dalam ruang pengering. Sisi dingin (TC) idealnya memiliki suhu yang lebih rendah dari sisi panas, namun berdasarkan grafik terlihat bahwa TC juga mengalami peningkatan dari 30°C menjadi sekitar 52°C dan kemudian cenderung stabil. Kenaikan ini tidak sebanding dengan peningkatan TH, sehingga selisih suhu antara sisi panas dan dingin (ΔT) mengecil, yang akan berdampak pada penurunan kinerja termoelektrik (COP menurun). Hal ini mengindikasikan bahwa sisi dingin tidak bekerja secara efektif, disebabkan oleh siklus yang tertutup. Akibatnya, panas dari sisi panas dapat merambat kembali ke sisi dingin dan meningkatkan suhunya.

4.9.4 Grafik penurunan kadar air

Berdasarkan grafik yang ditampilkan pada gambar 4.16. Penurunan kadar air biji kopi jenis *parchment coffee* dengan kadar air awal tercatat sekitar 37,6 % kemudian menurun secara bertahap hingga mencapai kadar akhir 12% yang ditunjukkan pada gambar 4.24.



Gambar 4. 24 Grafik penurunan kadar air *parchment coffee*

Pada tahap awal, penurunan kadar air terjadi dengan laju yang relatif cepat, yang diindikasikan oleh kemiringan grafik yang cukup curam. Fenomena ini disebabkan oleh proses penguapan air bebas yang terdapat di permukaan dan rongga antar sel biji kopi. Setelah memasuki jam pengeringan berikutnya, laju pengeringan mulai menurun, ditandai dengan grafik yang semakin mendatar. Hal tersebut berkaitan dengan berkurangnya kandungan air bebas dan meningkatnya dominasi air terikat yang memerlukan waktu lebih lama untuk dihilangkan. Penurunan kadar air secara progresif hingga di bawah 13% menunjukkan proses pengeringan telah berlangsung efektif. Kondisi kadar air akhir ini sesuai dengan standar mutu penyimpanan biji kopi parchment, yang ditujukan untuk mencegah pertumbuhan jamur dan memperpanjang umur simpan bahan.

4.9.5 Diagram psikometrik pengujian selama 7 jam

Diagram psikrometrik merupakan digunakan untuk mengetahui sifat-sifat campuran udara dengan uap air, dan ini mempunyai arti yang sangat penting dalam pengkondisian udara, pada sistem ini kandungan uap air dalam kabin di kurangi

atau *dehumidifikasi*. Sehingga diagram psikrometrik untuk pengujian selama 7 jam dapat digambarkan seperti pada gambar 4.17.

1. Data pada pengujian 1,5 jam pertama

$T_1 = 54,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur keluar kabin)
$T_2 = 52,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur kondensasi)
$T_3 = 59,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur masuk kabin)
$RH_1 = 47,8 \%$	(RH keluar kabin)
$RH_2 = 48,2 \%$	(RH kondensasi)
$RH_3 = 33,9 \%$	(RH masuk kabin)

2. Data pada pengujian 1,5 jam kedua

$T_1 = 54,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur keluar kabin)
$T_2 = 52,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur kondensasi)
$T_3 = 59,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur masuk kabin)
$RH_1 = 32,4 \%$	(RH keluar kabin)
$RH_2 = 31,6 \%$	(RH kondensasi)
$RH_3 = 22 \%$	(RH masuk kabin)

3. Data pada pengujian 1,5 jam ketiga

$T_1 = 54,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur keluar kabin)
$T_2 = 52,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur kondensasi)
$T_3 = 59,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur masuk kabin)
$RH_1 = 30,2\%$	(RH keluar kabin)
$RH_2 = 28,8 \%$	(RH kondensasi)
$RH_3 = 20,1 \%$	(RH masuk kabin)

4. Data pada pengujian 1,5 jam keempat

$T_1 = 54,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur keluar kabin)
$T_2 = 52,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur kondensasi)
$T_3 = 59,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$	(Temperatur masuk kabin)
$RH_1 = 28,9 \%$	(RH keluar kabin)
$RH_2 = 27,7 \%$	(RH kondensasi)
$RH_3 = 19,2 \%$	(RH masuk kabin)

5. Data pada pengujian 1 jam kelima

$T_1 = 54,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Temperatur keluar kabin)

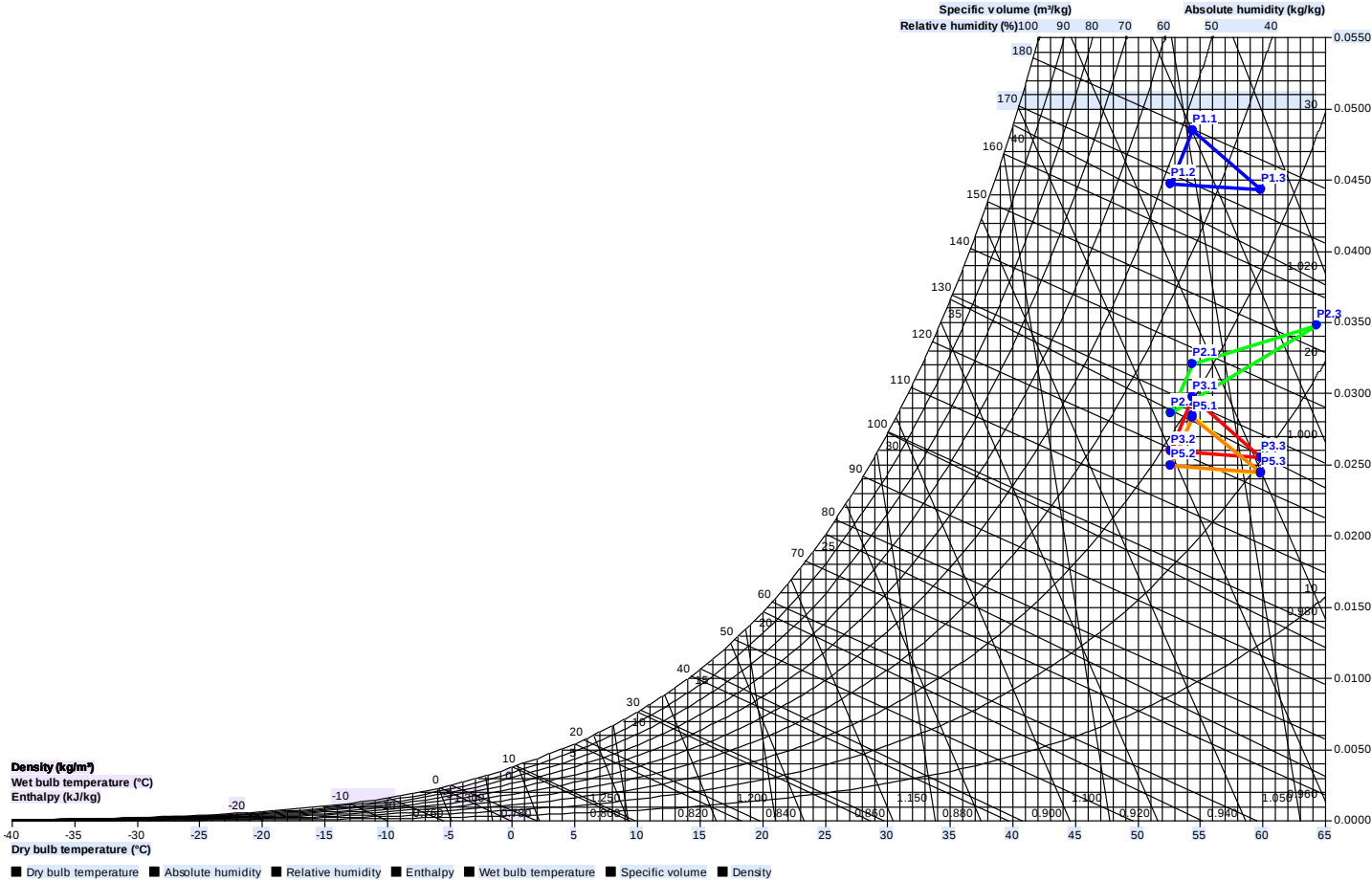
$T_2 = 52,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Temperatur kondensasi)

$T_3 = 59,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Temperatur masuk kabin)

$RH_1 = 28,8 \%$ (RH keluar kabin)

$RH_2 = 27,7 \%$ (RH kondensasi)

$RH_3 = 19,3 \%$ (RH masuk kabin)



Gambar 4. 25 Diagram psikometrik *parchment coffee*

Adapun keterangan pada diagram psikrometrik yaitu:

