

ANALISA NILAI KOEFISIEN PRESTASI (COP) LEMARI PEMBEKU YANG DIHASILKAN OLEH SOLAR CELL

Sudirman Lubis¹, Munawar A Siregar², Wawan Septiawan Damanik³,
Irpansyah siregar⁴, Edi Sarman Hasibuan⁵, Cholish⁶

Teknik Mesin^{1,2,3}, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Teknik Mesin^{4,5}, Fakultas Teknik, Universitas Amir Hamzah

Teknik Listrik⁶, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Medan

sudirmanlubis@umsu.ac.id¹, munawaralfansury@umsu.ac.id², wawanseptiawan@umsu.ac.id³,
irpansyahsiregar@gmail.com⁴, edisarmanhsb@gmail.com⁵, cholish@polmed.ac.id⁶

ABSTRAK

Penggunaan mesin pembeku saat ini sudah menjadi kebutuhan masyarakat luas, dikarenakan sangat membantu manusia dalam kehidupan sehari-hari. Beban pendingin yang diberikan sangat mempengaruhi kinerja mesin Pembeku, baik dari konsumsi energi listrik maupun kemampuan yang akan meningkatkan waktu pemakaian sistem yang lebih lama. Semakin besar beban pendingin akan meningkatkan penggunaan energi listrik saat pengoperasian. Hal ini sangat mengkhawatirkan dimasa kedepannya dimana isu menipisnya sumber energi fosil yang saat ini menjadi prioritas penghasil energi listrik semakin banyak dan memenuhi media. Beberapa tahun terakhir, energi matahari diisukan menjadi jawaban dari masalah tersebut. Dimana energi panas dari matahari dimanfaatkan untuk menggerakkan proton dan elektron pada suatu media panel surya untuk menghasilkan energi listrik yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan masyarakat banyak. Hal ini menjadi daya tarik peneliti untuk membuat sebuah inovasi pemanfaatan energi matahari pada sebuah sistem lemari pembeku. Dilihat dari roadmap penelitian terkait dengan energi matahari dan sistem kompresi uap pada lemari pembeku yang dilansir beberapa tahun terakhir, belum banyak dilakukan inovasi pembaruan dalam penggunaan sumber energinya. Beban pendingin yang akan digunakan akan disesuaikan dengan kapasitas dari sumber energi yang digunakan yaitu berdaya 410 WP. Dengan kapasitas lemari pembeku yang digunakan berdaya 1/4 PK yang akan ditingkatkan kemampuannya/efisiensi untuk dapat digunakan dan menggantikan lemari pembeku berenergi listrik berbayar. Hal ini diharapkan berguna bagi khalayak masyarakat dan menyumbang ilmu pengetahuan dan membantu mewujudkan roadmap universitas dimasa kedepan.

