



Analisis Performansi Sistem Pembekuan Buah Mangga Menggunakan Energi Surya

Yudhy Kurniawan¹, Bobi Khoirun², Yusup Nur Rohmat³, M. Idrus Al Hamid⁴, Ardiyansyah Yatim⁵

^{1,2}Teknik Pendingin dan Tata Udara, Politeknik Negeri Indramayu

³Teknik Mesin, Politeknik Negeri Indramayu

^{4,5}Teknik Mesin, Universitas Indonesia

¹yudhy@polindra.ac.id, ²bobikhoerun@polindra.ac.id, ³yusupnurrohmat@gmail.com, ⁴mamak@eng.ui.ac.id,

⁵ardiyansyah@eng.ui.ac.id

Abstract

The use of steam compression refrigeration systems is growing both domestically and commercially. The impact of electrical energy consumption in this sector is quite large compared to the need for electrical energy in other electronic equipment. Various efforts were made to be able to reduce the consumption of electrical energy for the cooling system. One of the efforts made by utilizing the natural potential of energy around is solar energy as a source of electrical energy in the mango freezing unit. This fruit is one of the main commodities in West Java, especially in Indramayu Regency. This study aims to determine the performance of the use of solar energy and the need for electrical energy for freezing mango fruit. In the process, freezing is carried out at temperatures below the freezing point of the ingredients/food. Good freezing usually ranges from -12 °C to -24°C. With this temperature, food can last up to 3 to 12 months. Although for freezing mango fruit, it is necessary to have additional treatment so as not to damage the physical structure and quality of the fruit. The method used is to use solar panels as a source of electrical energy in the mango freezing unit. From the tests carried out with variations in the tilt angle of the solar panels, 0°, 20°, and 40° which then from the calculation analysis it is known the comparative value of performance/efficiency and also the consumption of electrical energy generated from each angle of inclination.

Keywords: Utilization of solar energy, freezer, performance

Abstrak

Penggunaan refrigerasi sistem kompresi uap semakin berkembang baik skala domestik maupun komersial. Dampaknya konsumsi energi listrik pada sektor ini cukup besar dibandingkan kebutuhan energi listrik pada peralatan elektronik lainnya. Berbagai upaya dilakukan agar mampu menekan konsumsi energi listrik untuk sistem pendingin. Salah satu upaya yang dilakukan dengan memanfaatkan potensi alam energi yang ada disekitar yaitu energi surya sebagai sumber energi listrik pada unit pembekuan buah mangga. Buah ini merupakan salah satu komoditas utama di Jawa Barat khususnya di Kabupaten Indramayu. Tujuan penelitian ini agar diketahui kinerja dari pemanfaatan energi surya dan kebutuhan energi listrik untuk pembekuan buah Mangga. Dalam prosesnya pembekuan dilakukan pada suhu di bawah titik beku bahan/makanan. Pembekuan yang baik biasanya berkisar antara -12 °C sampai dengan -24°C. Dengan temperatur tersebut, makanan dapat awet hingga 3 hingga 12 bulan. Walaupun untuk pembekuan buah mangga perlu adanya perlakuan tambahan agar tidak merusak struktur fisik dan kualitas buahnya. Metode yang digunakan yaitu memanfaatkan panel surya sebagai sumber energi listrik pada unit pembekuan buah mangga. Dari pengujian yang dilakukan dengan variasi sudut kemiringan panel surya, 0°, 20°, dan 40° yang kemudian dari analisa perhitungan diketahui nilai perbandingan performansi / efisiensi dan juga konsumsi energi listrik yang dihasilkan dari masing-masing sudut kemiringan tersebut.

Kata kunci: Pemanfaatan energy surya, freezer, performansi

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi semakin maju mendorong manusia untuk selalu mempelajari ilmu pengetahuan dan melakukan inovasi agar dapat mendapatkan kenyamanan dalam segala hal, perkembangan dan penerapan sistem refrigerasi pada sebuah ruangan mengalami peningkatan yang sangat pesat, salah

satunya yaitu bidang refrigerasi. Refrigerasi adalah proses penurunan temperatur dan menjaga agar temperatur ruang atau material tetap dibawah temperatur lingkungannya.[1]. Untuk penerapan teknologi pada bidang holtikultura terutama pada proses penanganan pasca panen buah-buahan, khususnya buah mangga di Kabupaten Indramayu masih belum dikelola