8. Garis berwarna biru merupakan kondisi saat mesin *on* 1,5 jam pertama dengan temperatur dan kelembaban udara masuk kabin yaitu 54,4 °C / 47,8 %, temperatur dan kelembaban kondensasi 52,7 °C / 48,2 % dan temperatur dan kelembaban keluar kabin 59,9 °C / 33,9 %
9. Garis berwarna hijau merupakan kondisi saat mesin *on* 1,5 jam kedua dengan temperatur dan kelembaban udara masuk kabin yaitu 54,4 °C / 32,4 %, temperatur dan kelembaban kondensasi 52,7 °C / 31,6 % dan temperatur dan kelembaban keluar kabin 59,9 °C / 22 %
10. Garis berwarna merah merupakan kondisi saat mesin *on* 1,5 jam ketiga dengan temperatur dan kelembaban udara masuk kabin yaitu 54,4 °C / 30,2 %, temperatur dan kelembaban kondensasi 52,7 °C / 28,8 % dan temperatur dan kelembaban keluar kabin 59,9 °C / 20,1 %
11. Garis berwarna kuning merupakan kondisi saat mesin *on* 1,5 jam keempat dengan temperatur dan kelembaban udara masuk kabin yaitu 54,4 °C / 28,9 %, temperatur dan kelembaban kondensasi 52,7 °C / 27,7 % dan temperatur dan kelembaban keluar kabin 59,9 °C / 19,2 %
12. Garis berwarna cokelat merupakan kondisi saat mesin *on* 1 jam keempat dengan temperatur dan kelembaban udara masuk kabin yaitu 54,4 °C / 28,8 %, temperatur dan kelembaban kondensasi 52,7 °C / 27,7 % dan temperatur dan kelembaban keluar kabin 59,9 °C / 19,3 %

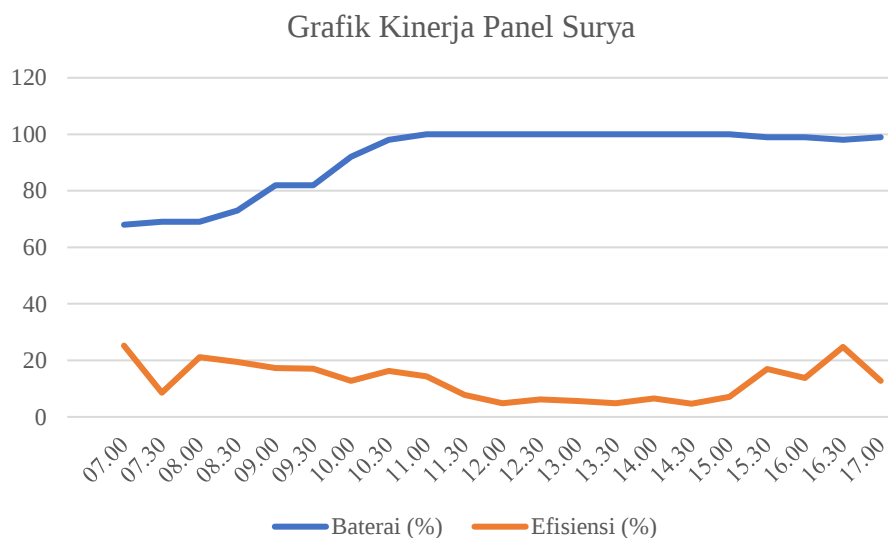
Data diagram psikrometrik menggambarkan penurunan pada kelembaban masuk kabin dan kelembaban keluar kabin setiap jam nya, pada saat penurunan kelembaban tersebut udara dalam kabin mengalami proses pengurangan uap air atau biasa disebut dengan proses *dehumidifikasi*.

4.10 Pembahasan Grafik Panel Surya

Grafik kinerja panel surya menunjukkan bagaimana daya baterai dan efisiensi sistem panel surya berfluktuasi selama proses pengeringan pada pengujian biji kopi *whole cherry* dan *parchment coffee*.

4.10.1 Grafik panel surya pengujian biji kopi *whole cherry*

Gambar 4.26 menunjukkan hubungan antara tingkat pengisian baterai (%) dan efisiensi panel surya (%) terhadap waktu selama proses pengeringan berlangsung, dimulai dari pukul 07.00 hingga 17.00 WITA. Terlihat bahwa tingkat pengisian baterai mengalami peningkatan secara signifikan pada pagi hari, dimulai dari sekitar 68% dan mencapai 100% pada pukul 11.00 WITA. Setelah baterai penuh, grafik menunjukkan kecenderungan sedikit penurunan akibat konsumsi energi oleh sistem pengering.

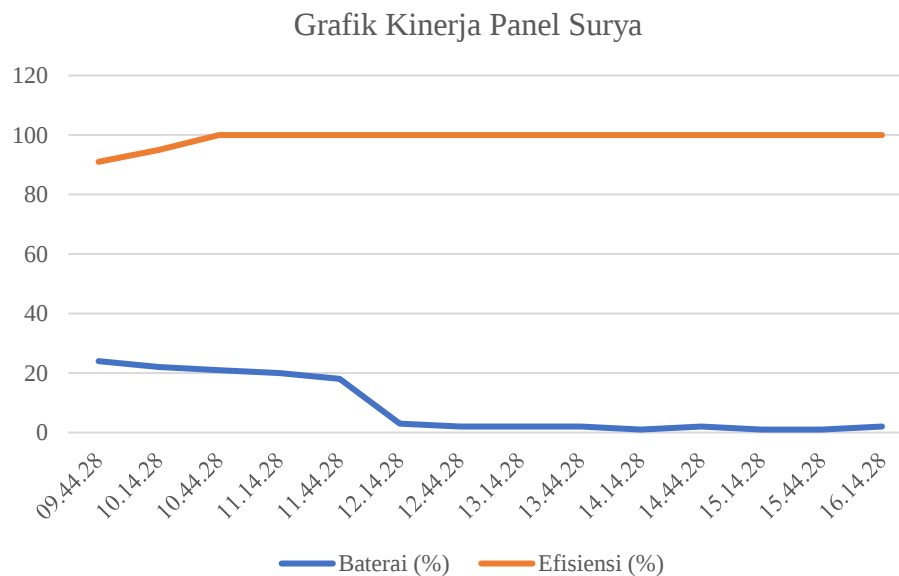


Gambar 4. 26 Grafik kinerja panel surya pada pengujian *whole cherry*

Sementara itu, efisiensi panel surya menunjukkan fluktuasi sepanjang waktu. Nilai efisiensi tertinggi terjadi pada pukul 07.00–07.30, dan kemudian cenderung menurun secara bertahap hingga siang hari. Penurunan efisiensi ini dipengaruhi oleh kondisi baterai yang telah mencapai kapasitas maksimum, sehingga daya yang dihasilkan panel tidak dapat disalurkan maupun disimpan. Akibatnya, sebagian besar energi dari panel menjadi tidak termanfaatkan secara optimal, yang tercermin dari rendahnya nilai efisiensi yang ditampilkan.

4.10.2 Grafik panel surya pengujian biji kopi *parchment coffee*

Gambar 4.27 menampilkan dua parameter penting dalam sistem panel surya, yaitu persentase daya baterai (%) dan efisiensi panel surya (%) selama proses pengeringan berlangsung, dimulai dari pukul 09.44 hingga 16.44 WITA.



Gambar 4. 27 Grafik kinerja panel surya *parchment coffee*

Pada grafik tersebut, daya baterai menunjukkan tren menurun dari awal pengujian hingga sore hari. Daya baterai awal sebesar 25% terus menurun secara bertahap hingga mendekati 0% pada sekitar pukul 12.44. Setelah itu, daya baterai terlihat tetap rendah dan stabil di bawah 5% hingga akhir pengamatan. Penurunan daya ini menunjukkan bahwa energi dari baterai terus digunakan oleh sistem pengering, sementara pasokan energi dari panel surya tidak mencukupi untuk mengisi ulang baterai secara efektif.

Sementara itu, efisiensi panel surya terlihat tetap tinggi dan stabil, berada pada angka mendekati 100% sepanjang waktu pengujian. Nilai ini menunjukkan bahwa panel surya sebenarnya masih mampu menghasilkan daya dengan baik. Namun, karena baterai telah mencapai kapasitas penuh pada awalnya atau tidak mampu menyimpan energi dengan optimal, maka energi yang dihasilkan tidak tersimpan dengan baik, menyebabkan sistem tidak dapat memanfaatkannya lebih lanjut untuk pengisian ulang.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis kinerja mesin pengering biji kopi berbasis termoelektrik dengan sumber energi dari panel surya, maka dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Kinerja mesin pengering menggunakan termoelektrik

Kinerja mesin pengering diuji menggunakan dua jenis bahan baku, yaitu biji kopi *whole cherry* dan *parchment coffee*. Pada pengujian menggunakan biji kopi *whole cherry*, mesin pengering termoelektrik mampu menurunkan kadar air dari 41,6% menjadi 12,3% selama proses pengeringan selama 10 jam. Nilai efisiensi termal yang tercapai adalah 49%, Efisiensi pengeringan sebesar 35. Nilai *Coefficient of Performance* (COP) tercatat sebesar 0,35, Laju aliran massa pengeringan adalah 0,0579 kg/jam, sedangkan *Specific Moisture Extraction Rate* (SMER) sebesar 0,0218 kg/kWh, Kekurangan dalam pengujian ini antara lain masih rendahnya nilai COP dan SMER yang menandakan konversi energi belum optimal serta perlunya perbaikan dalam distribusi suhu agar pengeringan lebih merata.