Kata Kunci : Nilai COP, Waktu Pendinginan, *Solar Cell*

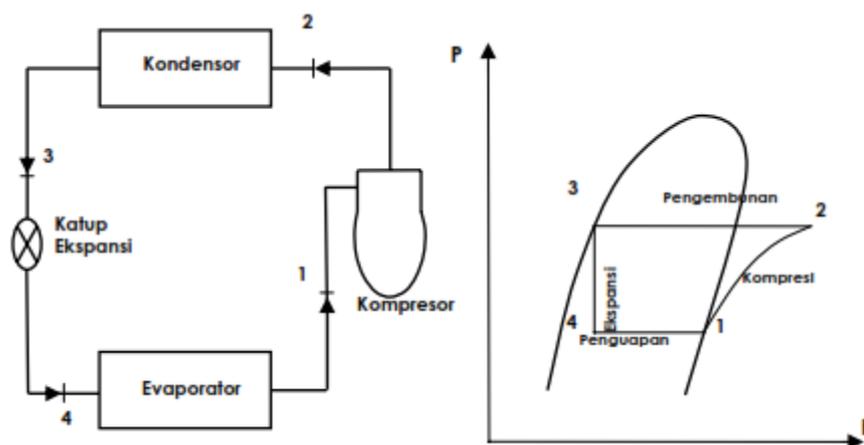
PENDAHULUAN

Kebutuhan akan listrik baik untuk kalangan industri, perkantoran, maupun masyarakat umum dan perorangan sangat meningkat. Peningkatan kebutuhan listrik ini mengakibatkan terjadinya krisis energi. Untuk itu, energi surya dipilih sebagai energi alternatif untuk menghasilkan energi listrik. Sebuah modul panel surya bekerja secara maksimal untuk merubah energy surya menjadi energi matahari pada suhu sekitar 25 derajat Celcius dengan kapasitas produksi 1 kW/m². Namun ketika beroperasi di lapangan, panel surya biasanya akan menerima panas akibat radiasi matahari sehingga suhu dari panel melebihi nilai suhu optimalnya yang mengakibatkan kinerja dan efisiensi sel surya *monocrystalline* dan *polycrystalline* turun drastis ketika suhu naik[1]. Pada saat ini khususnya diperkotaan, mesin pendingin dapat dijumpai pada hampir setiap pertokoan, gedung-gedung kantor dan rumah tangga. Mesin pendingin dapat berupa refrigerator, freezer, chiller serta air conditioning (pengkondisian udara). Penggunaan mesin pendingin yang paling umum yaitu untuk pengkondisian ruangan dan pengawetan bahan makanan atau minuman. Tujuan utama sistem pengkondisian udara adalah mempertahankan keadaan udara didalam ruangan yang meliputi pengaturan temperatur, kelembaban relatif, kecepatan sirkulasi udara maupun kualitas udara. Sistem pengkondisian udara yang dipasang harus mempunyai kapasitas pendinginan yang tepat dan dapat dikendalikan dalam pengoperasiannya. Kapasitas peralatan yang dapat diperhitungkan berdasarkan beban pendinginan setiap saat yang senantiasa berubah-ubah [2].

KAJIAN PUSTAKA

Pendingin

Beban pendinginan sebenarnya adalah jumlah panas yang dipindahkan oleh sistem pengkondisian udara setiap waktu. Beban pendinginan terdiri atas panas yang berasal dari ruang dan tambahan panas. Tambahan panas adalah jumlah panas setiap saat yang masuk kedalam ruang melalui kaca secara radiasi maupun melalui dinding akibat perbedaan temperatur, pengaruh penyimpanan energi pada struktur bangunan, serta peralatan-peralatan listrik seperti lampu dan peralatan elektronik lainnya. Mesin pendingin merupakan salah satu mesin yang mempunyai fungsi utama untuk mendinginkan zat sehingga temperaturnya lebih rendah dari temperatur lingkungan. Komponen utama dari mesin pendingin yaitu kompresor, kondensator, alat ekspansi dan evaporator, serta refrigeran sebagai fluida kerja yang bersirkulasi pada bagian-bagian tersebut[3].



Gambar 1. Komponen Utama dari Mesin Pendingin dan Diagram P-h

Sistem Kerja Pada Mesin Pendingin

Saat refrigeran mengalir melalui Evaporator, perpindahan panas dari ruangan yang didinginkan menyebabkan Refrigeran menguap. Dengan mengambil Refrigeran dari Evaporator sebagai volume atur, dari keseimbangan massa dan Hukum Termodinamika I di peroleh perpindahan panas sebesar :

$$Q_e = \dot{m}(h_1 - h_4)(Kw) \dots (1)$$

Refrigeran meninggalkan Evaporator kemudian masuk ke Kompresor. Selanjutnya Refrigeran dikompresi hingga tekanan dan temperaturnya bertambah tinggi. Diasumsikan tidak ada perpindahan panas dari dan ke Kompresor. Dengan menerapkan keseimbangan massa dan laju energi (Hukum Termodinamika I) pada volume atur yang melingkupi Kompresor, didapat Daya Kompresor yaitu :

$$P = \dot{m}(h_2 - h_1)(Kw) \dots (2)$$

Kemudian Refrigeran mengalir melalui kondensator, dimana refrigeran mengembun dan memberikan panas ke udara sekitar yang lebih rendah temperaturnya. Untuk volume atur melingkupi refrigeran di Kondensator, laju perpindahan panas dari refrigeran adalah

$$Q_c = \dot{m}(h_2 - h_3)(Kw) \dots (3)$$

Akhirnya, Refrigeran pada state 3 masuk alat ekspansi dan berekspansi ke tekanan Evaporator. Tekanan Refrigeran turun dalam ekspansi yang ireversibel dan dibarengi dengan adanya kenaikan entropy jenis. Refrigeran keluar katup ekspansi pada titik 4 yang berupa fase campuran uap – cair. Kualitas uap yang terkandung pada titik 4 dapat dicari dengan persamaan [4] :

$$x_1 = \frac{h_4 - h_{f4}}{h_{fg4}} \dots (4)$$

Dimana :

h_{f4} = Enthalpy spesifik cairan jenuh (KJ/Kg)

h_{fg} = Enthalpy spesifik campuran

h_g = Enthalpy spesifik uap jenuh (KJ/Kg)