dengan baik, sehingga sering mendapat keluhan dari konsumen karena kualitasnya tidak terjaga dan sering tidak tersedia di pasar. Padahal buah mangga ini merupakan salah satu produk unggulan tersendiri yang ada di Indramayu, bahkan menjadi sentra produksi mangga terbesar di Jawa Barat [2]. Salah satu permasalahan yang dihadapi dalam pengembangan buah mangga ialah sifat buah yang mudah rusak, umur simpannya relatif pendek. Hal ini menyebabkan tingginya kehilangan hasil pascapanen pada saat panen raya dan merosotnya harga jual buah mangga. Di sisi lain, mangga yang merupakan buah musiman, sulit dijumpai pada waktu-waktu tertentu, sehingga ketersediaannya tidak mencukupi untuk bahan baku industri (seperti sirup, jeli, selai, dan sebagainya). Oleh karena itu buah mangga harus diawetkan untuk memperpanjang umur simpannya melalui penerapan metode preservasi, di antaranya menggunakan teknik pembekuan [3]. Namun sebelum di bekukan buah mangga memiliki perlakuan khusus. Irisan buah mangga segar dengan kematangan komersial (80–90%) akan dicelupkan ke dalam nitrogen cair selama 40 detik dan disimpan di dalam *freezer* [4].

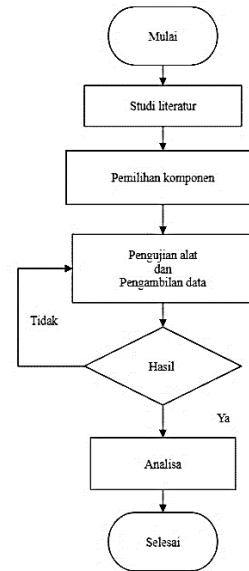
Karena Indonesia sebagai negara tropis, pemerintah Indonesia saat ini sedang giat dalam mengembangkan energi surya yang cukup besar. Pembangkit energi terbarukan yang ketersediaannya tidak terbatas seperti tenaga surya, tenaga angin, mikrohidro, ombak laut, dan pasang surut air laut masih kurang dimanfaatkan. Pemanfaatan energi terbarukan diantaranya dengan memanfaatkan tenaga energi matahari dengan menggunakan sel/panel surya sebagai pengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel surya. Energi listrik yang dihasilkan PLTS (pembangkit listrik tenaga surya) berbentuk DC (*Direct Current*). Bentuk DC ini bisa dirubah ke bentuk AC dengan menggunakan *inverter* [5].

Dalam hal memanfaatkan energi matahari dengan penggunaan panel surya untuk *supply* daya listrik pada unit pembekuan (*Freezer*) buah mangga yang bertujuan mengurangi kebutuhan konsumsi daya listrik yang terus meningkat pada sistem pembekuan ini. Dengan penerapan instalasi pembangkit listrik tenaga surya sebagai sumber energi, dalam langkah pemanfaatan untuk penghematan daya listrik. Berdasarkan latar belakang tersebut diatas, masalah yang akan diselesaikan menitikberatkan pada analisis performansi pendingin sistem pembekuan buah mangga yang menggunakan energi surya. Dalam proses pembekuan yang baik biasanya berkisar antara $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ [6]. Penyimpanan beku pada suhu kabin sekitar $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan dibawahnya dapat mencegah kerusakan mikrobiologi, dengan syarat tidak terjadi fluktuasi suhu yang terlalu besar [4].

2. Metode Penelitian

Pada metode penelitian ini dilakukan secara teori maupun dengan pengujian. Secara teori diawali dengan

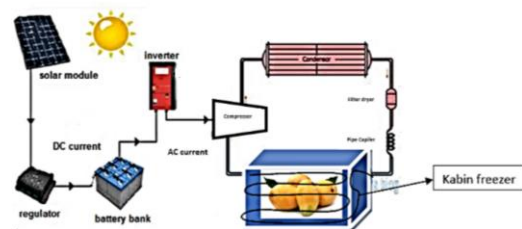
menentukan komponen yang akan digunakan pada unit pendinginan beku (*freezing*) dan juga panel surya yang akan dijadikan sebagai sumber energi listrik. Setelah itu unit yang sudah dibuat akan diuji dan datanya akan diambil untuk dianalisa kinerja sistemnya. Untuk lebih jelasnya tahapan penelitian ini, dapat disusun dalam bentuk diagram alir penelitian di bawah ini:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tahapan awal sebelum dilakukan pengujian adalah dengan studi literatur sebagai dasar kajian teoritis yang relevan untuk mendukung analisis dari hasil pengujian. Kemudian mencari komponen-komponen yang dibutuhkan sesuai spesifikasi untuk kemudian dilakukan instalasi sistem sesuai skema rangkaian panel surya dan Pembekuan (*freezing*) unit (lihat gambar 2). Untuk data spesifikasi yang dirancang adalah sebagai berikut :