Pada pengujian menggunakan biji kopi *parchment coffee*, mesin pengering berhasil menurunkan kadar air dari 37,6% menjadi 12% dalam waktu 7 jam. Nilai efisiensi termal yang diperoleh sebesar 44%, Efisiensi pengeringan mencapai 58%, lebih tinggi dibandingkan pengujian *whole cherry*, menandakan pemanfaatan panas lebih optimal untuk proses penguapan air dari bahan. COP sebesar 0,58 menunjukkan efisiensi sistem yang lebih baik dalam hal penggunaan energi listrik. Laju aliran massa pengeringan sebesar 0,097 kg/jam, dan SMER sebesar 0,3368 kg/kWh, menggambarkan sistem mampu menguapkan air lebih banyak dengan energi yang lebih efisien. Hasil ini menunjukkan bahwa pengeringan menggunakan bahan *parchment coffee* memberikan performa yang lebih baik dibandingkan *whole cherry*, baik dari sisi efisiensi maupun kecepatan pengeringan.

2. Kinerja dari panel surya sebagai sumber energi

Pada pengujian *whole cherry*, panel surya menyumbang rata-rata 11,8% dari kebutuhan energi, sedangkan pada *parchment coffee* hanya 5%. Rendahnya kontribusi ini disebabkan oleh baterai yang cepat penuh, sehingga daya dari panel tidak tersalurkan maupun disimpan. Kondisi ini menyebabkan energi matahari tidak termanfaatkan secara optimal. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan sistem penyimpanan energi, seperti penambahan kapasitas baterai atau penerapan beban langsung, agar energi dari panel dapat dimanfaatkan secara maksimal selama proses pengeringan.

5.2 Saran

1. Sebelum melakukan pengujian sebaiknya melakukan pengecekan untuk setiap komponen agar tidak terganggu oleh sistem yang error dari salah 1 komponen yang mengakibatkan kinerja dari mesin pengering tidak maksimal.
2. Jika membuat mesin pengering agar tidak menggunakan termoelektrik dengan bahan yang murah karena berpengaruh pada kinerja dan efisiensi dari mesin pengering, pakailah barang yang sedikit lebih mahal.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Aditama, I. K. A. 2023. *Analisis Integrasi Tec (Peltier Sel) Sebagai Pendingin Panel Surya Pada Alat Pengering Bawang*. Skripsi. Politeknik Negeri Bali, Badung- Bali.
- Ahmed, S., Rahman, S., Haque, E., & Kabir, M. (2022). Post-harvest processing techniques and their effects on coffee bean quality: A review. *Journal of Food Quality*, 2022, Article ID 2409315. <https://doi.org/10.1155/2022/2409315>
- 34 Bitka. 2023. *Mengenal Biji Kopi: Pengertian, Asal, dan Jenis-jenisnya*. Terdapat pada :<https://www.bitkaorigin.com/detail/mengenal-biji-kopi-pengertian-asal-dan-jenis-jenisnya>. Diakses pada 20 Januari 2025.
- 1 Elektrologi. 2015. *Thermoelectric Peltier TEC1-12706*. Terdapat pada <https://elektrologi.iptek.web.id/thermoelectric-peltier-tec1-> Diakses pada 20 Januari 2025.
- 4 Febriana, A., Mulyana, E., Trisno, B. 2024. *Evaluasi Kinerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid Pada Gedung Centre Of Excellence Universitas Pendidikan Indonesia*. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*. 26 : 33 – 34
- Ghosh, S., et al. 2021. "Fundamentals of Coffee Drying Techniques." *International Coffee Research Journal*, 10(2), 23-37.
- 207 Lopes, A. M., et al. 2021. "The Impact of Drying on Coffee Aroma and Flavor." *Journal of Coffee Quality Research*, 18(2), 67-79.
- 1 Mahlia, T.M.I., et al., 2010. Clothes drying from room air conditioning waste heat: thermodynamics investigation. *Arabian Journal for Science and Engineering*. Vol 35 No 1B, 339-351.
- 38 Mere, L.A. 2022. *Analisis Perpindahan Panas Pada Mesin Pengering Daun Kelor Tipe Tray Dryer Menggunakan Lampu Pijar Sebagai Pemanas*. *Jurnal SIMETRIS*. 13 (1) : 3-5.
- Mertayadi, I. M. 2024. *Rancang Bangun Prototype Pengering Jahe Sistem Dehumidifikasi Dengan Menggunakan Thermoelectric*. Skripsi. Politeknik Negeri Bali, Badung-Bali.
- 43 Muttaqin, I., Irhamni, G., Agan, W., 2016. *Analisis rancangan sel surya dengan kapasitas 50 watt untuk penerangan parkir uniska*. *Jurnal Teknik Mesin UNISKA*. 01 : 34 – 37.
- 65 Nugroho, D. A., & Siregar, F. A. (2023). Performance of a thermoelectric coffee bean dryer using renewable energy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1198(1), 012039. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1198/1/012039>

Nurdiana, D. 2020. "Analisis dan Pengembangan Teknologi Pengeringan Biji Kopi." *Jurnal Teknologi Pertanian*, 12(2), 45-50.

Otoklix . 2023. *Yuk, Ketahui Fungsi dan Cara Pakai AVO Meter yang Benar!* Terdapat pada : https://otoklix.com/blog/yuk-ketahui-fungsi-dan-cara-pakai-avo-meter-yang-benar/#google_vignette. Diakses pada 20 Januari 2023.

Prastyo, D., Sutrisno, J., & Hadiyanto. (2021). Comparison of coffee quality and drying efficiency between natural and washed processes using solar dryer. *International Journal of Renewable Energy Development (IJRED)*, 10(3), 545–552. <https://doi.org/10.14710/ijred.2021.39544>

Putra, A. 2021. "Pemanfaatan Energi Terbarukan dalam Industri Pertanian." *Jurnal Energi Terbarukan*. 15(1), 23-30.

Rakusilmu. 2018. *Pengertian Lux Meter Beserta Kegunaan Lengkap Prinsip kerja* terdapat pada <https://rakusilmu.home.blog/2018/11/22/pengertian-lux-meter-beserta-kegunaan-lengkap-prinsip-kerja/> . Diakses pada tanggal 20 Januari 2025.

Sari, R. 2022. "Inovasi Teknologi Termoelektrik untuk Energi Berkelanjutan." *Jurnal Teknik Mesin*, 10(3), 78-85.

Sentrakalibrasiindustri. 2024. *Tips & Trik: Bagaimana Teknik Dalam Penggunaan Alat Ukur stopwatch yang Benar?*. Terdapat pada : <https://www.sentrakalibrasiindustri.com/tag/stopwatch-adalah/>. Diakses pada tanggal 20 januari 2025.

Silva, D. B., & Lima, A. C. 2019. "Effects of Different Drying Methods on the Quality of Coffee Beans." *Journal of Food Science and Technology*, 56(4), 1890-1898.

Siska, Y. 2022 *Pembangkit Listrik Tenaga Surya On Grid* . Terdapat pada : <https://www.indoniaga.co.id/2022/02/pembangkit-listrik-tenaga-surya-on-grid.html>. Diakses tanggal 2 Januari 2025.

Surya U, P . 2016. *Skema Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off Grid*. Terdapat pada : <https://suryautamaputra.co.id/skema-pembangkit-listrik-tenaga-surya-off-grid>. Diakses tanggal 2 januari 2025.

LAMPIRAN

860
APPENDIX 1

TABLE A-15

Properties of air at 1 atm pressure

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Density $\rho, \text{kg/m}^3$	Specific Heat $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Thermal Conductivity $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Thermal Diffusivity $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Dynamic Viscosity $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Kinematic Viscosity $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Prandtl Number Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Note: For ideal gases, the properties c_p , k , μ , and Pr are independent of pressure. The properties ρ , ν , and α at a pressure P (in atm) other than 1 atm are determined by multiplying the values of ρ at the given temperature by P and by dividing ν and α by P .