Beban Pendinginan

Beberapa faktor yang perlu diperhatikan pada waktu melakukan perhitungan beban pendinginan dan penentuan perlengkapan sistem tata udara serta sistem control, antara lain : penggunaan atau fungsi ruang, jenis konstruksi bangunan, pola beban pengkondisian, kondisi dalam ruangan. Pada tahap perencanaan, perhitungan beban pendinginan yang tepat harus dilakukan karena hasil perhitungan beban pendinginan yang tepat akan menjadi dasar untuk pemilihan jenis dan kapasitas peralatan pendinginan. Didalam ruang Pengajaran Umum beban pendinginan ada 2 macam,yaitu : Beban sensibel dan beban laten. Beban sensibel antara lain : beban kalor melalui dinding, atap, langit-langit, lantai, peralatan listrik (komputer dan lampu) karena beban infiltrasi ruangan. Dinding yang terbuat dari bahan triplek dan kaca tidak terdapat beban kalor karena tidak terkena panas radiasi matahari. Sedangkan beban kalor laten antara lain: penghuni (orang) dan beban kalor pada infiltrasi ruangan. Sebelumnya ditentukan dulu kondisi ruangan perancangan sebelum melakukan perhitungan beban kalor dari ruangan tersebut [5].

Solar Cell

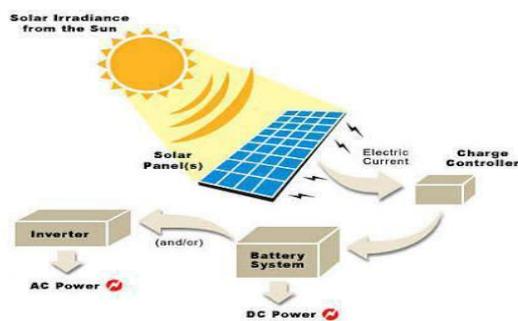
Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik. Panel surya sering disebut sel *PhotoVoltaic* yang dapat diartikan sebagai “cahaya-listrik”. Sel surya atau sel *PhotoVoltaic* untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan. Sel surya perlu dilindungi dari kelembaban dan kerusakan mekanis karena hal ini dapat merusak efisiensi panel surya secara signifikan, dan menurunkan masa pakai dari yang diharapkan. Panel surya merupakan pembangkit listrik yang mampu mengkonversi penyinaran matahari yang diubah menjadi energi listrik. Energi matahari sesungguhnya merupakan sumber energi yang menjanjikan mengingat sifatnya *continue* serta jumlahnya yang besar dan melimpah ketersediaannya. Matahari merupakan sumber energi yang diharapkan dapat mengatasi atau memecahkan permasalahan kebutuhan energi masa depan setelah berbagai sumber energi konvensional berkurang jumlahnya serta tidak ramah terhadap lingkungan. Panel surya juga memiliki kelebihan menjadi sumber energi yang praktis dan ramah lingkungan mengingat tidak membutuhkan transmisi seperti jaringan listrik konvensional, karena dapat dipasang secara modular disetiap lokasi yang membutuhkan[6].



Gambar 2. Solar Cell

METODE PENELITIAN

Sinar matahari menjadi listrik dengan panel photovoltaik, kebanyakan menggunakan *Poly Crystalline Sillicon* sebagai material semikonduktor *photo cell* mereka. Prinsipnya sama dengan prinsip diode p-n [7,8].