1. Unit pembekuan (*freezing*) buah mangga kapasitas 5 kg, daya 360 watt (1/2 PK), refrijeran R404a;
2. Kabin penyimpanan beku ukuran 0,46 m x 0,47 m x 0,47 m;
3. *Inverter* PSW 850 VA/12V DC, tegangan 230V;
4. Baterai jenis VRLA 200 Ah, tegangan 13,38V;
5. SSC (*Solar Charger Controller*) tipe PWM;
6. Modul panel surya 100 Wp berjumlah 4 buah, terhubung secara paralel.



Gambar 2. Skema instalasi Unit *Freezer* Tenaga Surya

Dari skema instalasi kemudian dirakit menjadi sebuah sistem instalasi *Freezer* Tenaga Surya (lihat gambar 3).



Gambar 3. Sistem Instalasi Freezer Tenaga Surya (a. Unit Freezer; b. Panel Surya)

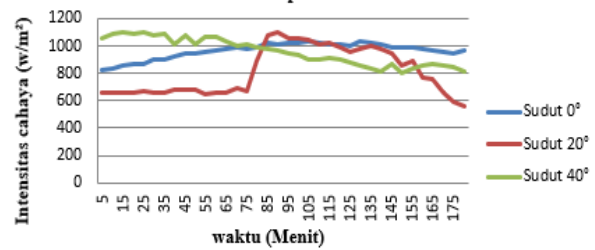
Setelah dirangkai komponen-komponen sesuai skema, kemudian dilakukan pengoperasian sistem apakah berjalan dengan baik. Jika kondisi unit baik, maka dilakukan pengujian sistem dan pengambilan data. Namun terlebih dahulu dipasang peralatan ukur pada titik-titik pengukuran. Variabel data yang diambil antara lain: daya output panel surya, intensitas cahaya, arus dan tegangan panel surya, temperatur refrijeran masuk dan keluar kondensor, temperatur refrijeran masuk dan keluar evaporator, temperatur kabin, tekanan *suction*, dan tekanan *discharge*. Pengambilan data dilakukan setiap 5 menit sekali selama 180 menit atau 3 jam untuk setiap variasi sudut kemiringan panel surya. Dimana pengambilan data dilakukan pada 3 variasi sudut kemiringan panel surya yaitu sudut 0° , sudut 20° , dan sudut 40° .

Dari data yang diperoleh dapat diketahui hasil pengujian tersebut kemudian diolah dengan melakukan analisis data, baik dengan perhitungan, maupun dengan grafik untuk diketahui perbandingan kinerja pada tiap-tiap variasi kemiringan sudut panel surya. Pada perhitungan kinerja unit *freezing*, dibantu dengan diagram p-h untuk dicari nilai entalpi yang nantinya dapat memperhitungkan nilai COP dan Efisiensi pembekuan. Untuk efisiensi pembekuan diperoleh dari perbandingan antara COP_{actual} dengan COP_{carnot} pada temperatur kerja yang sama. COP merupakan perbandingan antara besarnya kalor dari lingkungan yang dapat diambil oleh evaporator dengan kerja kompresor [7].

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengambilan data pada alat pembekuan buah mangga ini didapat grafik seperti terlihat pada Gambar 4. Dari pengukuran diperoleh data nilai intensitas cahaya dari setiap kemiringan dilakukan selama 3 jam. Maka diperoleh nilai rata-rata yaitu sudut 0° sebesar $961,7 \text{ W/M}^2$, sudut 20° $751,6 \text{ W/M}^2$ dan sudut 40° sebesar $921,4 \text{ W/M}^2$. Data temperatur kabin untuk sudut kemiringan panel surya 0° sebesar -13°C . Untuk sudut 20° temperatur kabin sebesar -12°C . Dan untuk sudut 40° temperatur kabin sebesar -11°C .