Source: Data generated from the EES software developed by S. A. Klein and F. L. Alvarado. Original sources: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198; and Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena, and P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

Lampiran 1. Properties of air

854
APPENDIX 1

TABLE A-9

Properties of saturated water

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Saturation Pressure $P_{\text{sat}}, \text{kPa}$	Density $\rho, \text{kg/m}^3$		Enthalpy of Vaporization $h_{\text{fg}}, \text{kJ/kg}$	Specific Heat $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$		Thermal Conductivity $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$		Dynamic Viscosity $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$		Prandtl Number Pr		Volume Expansion Coefficient $\beta, 1/\text{K}$
		Liquid	Vapor		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2501	4217	1854	0.561	0.0171	1.792×10^{-3}	0.922×10^{-5}	13.5	1.00	-0.068×10^{-3}
5	0.8721	999.9	0.0068	2490	4205	1857	0.571	0.0173	1.519×10^{-3}	0.934×10^{-5}	11.2	1.00	0.015×10^{-3}
10	1.2276	999.7	0.0094	2478	4194	1862	0.580	0.0176	1.307×10^{-3}	0.946×10^{-5}	9.45	1.00	0.733×10^{-3}
15	1.7051	999.1	0.0128	2466	4185	1863	0.589	0.0179	1.138×10^{-3}	0.959×10^{-5}	8.09	1.00	0.138×10^{-3}
20	2.339	998.0	0.0173	2454	4182	1867	0.598	0.0182	1.002×10^{-3}	0.973×10^{-5}	7.01	1.00	0.195×10^{-3}
25	3.169	997.0	0.0231	2442	4180	1870	0.607	0.0186	0.891×10^{-3}	0.987×10^{-5}	6.14	1.00	0.247×10^{-3}
30	4.246	996.0	0.0304	2431	4178	1875	0.615	0.0189	0.798×10^{-3}	1.001×10^{-5}	5.42	1.00	0.294×10^{-3}
35	5.628	994.0	0.0397	2419	4178	1880	0.623	0.0192	0.720×10^{-3}	1.016×10^{-5}	4.83	1.00	0.337×10^{-3}
40	7.384	992.1	0.0512	2407	4179	1885	0.631	0.0196	0.653×10^{-3}	1.031×10^{-5}	4.32	1.00	0.377×10^{-3}
45	9.593	990.1	0.0655	2395	4180	1892	0.637	0.0200	0.596×10^{-3}	1.046×10^{-5}	3.91	1.00	0.415×10^{-3}
50	12.35	988.1	0.0831	2383	4181	1900	0.644	0.0204	0.547×10^{-3}	1.062×10^{-5}	3.55	1.00	0.451×10^{-3}
55	15.76	985.2	0.1045	2371	4183	1908	0.649	0.0208	0.504×10^{-3}	1.077×10^{-5}	3.25	1.00	0.484×10^{-3}
60	19.94	983.3	0.1304	2359	4185	1916	0.654	0.0212	0.467×10^{-3}	1.093×10^{-5}	2.99	1.00	0.517×10^{-3}
65	25.03	980.4	0.1614	2346	4187	1926	0.659	0.0216	0.433×10^{-3}	1.110×10^{-5}	2.75	1.00	0.548×10^{-3}
70	31.19	977.5	0.1983	2334	4190	1936	0.663	0.0221	0.404×10^{-3}	1.126×10^{-5}	2.55	1.00	0.578×10^{-3}
75	38.58	974.7	0.2421	2321	4193	1948	0.667	0.0225	0.378×10^{-3}	1.142×10^{-5}	2.38	1.00	0.607×10^{-3}
80	47.39	971.8	0.2935	2309	4197	1962	0.670	0.0230	0.355×10^{-3}	1.159×10^{-5}	2.22	1.00	0.653×10^{-3}
85	57.83	968.1	0.3536	2296	4201	1977	0.673	0.0235	0.333×10^{-3}	1.176×10^{-5}	2.08	1.00	0.670×10^{-3}
90	70.14	965.3	0.4235	2283	4206	1993	0.675	0.0240	0.315×10^{-3}	1.193×10^{-5}	1.96	1.00	0.702×10^{-3}
95	84.55	961.5	0.5045	2270	4212	2010	0.677	0.0246	0.297×10^{-3}	1.210×10^{-5}	1.85	1.00	0.716×10^{-3}
100	101.33	957.9	0.5978	2257	4217	2029	0.679	0.0251	0.282×10^{-3}	1.227×10^{-5}	1.75	1.00	0.750×10^{-3}
110	143.27	950.6	0.8263	2230	4229	2071	0.682	0.0262	0.255×10^{-3}	1.261×10^{-5}	1.58	1.00	0.798×10^{-3}
120	198.53	943.4	1.121	2203	4244	2120	0.683	0.0275	0.232×10^{-3}	1.296×10^{-5}	1.44	1.00	0.858×10^{-3}
130	270.1	934.6	1.496	2174	4263	2177	0.684	0.0288	0.213×10^{-3}	1.330×10^{-5}	1.33	1.01	0.913×10^{-3}
140	361.3	921.7	1.965	2145	4286	2244	0.683	0.0301	0.197×10^{-3}	1.365×10^{-5}	1.24	1.02	0.970×10^{-3}
150	475.8	916.6	2.546	2114	4311	2314	0.682	0.0316	0.183×10^{-3}	1.399×10^{-5}	1.16	1.02	1.025×10^{-3}
160	617.8	907.4	3.256	2083	4340	2420	0.680	0.0331	0.170×10^{-3}	1.434×10^{-5}	1.09	1.05	1.145×10^{-3}
170	791.7	897.7	4.119	2050	4370	2490	0.677	0.0347	0.160×10^{-3}	1.468×10^{-5}	1.03	1.05	1.178×10^{-3}
180	1,002.1	887.3	5.153	2015	4410	2590	0.673	0.0364	0.150×10^{-3}	1.502×10^{-5}	0.983	1.07	1.210×10^{-3}
190	1,254.4	876.4	6.388	1979	4460	2710	0.669	0.0382	0.142×10^{-3}	1.537×10^{-5}	0.947	1.09	1.280×10^{-3}
200	1,553.8	864.3	7.852	1941	4500	2840	0.663	0.0401	0.134×10^{-3}	1.571×10^{-5}	0.910	1.11	1.350×10^{-3}
220	2,318	840.3	11.60	1859	4610	3110	0.650	0.0442	0.122×10^{-3}	1.641×10^{-5}	0.865	1.15	1.520×10^{-3}
240	3,344	813.7	16.73	1767	4760	3520	0.632	0.0487	0.111×10^{-3}	1.712×10^{-5}	0.836	1.24	1.720×10^{-3}
260	4,688	783.7	23.69	1663	4970	4070	0.609	0.0540	0.102×10^{-3}	1.788×10^{-5}	0.832	1.35	2.000×10^{-3}
280	6,412	750.8	33.15	1544	5280	4835	0.581	0.0605	0.094×10^{-3}	1.870×10^{-5}	0.854	1.49	2.380×10^{-3}
300	8,581	713.8	46.15	1405	5750	5980	0.548	0.0695	0.086×10^{-3}	1.965×10^{-5}	0.902	1.69	2.950×10^{-3}
320	11,274	667.1	64.57	1239	6540	7900	0.509	0.0836	0.078×10^{-3}	2.084×10^{-5}	1.00	1.97	
340	14,586	610.5	92.62	1028	8240	11,870	0.469	0.110	0.070×10^{-3}	2.255×10^{-5}	1.23	2.43	
360	18,651	528.3	144.0	720	14,690	25,800	0.427	0.178	0.060×10^{-3}	2.571×10^{-5}	2.06	3.73	
374.14	22,090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043×10^{-3}	4.313×10^{-5}			

Note 1: Kinematic viscosity ν and thermal diffusivity α can be calculated from their definitions, $\nu = \mu/\rho$ and $\alpha = k/\rho c_p = \nu/\text{Pr}$. The temperatures 0.01°C, 100°C, and 374.14°C are the triple-, boiling-, and critical-point temperatures of water, respectively. The properties listed above (except the vapor density) can be used at any pressure with negligible error except at temperatures near the critical-point value.

Note 2: The unit kJ/kg · °C for specific heat is equivalent to kJ/kg · K, and the unit W/m · °C for thermal conductivity is equivalent to W/m · K.

Source: Viscosity and thermal conductivity data are from J. V. Sengers and J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), pp. 1291–1322. Other data are obtained from various sources or calculated.

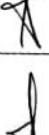
Lampiran 2. Properties of saturated water

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI

POLITEKNIK NEGERI BALI
JURUSAN TEKNIK MESIN

FORM BIMBINGAN PROPOSAL PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK /

NAMA	:	1 Made Arif Pwi Antara
NIM	:	211523 4002
PROGRAM STUDI	:	D4 Teknologi Rekayasa Utilitas
PEMBIMBING	:	1 Nengah Ardita, S.T., M.T.

NO.	TGL/BLN/THN	URAIAN PERKEMBANGAN	PARAF PEMBIMBING
1	11/11/2024	Bimbingan Judul	
2	9/12/2024	Bimbingan Judul	
3	18/12/2024	Bimbingan Judul	
4	23/12/2024	Pembahasan Judul Proposal	
5	15/1/2025	Pembahasan dan Revisi Bab 1-3	
6	21/1/2025	Revisi dan ACC proposal	

Lampiran 3. Lembar bimbingan pembimbing I

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI

POLITEKNIK NEGERI BALI
JURUSAN TEKNIK MESIN

FORM BIMBINGAN PROPOSAL PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK /

NAMA	: IMade Arif Dwi Antara
NIM	: 2115234002
PROGRAM STUDI	: Da Teknologi Pekayara Uhlitas
PEMBIMBING	: Prof. I Dewa Made Cipta Santosa, S.T., M.Sc., Ph.D.