Gambar 3. Prinsip Kerja Panel Surya

Adapun langkah – langkah pengujian *performance* pada lemari pembeku terhadap beban pendingin sebagai berikut :

1. Melakukan pengujian *solar cell* di tempat terbuka yang mendapat sinar matahari, pengujian dilakukan pada pukul 07:00 wib sampai 15:00 wib.
2. Mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan dari keluaran *solar cell*
3. Memasang lemari pembeku dan memastikan terpasang dengan panel surya.
4. Selanjutnya menjalankan alat uji sampai sistem dan aliran refrigerannya stabil.
5. Catat temperatur dan waktu yang ditunjukkan oleh alat pengukur temperatur dan *stopwatch*.
6. Catat waktu yang dibutuhkan keseluruhan dari suhu 25⁰ C sampai suhu 0⁰C.



Gambar 4. Lemari Pembeku Menggunakan Solar Cell

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Arus dan Daya Pada *Solar Cell*

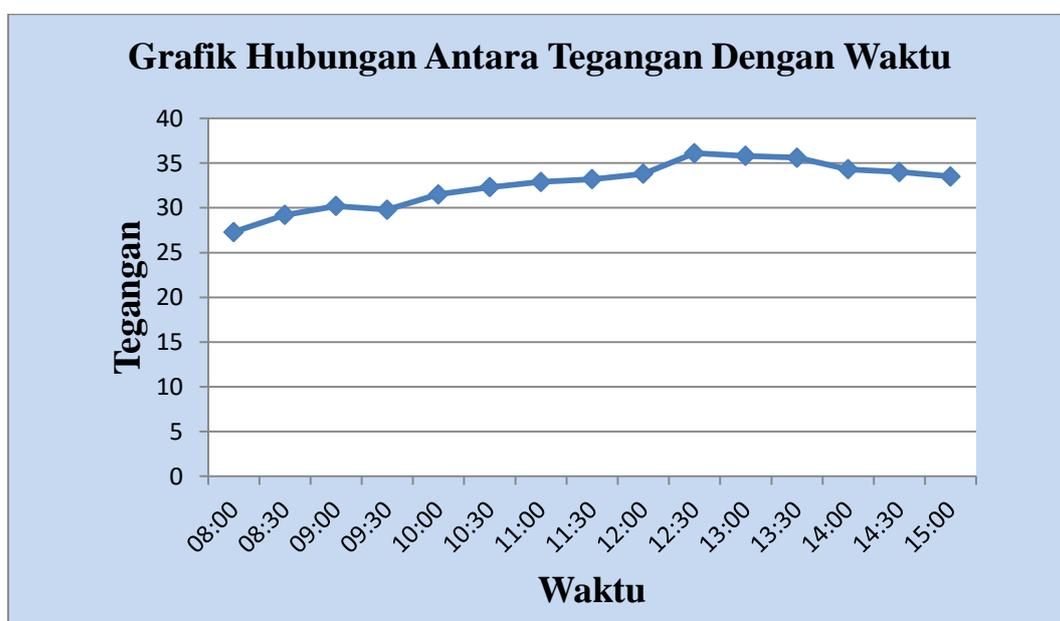
Pemasangan sebuah panel sel surya pada posisi kemiringan 40°, terhadap sudut datang matahari seperti Gambar di atas. Dari panel sel surya. Pengambilan data posisi/sudut matahari sangat diperlukan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pergeseran sudut matahari pada selang waktu tertentu. Pengambilan data ini dilakukan pukul 08.00 hingga pukul 17.00. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Pengujian pada Tanggal 09 Agustus 2020

No	Waktu	Arus	Tegangan	Daya
1	8:00	6,84	27,3	186,732
2	8:30	7,31	29,2	213,452
3	9:00	7,55	30,2	228,01