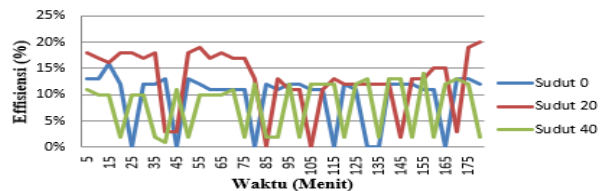
Grafik hubungan intensitas cahaya panel surya terhadap waktu



Gambar. 4 Grafik hubungan intensitas cahaya panel surya terhadap waktu

Dari Gambar 4. Grafik hubungan intensitas cahaya panel surya terhadap waktu pada setiap sudut kemiringan di atas menunjukkan, bahwa intensitas cahaya paling tinggi pada menit ke-5 hingga menit ke-75 terdapat pada sudut ke 40° , dan intensitas cahaya paling rendah terdapat pada sudut 20° . Namun pada ke-85, untuk sudut kemiringan panel 20° terjadi kenaikan nilai intensitas cahaya sedangkan sudut 0° cenderung stabil nilai intensitas cahayanya pada kisaran 1000 W/m^2 . Dan untuk sudut 40° nilai intensitas cahaya cenderung menurun.

Grafik hubungan efisiensi panel surya terhadap waktu



Gambar 5. Grafik hubungan efisiensi cahaya panel surya terhadap waktu

Dari Gambar 5. Grafik hubungan efisiensi panel surya terhadap waktu, menunjukkan bahwa nilai efisiensi dari masing-masing sudut kemiringan panel surya mengalami keadaan fluktuatif atau naik dan turun nilai efisiensi terhadap waktunya. Efisiensi panel surya rata-rata paling tinggi terdapat pada sudut 20° hal ini karena intensitas cahaya pada sudut 20° tersebut memiliki nilai yang kecil sehingga menghasilkan efisiensi paling tinggi terutama pada menit ke-5 hingga menit ke-75 yang pada waktu pengambilan data diambil pada pukul 10.00 pagi, dimana matahari belum terlalu panas. Hal ini selain dipengaruhi temperatur sekitar, panel surya dirancang memiliki STC (*Standar Test Condition*) yaitu 25°C oleh karena itu ketika temperatur mengalami kenaikan lebih dari 25°C akan berkurang 0,5% pada efisiensi panel tersebut [8].

Hubungan intensitas cahaya matahari yang mampu dikonversi oleh sel surya menjadi energi listrik, serta kapan energi tertinggi yang dapat dihasilkan oleh sel surya. Adapun yang menjadi obyek dalam penelitian ini adalah kinerja dari unit Pendinginan beku (*Freezing*) buah mangga dengan daya 360 watt.

Untuk menghitung kinerja sistem pada alat pembekuan buah mangga dapat dicari dengan menggunakan diagram p-h dengan cara diplot dari data temperatur dan tekanan untuk dicari nilai entalpi dari titik masukan dan keluaran pada kondenser dan evaporator yang

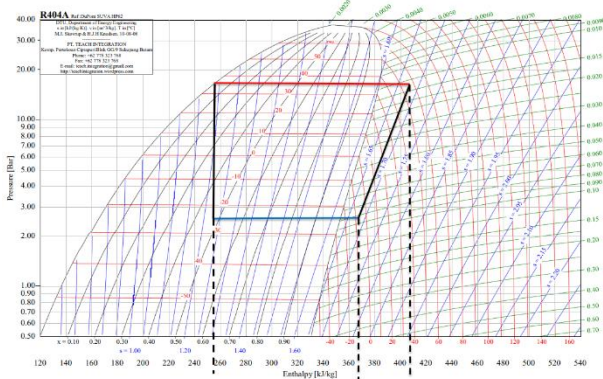
kemudian dihitung nilai COP_{aktual} dan COP_{carnot} , dari kedua COP ini kemudian dihitung nilai efisiensi pendinginan beku dengan membagi COP_{aktual} terhadap COP_{carnot} . Sehingga rumus efisiensi pendingin beku adalah

$$\eta_R = \frac{COP_{aktual}}{COP_{carnot}} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana: η_R = Efisiensi refrigerasi (%)
 COP_{aktual} = *Coefficient of performance* aktual
 COP_{carnot} = *Coefficient of performance* carnot

Untuk menentukan nilai kinerja atau efisiensi pendinginan beku untuk kemiringan sudut panel surya 0° dengan refrijeran R404a, diperoleh data sebagai berikut:

1. Temperatur *in* kondensor = 57 °C = 330 K
2. Temperatur *out* kondensor = 35 °C = 308 K
3. Temperatur *in* evaporator = -24 °C = 249 K
4. Temperatur *out* evaporator = -9 °C = 264 K
5. Pressure *Discharge* (abs) = 16,87 Bar
6. Pressure *Suction* (abs) = 2,04 Bar