NO.	TGL/BIN/THN	URAIAN PERKEMBANGAN	PARAF PEMBIMBING
1	19/12/2024	Pembahasan Judul	
2	20/1/2025	Revisi Bab 1 - bab 111	
3	22/1/2025	ACC Proposal	

Lampiran 4. Lembar bimbingan pembimbing 2

Lampiran 5 Data temperatur dan kelembapan pengujian *whole cherry* 10 jam

Waktu	T1	T2	T3	Tr	Rh1	Rh2	Rh3	Th	Tc
07:01:23	27,80	27,5	27,9	23,9	84,80%	88,10%	79,50%	14	41,6
07:06:23	27,70	27,6	36,1	32,1	84,80%	86,00%	58,10%	24	66,5
07:11:23	32,90	32,1	41,7	37,7	71,60%	73,70%	50,80%	30	77,5
07:16:23	37,60	36,7	45,5	41,5	64,90%	66,60%	44,10%	36	82,8
07:21:23	41,20	40,1	48,4	44,4	58,30%	59,50%	40,80%	40	86,2
07:26:23	43,90	42,7	50,8	46,8	54,70%	55,50%	38,70%	42	88,5
07:31:23	46,00	44,7	52,3	48,3	52,50%	53,20%	37,10%	43	90,4
07:36:23	47,60	46,3	53,6	49,6	50,60%	51,10%	35,80%	44	91,6
07:41:23	48,80	47,5	54,4	50,4	49,50%	49,90%	28,80%	45	90,4
07:46:23	49,60	47,8	53,6	49,6	42,70%	42,10%	35,40%	42	89,1
07:51:23	49,30	47,5	54,8	50,8	48,30%	49,40%	34,80%	45	91,9
07:56:23	50,30	48,8	55,7	51,7	48,00%	48,30%	34,10%	46	93,3
08:01:23	51,10	49,6	56,3	52,3	47,40%	47,40%	32,90%	47	93,7
08:06:23	51,70	50,2	56,7	52,7	46,30%	46,50%	32,80%	47	94
08:11:23	52,10	50,6	57,1	53,1	45,80%	45,80%	32,20%	47	94,3
08:16:23	52,40	50,9	57,4	53,4	45,40%	45,40%	32,00%	48	94,6
08:21:23	52,60	51,2	57,6	53,6	45,20%	45,20%	25,00%	47	93
08:26:23	52,50	50,5	53	49	37,80%	37,00%	28,20%	39	82,7
08:31:23	48,50	44,2	54,1	50,1	39,60%	44,30%	34,70%	42	88,8
08:36:23	50,00	48,3	55,6	51,6	46,90%	48,10%	33,10%	45	92,4
08:41:23	53,90	52,3	58,6	54,6	40,20%	40,30%	28,20%	48	94,8
08:46:23	54,00	52,4	58,7	54,7	40,20%	40,30%	27,70%	48	95,1
08:51:23	54,00	52,5	58,8	54,8	39,90%	39,80%	27,60%	48	95,2
08:56:23	54,10	52,5	58,8	54,8	39,90%	39,90%	27,50%	48	95,2
09:01:23	54,10	52,5	58,8	54,8	39,40%	39,40%	27,40%	48	95,1
09:06:23	54,20	52,5	58,8	54,8	39,30%	39,30%	27,50%	48	95,1
09:11:23	54,20	52,6	58,8	54,8	39,20%	39,20%	27,10%	48	95,1
09:16:23	54,20	52,6	58,8	54,8	39,00%	39,00%	27,10%	48	95,2
09:21:23	54,20	52,6	58,9	54,9	38,90%	38,90%	27,10%	48	95,3
09:26:23	54,20	52,6	59	55	38,80%	38,90%	27,00%	48	95,2
09:31:23	54,30	52,7	59	55	38,80%	38,70%	27,20%	48	95,1
09:36:23	54,40	52,8	59,1	55,1	38,60%	38,60%	26,40%	48	95,1
09:41:23	54,40	52,8	59,1	55,1	38,40%	38,40%	26,70%	48	95,2
09:46:23	54,40	52,8	59,1	55,1	38,50%	38,60%	26,60%	48	95,4
09:51:23	54,50	52,9	59,2	55,2	38,10%	38,10%	26,60%	48	95,4
09:56:23	54,60	52,9	59,3	55,3	38,10%	38,00%	26,40%	48	95,5
10:01:23	54,60	53	59,4	55,4	37,90%	37,90%	26,50%	48	95,5
10:06:23	54,80	53,1	59,5	55,5	38,10%	38,00%	26,70%	49	95,7
10:11:23	54,90	53,3	59,7	55,7	38,50%	38,40%	26,40%	49	96

10:16:23	55,10	53,5	59,8	55,8	38,10%	37,90%	26,50%	49	96,3
10:21:23	55,20	53,6	60	56	38,20%	38,00%	25,90%	49	96,3
10:26:23	55,30	53,8	60,1	56,1	37,70%	37,40%	25,90%	49	96,3
10:31:23	55,50	53,8	60,2	56,2	37,40%	37,10%	25,60%	49	96,3
10:36:23	55,50	53,9	60,1	56,1	37,30%	37,00%	25,40%	49	96,3
10:41:23	55,50	53,8	60,1	56,1	37,10%	36,80%	25,50%	49	96,3
10:46:23	55,50	53,9	60,1	56,1	37,10%	36,80%	25,80%	49	96,2
10:51:23	55,50	53,9	60,2	56,2	37,50%	37,20%	25,60%	49	96,1
10:56:23	55,60	53,9	60,2	56,2	37,20%	37,00%	25,70%	49	96,1
11:01:23	55,70	53,9	60,3	56,3	37,30%	37,00%	25,60%	49	96
11:06:23	55,70	54	60,3	56,3	37,30%	37,10%	25,60%	49	96,2
11:11:23	55,80	54,1	60,4	56,4	37,20%	36,90%	25,70%	49	96,2
11:16:23	55,90	54,2	60,6	56,6	37,20%	37,00%	25,30%	49	96,4
11:21:23	56,00	54,4	60,7	56,7	37,10%	36,70%	25,10%	49	96,6
11:26:23	56,10	54,5	60,8	56,8	37,00%	36,60%	25,10%	50	96,8
11:31:23	56,30	54,6	60,9	56,9	36,80%	36,30%	24,90%	50	96,6
11:36:23	56,40	54,7	61	57	36,60%	36,20%	24,60%	50	96,8
11:41:23	56,40	54,7	60,9	56,9	36,30%	35,80%	24,80%	50	96,8
11:46:23	56,40	54,7	61	57	36,40%	35,90%	24,70%	50	96,8
11:51:23	56,40	54,7	60,9	56,9	36,10%	35,60%	24,50%	50	96,7
11:56:23	56,40	54,6	60,9	56,9	36,10%	35,70%	24,40%	50	96,7
12:01:23	56,30	54,6	60,8	56,8	35,80%	35,40%	24,20%	49	96,7
12:06:23	56,30	54,6	60,8	56,8	35,70%	35,40%	24,00%	49	96,6
12:11:23	56,30	54,5	60,7	56,7	35,50%	35,10%	24,20%	49	96,3
12:16:23	56,20	54,5	60,7	56,7	35,50%	35,10%	24,10%	49	96,2
12:21:23	56,20	54,4	60,6	56,6	35,40%	35,00%	24,10%	49	96,2
12:26:23	56,20	54,4	60,5	56,5	35,40%	35,20%	24,30%	49	96,3
12:31:23	56,00	54,3	60,4	56,4	35,40%	35,10%	24,00%	49	95,9

Lampiran 6 Data voltase dan ampere 10 jam *whole chery*

N0	Waktu	I	V
1	07:01:23	1,41	220
2	07:31:23	1,32	220
3	08:01:23	1,32	220
4	08:31:23	1,28	220
5	09:01:23	1,25	220
6	09:31:23	1,2	220
7	10:01:23	1,2	220
8	10:31:23	1,25	220
9	11:01:23	1,2	220
10	11:31:23	1,2	220

11	12.01.23	1,2	220
12	12.31.23	1,2	220
13	13.01.23	1,2	220
14	13.31.23	1,2	220
15	14.01.23	1,2	220
16	14.31.23	1,2	220
17	15.01.23	1,2	220
18	15.31.23	1,2	220
19	16.01.23	1,2	220
20	16.31.23	1,2	220

Lampiran 7 Data temperatur dan kelembapan pengujian *whole cherry* 9 jam

Waktu	T1	T2	T3	Rh1	Rh2	Rh3	Th	Tc	Tr
1	27,8	27,5	27,9	84,8%	88,1%	79,5%	13,7	41,6	24,9
2	43,9	42,7	50,8	54,7%	55,5%	38,7%	41,6	88,5	47,8
3	48,8	47,5	54,4	49,5%	49,9%	28,8%	44,7	90,4	51,4
4	51,1	49,6	56,3	47,4%	47,4%	32,9%	46,6	93,7	53,3
5	50,0	48,3	55,6	46,9%	48,1%	33,1%	45,3	92,4	52,6
6	54,1	52,5	58,8	39,4%	39,4%	27,4%	48	95,1	55,8
7	54,2	52,6	59	38,8%	38,9%	27,0%	48,1	95,2	56
8	54,6	52,9	59,3	38,1%	38,0%	26,4%	48,3	95,5	56,3
9	55,1	53,5	59,8	38,1%	37,9%	26,5%	48,9	96,3	56,8
10	55,5	53,9	60,1	37,1%	36,8%	25,8%	49	96,2	57,1
11	55,8	54,1	60,4	37,2%	36,9%	25,7%	49,1	96,2	57,4
12	56,4	54,7	61	36,4%	35,9%	24,7%	49,6	96,8	58
13	56,2	54,5	60,7	35,5%	35,1%	24,1%	49,1	96,2	57,7
14	56,2	54,4	60,6	35,4%	35,0%	24,1%	49,1	96,2	57,6
15	56,2	54,4	60,5	35,4%	35,2%	24,3%	49,1	96,3	57,5
16	56,0	54,3	60,4	35,4%	35,1%	24,0%	48,9	95,9	57,4
17	55,8	54	60,2	35,5%	35,3%	24,4%	48,7	95,8	57,2
18	55,7	53,9	60,2	35,4%	35,2%	24,3%	48,7	95,8	57,2