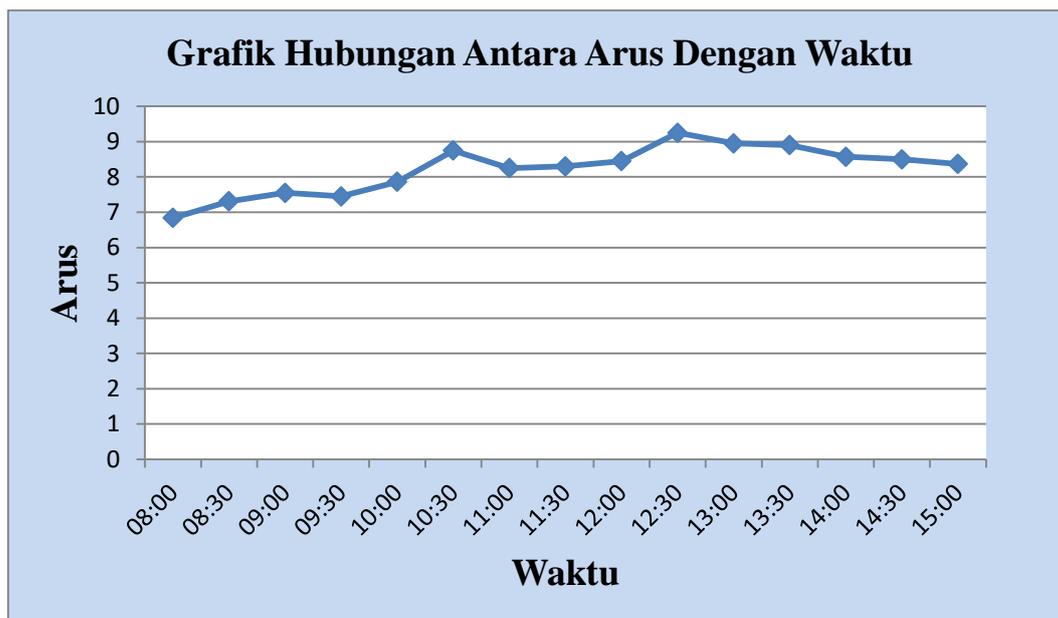
4	9:30	7,45	29,8	222,01
5	10:00	7,86	31,5	247,59
6	10:30	8,75	32,3	282,625
7	11:00	8,25	32,9	271,425
8	11:30	8,30	33,2	275,56
9	12:00	8,45	33,8	285,61
10	12:30	9,25	36,1	333,925
11	13:00	8,95	35,8	320,41
12	13:30	8,90	35,6	316,84
13	14:00	8,57	34,3	293,951
14	14:30	8,50	34,0	289
15	15:00	8,37	33,5	280,395
TOTAL		123,3	489,5	4047,535

Tabel 1 merupakan hasil dari pengujian untuk mengetahui perbandingan arus, tegangan dan daya yang dihasilkan oleh panel surya. Hasil dari tabel 1 diambil dari hari pertama pada tanggal 6 Desember 2020 dan mulai dari pukul 08.00 WIB sampai dengan 15.00 WIB. Untuk melihat hasil dari perbandingan arus, tegangan dan daya dapat dilihat pada gambar grafik berikut :



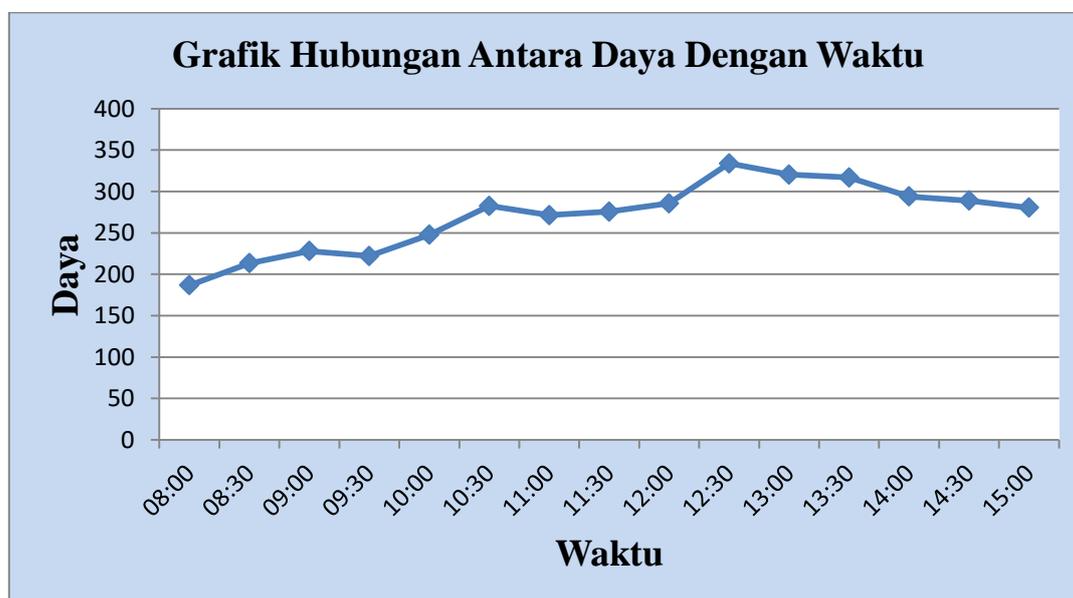
Gambar 5. Grafik Hubungan antara Waktu dengan Tegangan