Gambar 6. Diagram p-h freezer dengan sudut kemiringan panel 0°

Nilai entalpi diperoleh sebagai berikut :

- $h_1 = 363$ kJ/kg
- $h_2 = 407$ kJ/kg
- $h_3 = h_4 = 254$ kJ/kg
- Menentukan kerja kompresi (q_w)

Yaitu jumlah kerja kompresi per satuan massa, dapat diperhitungkan dengan persamaan :

$$q_w = h_2 - h_1 \quad (2)$$

$$= 407 - 363 = 44 \text{ kJ/kg}$$

- Menentukan kalor yang dilepas (q_c)
 Yaitu jumlah panas refrijeran yang dilepas dari condenser dapat diperoleh dengan persamaan :

$$q_c = h_2 - h_3 \quad (3)$$

$$= 407 - 254 = 153 \text{ kJ/kg}$$

- Menentukan efek refrigerasi (q_e)
 Yaitu jumlah panas yang diserap oleh evaporator, dapat diperoleh dengan persamaan :

$$q_e = h_1 - h_4 \quad (4)$$

$$= 363 - 254 = 109 \text{ kJ/kg}$$

- Menentukan *coefficient of performance* (COP_R) dapat dibagi menjadi :

- o COP aktual

Jumlah COP aktual yaitu perbandingan antara efek refrigerasi dan kerja kompresi :

$$COP \text{ actual} = \frac{q_e}{q_w} = \frac{109}{44} = 2,47 \quad (5)$$

- o COP carnot

COP secara teoritis untuk sistem refrigerasi yang dinyatakan oleh teorema Carnot yang direduksi menjadi persamaan :

$$COP \text{ carnot} = \frac{T_e}{T_c - T_e} = \frac{249}{308 - 249} = 4,22 \quad (6)$$

- Menentukan Efisiensi refrigerasi dari sistem freezer buah mangga (η_R)

$$\eta_R = \frac{COP_{aktual}}{COP_{carnot}} \times 100\%$$

$$= \frac{2,47}{4,22} \times 100\%$$

$$= 0,58 \times 100\%$$

$$= 58\%$$

Konsumsi daya listrik untuk freezer tenaga surya

Untuk pemakaian freezer buah mangga biasanya konsumsi daya tergantung dari daya yang dinyalakan selama 3 jam sehingga untuk menghitung konsumsi daya listrik yang di pakai adalah [9]:

$$P = V \times I \times \cos\phi \quad (7)$$

Untuk freezer dengan sudut kemiringan panel surya 0°

Diketahui :

$$V = 219 \text{ Volt}$$

$$I = 2,8 \text{ A}$$

$$\cos\phi = 0,7$$

$$P = V \times I \times \cos\phi$$

$$= 219 \text{ V} \times 2,8 \text{ A} \times 0,7$$

$$= 613,2 \text{ Watt}$$

Untuk konsumsi daya listrik setiap hari dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Pemakaian / hari} : (P/1000) \times \text{waktu pemakaian} \quad (8)$$

Diketahui : $P = 613,2$ Watt

$$\text{Pemakaian per hari} = \frac{P}{1000} \times \text{waktu pemakaian}$$

$$= \frac{613,2}{1000} \times 3 \text{ jam}$$

$$= 1,84 \text{ kWh}$$

Untuk hasil perhitungan yang lain dengan perhitungan yang sama dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1. Perbandingan kinerja sistem pembekuan buah mangga untuk berbagai sudut kemiringan panel surya

Variabel Perhitungan	Sudut Kemiringan Panel Surya		
	0°	20°	40°
Intensitas Cahaya (W/m ²)	961,7	751,6	921,4
Daya <i>Input</i> Panel surya (watt)	336,5	373,7	336,5
Efisiensi panel surya (%)	12	20	12
Kerja kompresi (Kj/kg)	44	51	30
Efek refrigerasi (Kj/kg)	109	106	108
COP _{actual}	2,47	2,07	3,6
COP _{carnot}	4,22	3,65	4,11
Efisiensi pembekuan (%)	58	57	59
Konsumsi daya per hari (kWh)	1,84	1,22	1,62