Lampiran 8 Data voltase dan ampere 9 jam biji kopi *whole cherry*

NO	WAKTU	I	V
1	09.44.28	1,4	220
2	09.49.30	1,4	220
3	10.39.50	1,3	220
4	11.05.00	1,3	220
5	11.30.10	1,3	220
6	12.42.51	1,3	220
7	12.52.54	1,3	220
8	13.18.04	1,3	220
9	13.47.39	1,3	220
10	14.02.45	1,2	220

11	14.38.00	1,2	220
12	15.32.28	1,2	220
13	15.57.37	1,2	220
14	16.12.43	1,2	220
15	16.32.52	1,2	220
16	16.53.00	1,2	220
17	17.08.06	1,2	220
18	17.18.11	1,2	220

Lampiran 9 Data pengujian 6 jam biji kopi *parchment coffee*

No	WAKTU	T1	T2	T3	T3	RH2	RH2	RH3	TC	TH	TR
1	07.04.34	34,5	34,2	39,7	39,7	73,2	75,4	57,6	30	51,9	33,2
2	07.38.27	46,2	38,4	43,9	45,9	55,9	57,8	42,5	37,1	78,5	40,9
3	08.12.20	42,4	41,5	46,1	48,1	54	54,8	49,4	39,4	80,8	42,7
4	08.46.13	42,4	38	44,6	46,6	49,5	53	40,1	37,3	77,9	43,1
5	09.20.06	45,1	44,1	48,8	50,8	49	48,3	35,3	40,5	81,4	45,3
6	09.53.59	44,1	43,3	48,1	50,1	51,1	51,5	34,8	40,2	81,7	44,6
7	10.27.52	45,6	44,4	49,9	51,9	44,9	45,8	33,6	41,9	83,6	46
8	12.09.31	47,1	45,8	51,1	53,1	43,2	43,4	31,4	42,7	84,2	47,2
9	12.43.24	43,5	42,3	47,4	49,4	46,2	47,6	34	39,8	81,3	44,2
10	13.17.17	45,4	44	49,5	51,5	43,2	44,2	31	41,6	83,1	45,9
11	13.51.10	45,5	43,3	49,6	51,6	43,1	44	31,9	41,9	83,2	45,9
12	14.25.03	45,9	45,1	50	52	43	43,9	31,8	42	83,4	46,2

Lampiran 10 Data voltase dan ampere 6 jam kopi *parchment coffee*

No	WAKTU	V	I
1	07.04.34	220	1,325
2	07.38.27	220	1,096
3	08.12.20	220	1,115
4	08.46.13	220	1,121
5	09.20.06	220	1,094
6	09.53.59	220	1,102
7	10.27.52	220	1,101
8	12.09.31	220	1,089
9	12.43.24	220	1,062
10	13.17.17	220	1,061
11	13.51.10	220	1,094
12	14.25.03	220	1,092

Lampiran 11 Data temperatur dan kelembapan 7 jam *parcment coffee*

Waktu	T1	T2	T3	TR	RH1	RH2	RH3	TC	TH
09.44.28	29,10	28,5	28,3	20,3	86,10%	87,50%	89,10%	25,4	28,9
09.49.30	29,20	28,5	36,2	28,2	87,90%	91,10%	64,20%	25,1	68,5
10.39.50	52,00	50,4	56,7	48,7	47,80%	48,20%	33,90%	46,1	92,6
10.44.52	52,40	50,8	57	49	47,00%	47,30%	33,20%	46,4	92,9
10.49.54	52,80	51,2	57,6	49,6	46,10%	46,40%	32,90%	46,7	93,4
10.54.56	53,20	51,6	57,8	49,8	45,80%	46,00%	31,70%	47,1	93,6
10.59.58	53,60	51,9	58,1	50,1	44,40%	44,60%	31,60%	47,2	93,9
11.05.00	53,80	52,2	58,4	50,4	43,90%	44,00%	30,70%	47,6	94,3
11.10.02	54,10	52,5	58,6	50,6	43,00%	43,10%	30,20%	47,7	94,4
11.15.04	54,30	52,7	58,8	50,8	42,30%	42,30%	29,80%	48	94,7
11.20.06	54,60	52,9	59,1	51,1	41,90%	41,90%	29,30%	48,2	94,9
11.25.08	54,90	53,2	59,4	51,4	41,40%	41,30%	28,50%	48,4	95,1
11.30.10	55,20	53,6	59,7	51,7	40,50%	40,40%	27,90%	48,6	95,3
11.35.12	55,50	53,8	60	52	39,90%	39,70%	27,30%	48,9	95,6
11.40.14	55,80	54,1	60,3	52,3	39,00%	38,70%	26,70%	49	95,8
11.45.17	56,00	54,4	60,5	52,5	38,30%	38,00%	26,20%	49,3	96
11.50.19	56,30	54,6	60,8	52,8	37,80%	37,40%	26,00%	49,5	96,3
12.42.51	58,40	56,6	62,8	54,8	33,50%	32,70%	22,30%	51,3	98,2
12.47.52	58,70	56,9	62,8	54,8	32,80%	32,00%	21,80%	51,1	97,9
12.52.54	58,70	56,9	62,9	54,9	32,40%	31,60%	22,10%	51,1	97,8
12.57.56	58,80	57	62,9	54,9	32,30%	31,40%	21,70%	51	97,9
13.02.58	58,90	57	63	55	32,30%	31,50%	21,50%	51,1	97,8
13.08.00	58,90	57,1	63,1	55,1	31,90%	31,00%	21,70%	51,1	97,9
13.13.02	59,00	57,2	63,1	55,1	31,90%	31,00%	21,30%	51,2	97,9
13.18.04	59,10	57,2	63,2	55,2	31,50%	30,60%	21,20%	51,2	97,9
13.20.28	59,10	57,3	63,2	55,2	31,30%	30,50%	21,20%	51,2	98
13.22.28	59,10	57,3	63,2	55,2	31,40%	30,50%	21,50%	51,3	98,2
13.27.30	59,20	57,3	58,9	50,9	31,50%	30,60%	22,70%	45	89,1
13.32.32	55,40	50	59,7	51,7	32,00%	35,80%	24,10%	45,9	92,4
13.37.35	56,20	53,9	61,1	53,1	33,80%	34,10%	23,00%	48,8	95,7
13.42.37	57,20	55,4	62	54	33,10%	32,70%	22,10%	50,2	97,3
13.47.39	58,00	56,2	62,7	54,7	32,30%	31,60%	21,60%	50,9	98,1
13.52.41	58,60	56,8	63,2	55,2	31,80%	31,00%	21,40%	51,6	98,8
13.57.43	59,10	57,3	63,6	55,6	31,50%	30,50%	20,80%	51,9	99
14.02.45	59,50	57,7	63,9	55,9	31,20%	30,20%	20,60%	52,2	99,4
14.07.47	59,80	57,9	64	56	30,90%	29,70%	20,50%	52,4	99,6
14.12.49	60,00	58,2	64,2	56,2	30,60%	29,40%	20,30%	52,4	99,6
14.17.51	60,20	58,3	64,3	56,3	30,50%	29,30%	20,40%	52,7	99,8
14.22.53	60,30	58,4	64,5	56,5	30,30%	29,10%	20,40%	52,7	100,1