Dari tabel 1 data pengujian dapat diperoleh dan dapat membuat grafik hubungan antara waktu dengan tegangan seperti yang dijelaskan pada gambar 5 Tegangan tertinggi yang di dapat yaitu 36,1 V pada pukul 12.30 WIB. Pada pukul 13:00 posisi panel diubah menjadi menghadap kearah barat sampai pukul 15:00, yang dimana pada pukul 08:00 hingga 12:30 posisi panel menghadap kearah timur. Tegangan maksimum yang di dapat mencapai 36,1 V pada pukul 12.30 WIB, sedangkan tegangan minimum yang didapat yaitu 27,3 V pada pukul 08:00.



Gambar 6. Grafik Hubungan antara Arus dengan Waktu

Dari gambar 6 menjelaskan tentang grafik dari hubungan antara arus dengan waktu. Pengujian ini juga dilakukan mulai pukul 08:00 hingga 15:00 dengan pengambilan hasil pengujian setiap 30 menit. Dari gambar 6 terlihat arus naik dengan stabil walaupun mengalami penurunan pada pukul 9:30 dan kembali naik pada pukul 10:00 sampai 10:30 WIB. Arus maksimum yang dihasilkan 9,25 Ampere pada pukul 12:30 WIB dan arus minimum yaitu 6,84 Ampere pada pukul 8:00 WIB.



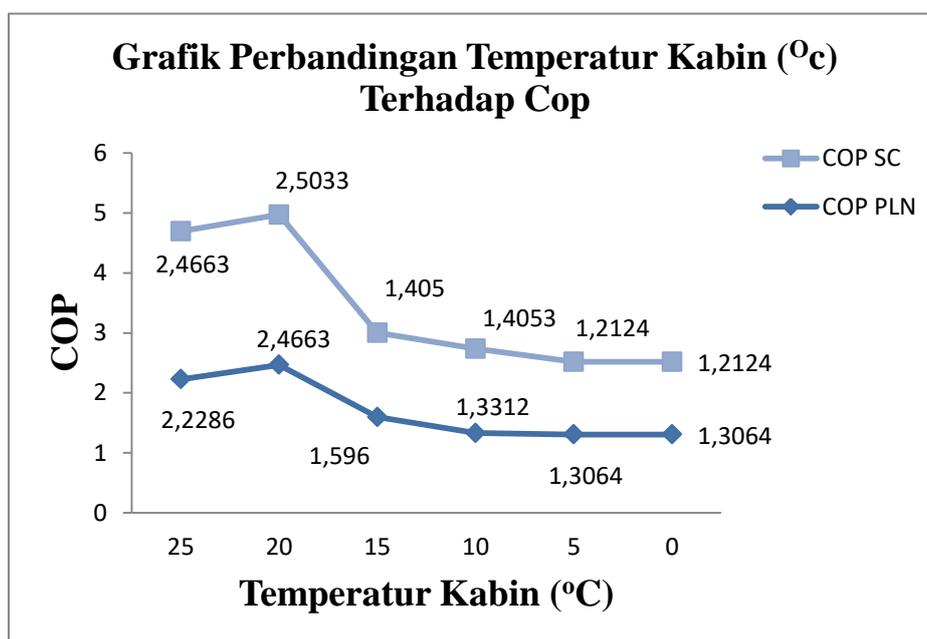
Gambar 7. Grafik antara Waktu dengan Daya