Dari tabel 1 diatas dapat kita lihat kinerja pada masing-masing variasi sudut kemiringan panel surya. Dimana nilai efisiensi panel surya yang paling besar diperoleh pada sudut kemiringan 20° yaitu 20%, sedangkan untuk nilai efisiensi pendinginan beku hampir tidak ada perbedaan yang signifikan, hanya pada sudut 20° nilainya cukup rendah dibanding dengan yang lain yaitu 57%, hal ini dikarenakan kerja kompresi yang dibutuhkan cukup besar, sementara efek refrigerasi yang dihasilkan kecil. Dari tabel diatas juga dapat dilihat konsumsi daya listrik yang paling besar pada freezer dengan sudut kemiringan panel surya 0°, dan yang paling rendah pada sudut kemiringan panel surya 20°.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan perhitungan data yang di peroleh, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil analisis kinerja sistem *freezer* buah mangga tenaga surya yaitu:

- a. Nilai efisiensi panel surya yang paling tinggi diperoleh pada sudut kemiringan panel 0° di peroleh sebesar 20% sedangkan yang lain diperoleh cukup rendah dengan nilai sama pada sudut kemiringan panel 0° dan 40° sebesar 12%;

[10] Teach Integration, 2008. *Diagram p-h R404A*, (Update: 2010), [Online]. Available at: <https://teachintegration.files.wordpress.com/2010/> [Accessed 19 January 2023]

b. Nilai efisiensi pendinginan beku (*freezing*) hampir tidak ada perbedaan yang signifikan, hanya pada sudut 20° nilainya cukup rendah dibanding dengan yang lain yaitu 57%.

2. Sistem *freezer* buah mangga tenaga surya untuk pengoperasian selama 3 jam dalam sehari yang membutuhkan konsumsi energi listrik paling rendah sebesar 1,219 kWh yaitu pada sudut kemiringan panel surya 20°.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Politeknik Negeri Indramayu (Polindra) yang dalam hal ini telah mendanai dan memfasilitasi kegiatan penelitian ini khususnya kepada Unit P3M (Penelitian Pengabdian Kepada Masyarakat) sebagai unit koordinator untuk menangani semua kegiatan penelitian dan pengabdian masyarakat ini di lingkungan internal kampus. Kepada rekan-rekan dosen dan mahasiswa khususnya di Jurusan Teknik Pendingin dan Tata Udara Program Studi Teknik Pendingin dan Tata Udara yang telah banyak membantu mulai dari pembuatan alat pengering padi sampai selesainya dalam penelitian ini.

Daftar Rujukan

- [1] Dossat, R., J. 1981. *Principles of Refrigeration Second Edition SI Version*. Canada: Jhon Wiley and Sons, Inc.
- [2] Rasmikayati, E., dkk. 2018. *Kajian Potensi dan Kendala dalam Proses Usaha Tani dan Pemasaran Mangga di Kabupaten Indramayu*, Jurnal Ilmu-ilmu Sosial dan Humaniora, Vol. 20, No. 3, Hal. 215 – 221, ISSN 1411 - 0903
- [3] Setyadjit, W. dan Sulusi, P. 2005. *Agroindustri puree mangga: mengatasi panen berlimpah*, Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian, vol. 27, no. 5, hal. 4-5.
- [4] Amiarsi, D dan Mulyawanti, I. 2013. *Pengaruh Metode Pembekuan Terhadap Karakteristik Irisan Buah Mangga Beku Selama Penyimpanan*, J. Hort. 23(3) hal.255-262.
- [5] Roza, E. dan Mujirudin, M. 2019: *Perancangan Pembangkit Tenaga Surya Fakultas Teknik UHAMKA*, JKTE, Vol.4, No.1, Universitas 17 Agustus, Jakarta, EISSN : 2502-8464
- [6] Kurniawan, Y., dkk. 2022. Analisis Pemanfaatan Energi Surya Sistem Hibrid Untuk Pembekuan (*Freezing*) Buah Mangga.
- [7] Kurniawan, Y., et al. 2020. *Development of Hot Water Storage in Hybrid-Solar Thermal Air Conditioning Sistem*, J. Phys.: Conf. Ser. 1511 012123, IOP Publishing.
- [8] Kurniawan, Y., dkk. 2020, *Analisis Kinerja Pemanfaatan Tenaga Surya pada AC Split dengan Refrijeran R22*, Prosiding Seminar Nasional NCIET Vo.1 B29-B35, Semarang, E-ISSN: 2746-0975
- [9] Esye, Y., dan Lesmana, S. 2021, *Analisa Perbaikan Faktor Daya Sistem Kelistrikan*, Jurnal Sains & Teknologi, FT Universitas Darma Persada, Vol.11, No.1, ISSN: 2088-060X, Hal.103-113