14.27.55	60,40	58,6	64,6	56,6	30,40%	29,20%	20,40%	52,8	100
14.32.58	60,50	58,7	64,7	56,7	30,30%	29,10%	20,00%	52,9	100,1
14.38.00	60,60	58,7	64,7	56,7	30,20%	28,80%	20,10%	52,8	99,9
14.43.02	60,60	58,7	64,7	56,7	29,90%	28,60%	19,90%	52,8	100
14.48.03	60,70	58,8	64,8	56,8	29,90%	28,50%	19,80%	52,8	99,9
14.53.05	60,70	58,8	64,7	56,7	29,70%	28,50%	19,70%	52,8	99,9
15.32.28	60,70	58,7	64,7	56,7	29,40%	28,10%	19,30%	52,7	99,9
15.37.30	60,70	58,7	64,6	56,6	29,30%	27,90%	19,40%	52,6	99,8
15.42.31	60,60	58,7	64,6	56,6	29,20%	27,90%	19,60%	52,6	99,7
15.47.33	60,60	58,6	64,6	56,6	29,20%	27,90%	19,40%	52,5	99,7
15.52.35	60,60	58,6	64,5	56,5	29,10%	27,80%	19,30%	52,4	99,5
15.57.37	60,50	58,5	64,4	56,4	29,10%	27,90%	19,30%	52,3	99,5
16.02.39	60,50	58,5	64,4	56,4	29,00%	27,80%	19,60%	52,4	99,6
16.07.41	60,40	58,4	64,3	56,3	29,10%	27,80%	19,50%	52,3	99,5
16.12.43	60,40	58,4	64,3	56,3	29,00%	27,80%	19,10%	52,1	99,2
16.17.45	60,30	58,3	64,2	56,2	29,00%	27,70%	19,40%	52,1	99,2
16.22.47	60,30	58,2	64,1	56,1	28,90%	27,70%	19,40%	52	99,1
16.27.50	60,20	58,2	64	56	29,00%	27,70%	19,30%	52	99,1
16.32.52	60,10	58,1	64	56	28,90%	27,70%	19,20%	51,9	99
16.37.54	60,10	58,1	63,9	55,9	28,80%	27,60%	19,40%	51,8	98,9
16.42.56	60,00	58	63,9	55,9	28,80%	27,70%	19,30%	51,8	98,9
16.47.58	60,00	57,9	63,8	55,8	28,80%	27,70%	19,10%	51,6	98,7
16.53.00	59,90	57,9	63,8	55,8	28,80%	27,70%	19,50%	51,7	98,8
16.58.02	59,90	57,9	63,8	55,8	28,90%	27,80%	19,30%	51,5	98,6
17.03.04	59,90	57,8	63,7	55,7	28,90%	27,80%	19,10%	51,5	98,6
17.08.06	59,80	57,7	63,7	55,7	28,80%	27,80%	19,40%	51,6	98,6
17.13.09	59,80	57,7	63,6	55,6	28,70%	27,70%	19,20%	51,4	98,5
17.18.11	59,70	57,7	63,6	55,6	28,80%	27,70%	19,30%	51,4	98,4

Lampiran 12 Data voltase dan ampere pengujian 7 jam *parchment coffee*

NO	WAKTU	I	V
1	09.44.28	1,4	220
2	09.49.30	1,4	220
3	10.39.50	1,3	220
4	11.05.00	1,3	220
5	11.30.10	1,3	220
6	12.42.51	1,3	220
7	12.52.54	1,3	220
8	13.18.04	1,3	220
9	13.47.39	1,3	220
10	14.02.45	1,2	220

11	14.38.00	1,2	220
12	15.32.28	1,2	220
13	15.57.37	1,2	220
14	16.12.43	1,2	220
15	16.32.52	1,2	220
16	16.53.00	1,2	220
17	17.08.06	1,2	220
18	17.18.11	1,2	220

Lampiran 13 Data diagram psikometrik pengujian *whole cherry* 10 jam

P1.1		P1.2		P1.3	
Dry bulb temperature	53.2°C	Dry bulb temperature	51.2°C	Dry bulb temperature	59.4°C
Wet bulb temperature	40.7°C	Wet bulb temperature	39.0°C	Wet bulb temperature	40.5°C
Dew point	38.6°C	Dew point	36.8°C	Dew point	37.3°C
Relative humidity	47.4%	Relative humidity	47.4%	Relative humidity	32.9%
Absolute humidity	0.0451kg/kg	Absolute humidity	0.0406kg/kg	Absolute humidity	0.0418kg/kg
Enthalpy	170.7kJ/kg	Enthalpy	156.9kJ/kg	Enthalpy	168.9kJ/kg
Density	1.054kg/m ³	Density	1.063kg/m ³	Density	1.036kg/m ³
Specific volume	0.992m ³ /kg	Specific volume	0.979m ³ /kg	Specific volume	1.005m ³ /kg
Pressure	101325.0Pa	Pressure	101325.0Pa	Pressure	101325.0Pa
Airflow	3.0m ³ /s	Airflow	3.0m ³ /s	Airflow	3.0m ³ /s

P2.1		P2.2		P2.3	
Dry bulb temperature	53.2°C	Dry bulb temperature	51.2°C	Dry bulb temperature	59.4°C
Wet bulb temperature	37.9°C	Wet bulb temperature	36.3°C	Wet bulb temperature	38.0°C
Dew point	34.9°C	Dew point	33.1°C	Dew point	33.8°C
Relative humidity	38.8%	Relative humidity	38.7%	Relative humidity	27.2%
Absolute humidity	0.0364kg/kg	Absolute humidity	0.0328kg/kg	Absolute humidity	0.0342kg/kg
Enthalpy	148.1kJ/kg	Enthalpy	136.6kJ/kg	Enthalpy	149.0kJ/kg
Density	1.059kg/m ³	Density	1.068kg/m ³	Density	1.041kg/m ³
Specific volume	0.979m ³ /kg	Specific volume	0.967m ³ /kg	Specific volume	0.994m ³ /kg
Pressure	101325.0Pa	Pressure	101325.0Pa	Pressure	101325.0Pa
Airflow	3.0m ³ /s	Airflow	3.0m ³ /s	Airflow	3.0m ³ /s

P3.1		P3.2		P3.3	
Dry bulb temperature	53.2°C	Dry bulb temperature	51.2°C	Dry bulb temperature	59.4°C

Wet bulb temperature	37.3°C	Wet bulb temperature	32.8°C	Wet bulb temperature	37.3°C
Dew point	34.2°C	Dew point	28.0°C	Dew point	32.8°C
Relative humidity	37.3%	Relative humidity	28.8%	Relative humidity	25.6%
Absolute humidity	0.0349kg/kg	Absolute humidity	0.0241kg/kg	Absolute humidity	0.0321kg/kg
Enthalpy	144.2kJ/kg	Enthalpy	114.1kJ/kg	Enthalpy	143.5kJ/kg
Density	1.060kg/m ³	Density	1.073kg/m ³	Density	1.042kg/m ³
Specific volume	0.976m ³ /kg	Specific volume	0.954m ³ /kg	Specific volume	0.991m ³ /kg
Pressure	101325.0Pa	Pressure	101325.0Pa	Pressure	101325.0Pa
Airflow	3.0m ³ /s	Airflow	3.0m ³ /s	Airflow	3.0m ³ /s

P4.1		P4.2		P4.3	
Dry bulb temperature	53.2°C	Dry bulb temperature	51.2°C	Dry bulb temperature	59.4°C
Wet bulb temperature	37.9°C	Wet bulb temperature	35.0°C	Wet bulb temperature	36.6°C
Dew point	34.9°C	Dew point	31.3°C	Dew point	31.7°C
Relative humidity	38.8%	Relative humidity	35.0%	Relative humidity	24.2%
Absolute humidity	0.0364kg/kg	Absolute humidity	0.0295kg/kg	Absolute humidity	0.0302kg/kg
Enthalpy	148.1kJ/kg	Enthalpy	128.1kJ/kg	Enthalpy	138.6kJ/kg
Density	1.059kg/m ³	Density	1.070kg/m ³	Density	1.043kg/m ³
Specific volume	0.979m ³ /kg	Specific volume	0.962m ³ /kg	Specific volume	0.988m ³ /kg
Pressure	101325.0Pa	Pressure	101325.0Pa	Pressure	101325.0Pa
Airflow	3.0m ³ /s	Airflow	3.0m ³ /s	Airflow	3.0m ³ /s

P5.1		P5.2		P5.3	
Dry bulb temperature	53.2°C	Dry bulb temperature	51.2°C	Dry bulb temperature	59.4°C
Wet bulb temperature	36.7°C	Wet bulb temperature	35.0°C	Wet bulb temperature	36.6°C
Dew point	33.2°C	Dew point	31.4°C	Dew point	31.7°C
Relative humidity	35.3%	Relative humidity	35.1%	Relative humidity	24.1%
Absolute humidity	0.0330kg/kg	Absolute humidity	0.0296kg/kg	Absolute humidity	0.0301kg/kg
Enthalpy	139.3kJ/kg	Enthalpy	128.3kJ/kg	Enthalpy	138.3kJ/kg
Density	1.061kg/m ³	Density	1.070kg/m ³	Density	1.043kg/m ³
Specific volume	0.974m ³ /kg	Specific volume	0.963m ³ /kg	Specific volume	0.988m ³ /kg
Pressure	101325.0Pa	Pressure	101325.0Pa	Pressure	101325.0Pa
Airflow	3.0m ³ /s	Airflow	3.0m ³ /s	Airflow	3.0m ³ /s

P6.1		P6.2		P6.3	
Dry bulb temperature	53.2°C	Dry bulb temperature	51.2°C	Dry bulb temperature	59.4°C

Wet bulb temperature	36.5°C	Wet bulb temperature	34.9°C	Wet bulb temperature	36.5°C
Dew point	33.0°C	Dew point	31.2°C	Dew point	31.6°C
Relative humidity	34.9%	Relative humidity	34.7%	Relative humidity	24.0%
Absolute humidity	0.0326kg/kg	Absolute humidity	0.0292kg/kg	Absolute humidity	0.0300kg/kg
Enthalpy	138.2kJ/kg	Enthalpy	127.3kJ/kg	Enthalpy	138.1kJ/kg
Density	1.061kg/m ³	Density	1.070kg/m ³	Density	1.043kg/m ³
Specific volume	0.973m ³ /kg	Specific volume	0.962m ³ /kg	Specific volume	0.987m ³ /kg
Pressure	101325.0Pa	Pressure	101325.0Pa	Pressure	101325.0Pa
Airflow	3.0m ³ /s	Airflow	3.0m ³ /s	Airflow	3.0m ³ /s