Dari gambar 8 memperlihatkan tentang grafik hubungan antara waktu dengan daya. Hasil dari daya didapat dari hasil perkalian dari tegangan (V) dengan kuat arus (I) di setiap 30 menit, dimulai dari pukul 08.00 WIB sampai dengan pukul 15.00 WIB. Seperti di jelaskan pada gambar 8 sangat terlihat jelas daya yang di dihasilkan pada pukul 08.00 WIB sampai 09.00 WIB terjadi kenaikan daya secara konstan mulai dari 186,732 watt sampai 228,01 watt dan terjadi penurunan pada pukul 09.30 WIB yaitu 222,01 watt, namun pada pukul 10.00 WIB mengalami kenaikan kembali menjadi 247,59 watt. Mulai pukul 10.30 WIB daya naik sedikit dan mengalami penurunan kembali sampai pada pukul 12.00 WIB dan daya mencapai 285,61 Watt akan tetapi pada pukul 12:30 WIB daya mengalami

kenaikan yang sangat tinggi yaitu 333,925 Watt Kemudian mulai pukul 12.30 WIB sampai pukul 15:00 WIB mengalami penurunan daya menjadi 280,395 Watt [9].

Tabel 2. Hasil nilai COP dari Lemari Pembeku pada Suhu 25⁰ sampai 0⁰

T Kabin (°c)	25	20	15	10	5	0
P1/Low Pressure (Bar)	1,1	1,4	0,6	0,4	0,4	0,3
P2/Low Pressure (Bar)	13,2	14,6	15,3	16,2	16,8	15,2
COP PLN	2,2286	2,4663	1,596	1,3312	1,3064	1,3064
COP SC	2,2436	2,5033	1,405	1,4053	1,2124	1,2124



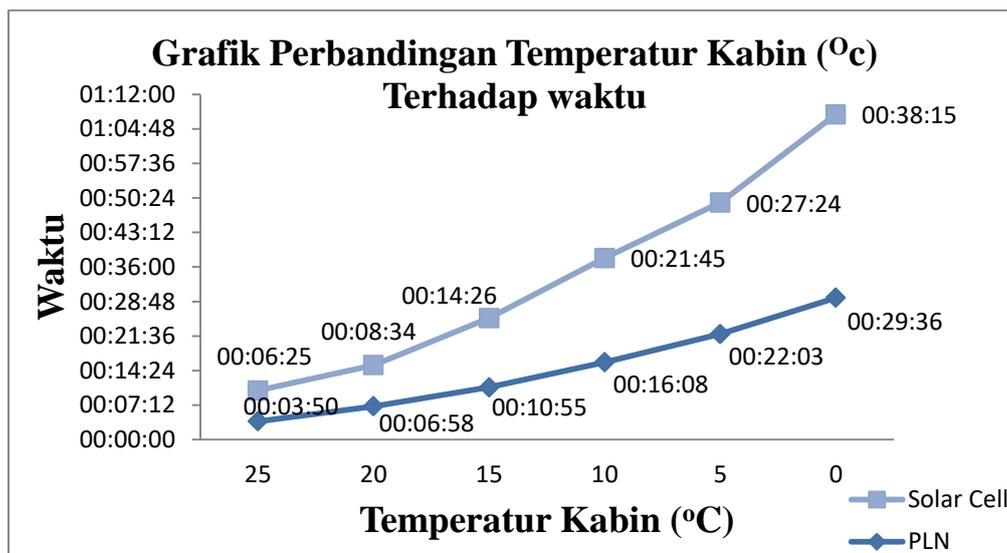
Gambar 8. Grafik Temperature Kabin terhadap COP

Pada Gambar 8. terlihat jelas nilai COP yang di dapat oleh solar cell lebih tinggi di bandingkan dengan nilai COP yang di dapat oleh arus listrik PLN. Pada temperatur 25⁰C nilai COP dari Solar Cell 2,4663 dan mengalami kenaikan pada temperatur 20⁰C sebesar 2,5033 dan mengalami penurunan drastis sampai temperatur 0⁰C sebesar 1,2124. Sedangkan pada temperatur 25⁰C nilai COP dari arus listrik PLN 2,2286 dan mengalami kenaikan pada temperatur 20⁰C sebesar 2,4663 dan mengalami penurunan dan akhirnya setabil pada temperatur 0⁰C sebesar 1,3064 [10].

Hasil Pengamatan temperatur kabin lemari pembeku terhadap waktu yang dibutuhkan untuk mencapai titik 0⁰C.

Tabel 3. Hasil Waktu dari Lemari Pembeku Suhu 25⁰C sampai 0⁰

T Kabin (°c)	25	20	15	10	5	0
Waktu PLN	3:50	6:58	10:55	16:08	22:03	29:36
Waktu Solar Cell	6:25	8:34	14:26	21:45	27:24	38:15



Gambar 9. Grafik Perbandingan Temperature Kabin terhadap Waktu

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan bahawasannya nilai COP pada temperatur 25⁰C sampai 0⁰C yang dihasilkan oleh aliran arus listrik PLN adalah :

2,2286 2,4663 1,596 1,3312 1,3064 1,3064

Dengan waktu yang dibutuhkan lemari pembeku dengan menggunakan aliran listrik PLN untuk mencapai titik beku 0⁰C adalah :

00:3:50 00:6:58 00:10:55 00:16:08 00:22:03 00:29:36

Sedangkan nilai COP yang dihasilkan oleh aliran arus listrik dari *solar cell* adalah :

2,2436 2,5033 1,405 1,4053 1,2124 1,2124

Dengan waktu yang dibutuhkan lemari pembeku dengan menggunakan aliran listrik *solar cell* untuk mencapai titik beku 0⁰C adalah :

00:6:25 00:8:34 00:14:26 00:21:45 00:27:24 00:38:15

Kemudian tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh solar cell 410 WP adalah sebagai berikut :

1. Daya optimal yang dihasilkan oleh *solar cell* 410 WP sebesar 333,925 Watt.
2. Tegangan optimal yang dihasilkan oleh *solar cell* 410 WP sebesar 36,1 Volt.
3. Arus optimal yang dihasilkan oleh *solar cell* 410 WP sebesar 9,25 Ampere.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Politeknik Negeri Medan melalui Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- H. Wang, Z. Lu, Z. Yang, and X. Li, "In-plane dynamic crushing behaviors of a novel auxetic honeycomb with two plateau stress regions," *Int. J. Mech. Sci.*, vol. 151, pp. 746–759, 2019, doi: 10.1016/j.ijmecsci.2018.12.009.

- A. Atiqah, M. N. M. Ansari, and L. Premkumar, "Impact and hardness properties of honeycomb natural fibre reinforced epoxy composites," *Mater. Today Proc.*, vol. 29, no. November 2018, pp. 138–142, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2020.05.645.
- H. Fan, Y. Luo, F. Yang, and W. Li, "Approaching perfect energy absorption through structural hierarchy," *Int. J. Eng. Sci.*, vol. 130, pp. 12–32, 2018, doi: 10.1016/j.ijengsci.2018.05.005.
- A. Redmann, M. C. Montoya-ospina, R. Karl, N. Rudolph, and T. A. Osswald, "High-force dynamic mechanical analysis of composite sandwich panels for aerospace structures," *Compos. Part C Open Access*, p. 100136, 2021, doi: 10.1016/j.jcomc.2021.100136.
- A. Ajdari, H. Nayeb-Hashemi, and A. Vaziri, "Dynamic crushing and energy absorption of regular, irregular and functionally graded cellular structures," *Int. J. Solids Struct.*, vol. 48, no. 3–4, pp. 506–516, 2011, doi: 10.1016/j.ijsolstr.2010.10.018.
- S. Xie, K. Jing, H. Zhou, and X. Liu, "Mechanical properties of Nomex honeycomb sandwich panels under dynamic impact," *Compos. Struct.*, vol. 235, p. 111814, 2020, doi: 10.1016/j.compstruct.2019.111814.
- Setyawan, E. Y., & Ambarita, H. (2018). A preliminary field test of a natural vacuum solar desalination unit using hybrid solar collector. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/1.5046598>.
- Rosiek, S., Romero-Cano, M. S., Puertas, A. M., & Batlles, F. J. (2019). Industrial food chamber cooling and power system integrated with renewable energy as an example of power grid sustainability improvement. *Renewable Energy*, 138, 697–708. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.010>.
- Lin, L., Liu, X., Zhang, T., Liu, X., & Rong, X. (2021). Cooling load characteristic and uncertainty analysis of a hub airport terminal. *Energy and Buildings*, 231(xxxx), 110619. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110619>.
- Buntu, T. R., Sappu, F. P., & Maluegha, B. L. (2016). Analisis Beban Pendinginan Produk Makanan Menggunakan Cold Box Mesin Pendingin LUCAS NULLE TYPE RCC2. *Jurnal Online Poros Teknik Mesin*, 6 (1), 20–31.