P7.1		P7.2		P7.3	
Dry bulb temperature	53.2°C	Dry bulb temperature	51.2°C	Dry bulb temperature	59.4°C
Wet bulb temperature	36.5°C	Wet bulb temperature	35.6°C	Wet bulb temperature	36.4°C
Dew point	33.0°C	Dew point	32.1°C	Dew point	31.5°C
Relative humidity	34.8%	Relative humidity	36.6%	Relative humidity	23.8%
Absolute humidity	0.0325kg/kg	Absolute humidity	0.0309kg/kg	Absolute humidity	0.0297kg/kg
Enthalpy	138.0kJ/kg	Enthalpy	131.7kJ/kg	Enthalpy	137.3kJ/kg
Density	1.061kg/m ³	Density	1.069kg/m ³	Density	1.043kg/m ³
Specific volume	0.973m ³ /kg	Specific volume	0.965m ³ /kg	Specific volume	0.987m ³ /kg
Pressure	101325.0Pa	Pressure	101325.0Pa	Pressure	101325.0Pa
Airflow	3.0m ³ /s	Airflow	3.0m ³ /s	Airflow	3.0m ³ /s

Lampiran 14 Data psikometrik pengujian 7 jam *parchment coffee*

P1.1		P1.2		P1.3	
Dry bulb temperature	54.4°C	Dry bulb temperature	52.7°C	Dry bulb temperature	59.9°C
Wet bulb temperature	41.8°C	Wet bulb temperature	40.5°C	Wet bulb temperature	41.3°C
Dew point	39.8°C	Dew point	38.4°C	Dew point	38.2°C
Relative humidity	47.8%	Relative humidity	48.2%	Relative humidity	33.9%
Absolute humidity	0.0484kg/kg	Absolute humidity	0.0447kg/kg	Absolute humidity	0.0442kg/kg
Enthalpy	180.6kJ/kg	Enthalpy	169.1kJ/kg	Enthalpy	175.7kJ/kg
Density	1.048kg/m ³	Density	1.056kg/m ³	Density	1.033kg/m ³
Specific volume	1.000m ³ /kg	Specific volume	0.990m ³ /kg	Specific volume	1.011m ³ /kg
Pressure	101325.0Pa	Pressure	101325.0Pa	Pressure	101325.0Pa

Airflow	3.0m ³ /s	Airflow	3.0m ³ /s	Airflow	3.0m ³ /s
---------	----------------------	---------	----------------------	---------	----------------------

P2.1		P2.2		P2.3	
Dry bulb temperature	54.4°C	Dry bulb temperature	52.7°C	Dry bulb temperature	64.4°C
Wet bulb temperature	36.5°C	Wet bulb temperature	34.9°C	Wet bulb temperature	39.0°C
Dew point	32.7°C	Dew point	30.8°C	Dew point	34.1°C
Relative humidity	32.4%	Relative humidity	31.6%	Relative humidity	22.0%
Absolute humidity	0.0320kg/kg	Absolute humidity	0.0286kg/kg	Absolute humidity	0.0348kg/kg
Enthalpy	138.0kJ/kg	Enthalpy	127.3kJ/kg	Enthalpy	155.9kJ/kg
Density	1.058kg/m ³	Density	1.065kg/m ³	Density	1.025kg/m ³
Specific volume	0.976m ³ /kg	Specific volume	0.966m ³ /kg	Specific volume	1.010m ³ /kg
Pressure	101325.0Pa	Pressure	101325.0Pa	Pressure	101325.0Pa
Airflow	3.0m ³ /s	Airflow	3.0m ³ /s	Airflow	3.0m ³ /s

P3.1		P3.2		P3.3	
Dry bulb temperature	54.4°C	Dry bulb temperature	52.7°C	Dry bulb temperature	59.9°C
Wet bulb temperature	35.6°C	Wet bulb temperature	33.9°C	Wet bulb temperature	34.9°C
Dew point	31.5°C	Dew point	29.2°C	Dew point	28.9°C
Relative humidity	30.2%	Relative humidity	28.8%	Relative humidity	20.1%
Absolute humidity	0.0297kg/kg	Absolute humidity	0.0260kg/kg	Absolute humidity	0.0255kg/kg
Enthalpy	132.0kJ/kg	Enthalpy	120.6kJ/kg	Enthalpy	126.8kJ/kg
Density	1.059kg/m ³	Density	1.067kg/m ³	Density	1.044kg/m ³
Specific volume	0.972m ³ /kg	Specific volume	0.962m ³ /kg	Specific volume	0.982m ³ /kg
Pressure	101325.0Pa	Pressure	101325.0Pa	Pressure	101325.0Pa
Airflow	3.0m ³ /s	Airflow	3.0m ³ /s	Airflow	3.0m ³ /s

P4.1		P4.2		P4.3	
Dry bulb temperature	54.4°C	Dry bulb temperature	52.7°C	Dry bulb temperature	59.9°C
Wet bulb temperature	35.1°C	Wet bulb temperature	33.4°C	Wet bulb temperature	34.4°C
Dew point	30.7°C	Dew point	28.5°C	Dew point	28.1°C
Relative humidity	28.9%	Relative humidity	27.7%	Relative humidity	19.2%
Absolute humidity	0.0284kg/kg	Absolute humidity	0.0249kg/kg	Absolute humidity	0.0243kg/kg
Enthalpy	128.6kJ/kg	Enthalpy	117.7kJ/kg	Enthalpy	123.7kJ/kg

Density	1.060kg/m ³	Density	1.067kg/m ³	Density	1.045kg/m ³
Specific volume	0.970m ³ /kg	Specific volume	0.960m ³ /kg	Specific volume	0.980m ³ /kg
Pressure	101325.0Pa	Pressure	101325.0Pa	Pressure	101325.0Pa
Airflow	3.0m ³ /s	Airflow	3.0m ³ /s	Airflow	3.0m ³ /s

P5.1		P5.2		P5.3	
Dry bulb temperature	54.4°C	Dry bulb temperature	52.7°C	Dry bulb temperature	59.9°C
Wet bulb temperature	35.1°C	Wet bulb temperature	33.4°C	Wet bulb temperature	34.5°C
Dew point	30.6°C	Dew point	28.5°C	Dew point	28.2°C
Relative humidity	28.8%	Relative humidity	27.7%	Relative humidity	19.3%
Absolute humidity	0.0283kg/kg	Absolute humidity	0.0249kg/kg	Absolute humidity	0.0244kg/kg
Enthalpy	128.3kJ/kg	Enthalpy	117.7kJ/kg	Enthalpy	124.0kJ/kg
Density	1.060kg/m ³	Density	1.067kg/m ³	Density	1.045kg/m ³
Specific volume	0.970m ³ /kg	Specific volume	0.960m ³ /kg	Specific volume	0.981m ³ /kg
Pressure	101325.0Pa	Pressure	101325.0Pa	Pressure	101325.0Pa
Airflow	3.0m ³ /s	Airflow	3.0m ³ /s	Airflow	3.0m ³ /s

Lampiran 15 Data pengujian panel surya 7 jam biji kopi *parchment coffee*

Waktu	Arus (A)	Tegangan (V)	Iradiasi Matahari (W/m ²)	Baterai (%)	P in (W)	P out (W)	Efisiensi (%)
09.44.28	3,3	130	226	91	1751,5	429	24
10.14.28	3,8	130	296	95	2294	494	22
10.44.28	4,8	130	378	100	2929,5	624	21
11.14.28	5,9	130	500	100	3875	767	20
11.44.28	6,9	130	641	100	4967,75	897	18
12.14.28	1,3	143	795	100	6161,25	185,9	3
12.44.28	1,1	146	1106	100	8571,5	160,6	2
13.14.28	1,1	142	1113	100	8625,75	156,2	2
13.44.28	1,1	147	1328	100	10292	161,7	2
14.14.28	1	142	1278	100	9904,5	142	1
14.44.28	1,2	142	1206	100	9346,5	170,4	2
15.14.28	0,9	143	1226	100	9501,5	128,7	1
15.44.28	0,9	145	1277	100	9896,75	130,5	1
16.14.28	1,4	144	1200	100	9300	201,6	2
rata rata	2,5	138,9	897,9	99	6958,4	332	5

Kadar air awal pengujian biji kopi, kadar air pertengahan, dan kadar air akhir *whole cherry* selama 10 jam



Berat awal dan berat akhir dari pengujian biji kopi *whole cherry* selama 10 jam



Kadar air awal pengujian biji kopi, kadar air pertengahan, dan kadar air akhir *parchment coffee* selama 7 jam



Berat awal dan berat akhir dari pengujian biji kopi *parchment coffee* selama 10 jam



Lampiran 16 Pengujian laju aliran udara

