

# PERANCANGAN *WATER CHILLER* PENGKONDISI MEDIA TANAM HIDROPONIK DEEP FLOW TECHNIQUE UNTUK TANAMAN SELADA (*LACTUCA SATIVA*)

## DESIGN OF A *WATER CHILLER* FOR CONDITIONING HYDROPONIC MEDIA USING THE DEEP FLOW TECHNIQUE FOR LETTUCE (*LACTUCA SATIVA*)

Anas Akbar<sup>1</sup>, Ranufani Mahameru Timur Angin<sup>1</sup>, Muhammad Arman<sup>1</sup>, Arda Rahardja  
Lukitobudi<sup>1</sup>, Bowo Yuli Prasetyo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung  
Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat, Indonesia

\*Email corresponding: bowo\_yuli@polban.ac.id

**Cara sitasi :** A. Akbar, R.M.T. Angin, M. Arman, A.R.Lukitobudi, and B.Y.Prasetyo " Perancangan Water Chiller Pengkondisi Media Tanam Hidroponik Deep Flow Technique untuk Tanaman Selada (*Lactuca Sativa*)," *Kurvatek*, vol. 9, no. 2, pp. xx-xx, 2024. doi: 10.33579/krvtk.v9i2.4997 [Online].

**Abstrak** — Keterbatasan lahan dan perubahan iklim ekstrem menjadi tantangan utama dalam pertumbuhan tanaman yang optimal. Salah satu solusi alternatif untuk mengatasinya adalah pemanfaatan sistem hidroponik dengan air yang dikondisikan. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji kinerja sistem *water chiller* sebagai pengkondisi media tanam untuk budidaya selada hidroponik. Sistem *water chiller* dirancang untuk menyerap kalor dari air sehingga temperaturnya dapat disesuaikan dengan kondisi ideal pertumbuhan tanaman. Air yang telah dikondisikan kemudian digunakan sebagai media tanam selada dengan metode *deep flow technique* (DFT). Dalam penelitian ini, air dijaga pada rentang suhu 15–20°C, menghasilkan beban pendinginan sebesar 694,8 Watt. Sistem pendingin dibangun menggunakan *condensing unit* yang dilengkapi dengan *bare-tube evaporator* yang ditempatkan di dalam *cool box* sebagai media pertukaran kalor dengan air. Pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu menurunkan suhu air hingga 15,9°C dalam waktu 30 menit. Nilai *Coefficient of Performance* (*COP*) yang diperoleh adalah 4,05 untuk *COP actual* (*COP<sub>a</sub>*) dan 5,13 untuk *COP Carnot* (*COP<sub>c</sub>*), dengan efisiensi refrigerasi mencapai 78,98%. Hasil panen menunjukkan bahwa selada hidroponik yang ditanam selama 18 hari memiliki massa sebesar 0,65 kg.

**Kata kunci:** Sistem *water chiller*, Selada, Hidroponik, *Deep Flow Technique*.

**Abstract** — Land scarcity and extreme climate changes pose significant challenges to achieving optimal plant growth. One alternative solution to address these issues is the utilization of hydroponic systems with conditioned water. This study aims to design and evaluate the performance of a water chiller system as a medium conditioner for hydroponic lettuce cultivation. The water chiller system is designed to absorb heat from the water, allowing its temperature to be adjusted to the ideal conditions for plant growth. The conditioned water is then used as a growing medium for lettuce using the deep flow technique (DFT) method. In this study, water was maintained at a temperature range of 15–20°C, resulting in a cooling load of 694.8 Watts. The cooling system utilizes a condensing unit equipped with a bare-tube evaporator placed in a cool box, which serves as the heat exchange medium with the water. Testing showed that the system could reduce the water temperature to 15.9°C within 30 minutes. The system achieved a Coefficient of Performance-actual (*COP<sub>a</sub>*) of 4.05 and a Coefficient of Performance-Carnot (*COP<sub>c</sub>*) of 5.13, with a refrigeration efficiency of 78.98%. The harvest results indicated that hydroponic lettuce cultivated over 18 days had a mass of 0.65 kg.

**Keywords:** Water chiller System, Lettuce, Hydroponics, *Deep Flow Technique*.

## I. PENDAHULUAN

Sayuran pada saat ini merupakan bahan makanan yang banyak dikonsumsi, terlebih di zaman yang banyak menerapkan hidup sehat seperti vegan atau vegetarian. Namun, pada saat ini pesatnya pembangunan di perkotaan maupun pedesaan mengakibatkan berkurangnya lahan pertanian untuk bercocok tanam. Selain

itu, perubahan iklim dan cuaca yang ekstrem, seperti meningkatnya temperatur lingkungan dan masalah polusi yang semakin memburuk, sering kali mengakibatkan tanaman gagal panen, bahkan mati sebelum sempat tumbuh [1]-[3].

Hidroponik merupakan cara menumbuhkan tanaman yang tidak membutuhkan banyak lahan [4]-[6]. Hidroponik memiliki beberapa metode, salah satunya adalah *Deep Flow Technique* (DFT). DFT adalah teknik hidroponik yang mengalirkan air secara terus menerus dengan ketinggian 4-6 cm dan memiliki permukaan yang datar [7]-[11]. Biasanya air yang dialirkan merupakan air dengan temperatur yang tidak dikondisikan, atau temperatur lingkungan, dan diberikan tambahan nutrisi untuk pertumbuhan tanaman [12]-[14]. Untuk mengoptimalkan pertumbuhan tanaman, air yang dialirkan sebaiknya dikondisikan pada temperatur 15°C sampai 20°C [15], [16]. Temperatur air dapat dikondisikan menggunakan sistem *water chiller* yang bekerja berdasarkan prinsip kerja refrigerasi kompresi uap.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem *water chiller* untuk pengkondisian air pada hidroponik dengan metode DFT, dengan tanaman yang menjadi objek kajian adalah selada. Performa sistem terhadap kemampuan pendinginan air kemudian akan dikaji dan dianalisis. Disamping itu akan dilihat pula hasil panen yang diperoleh.

## II. METODE PENELITIAN

Rancang bangun sistem *water chiller* hidroponik diawali dengan tahap perancangan. Data perancangan sistem *water chiller* hidroponik dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Data Perancangan Sistem *Water Chiller* Hidroponik

| Keterangan            | Spesifikasi                 |
|-----------------------|-----------------------------|
| Kompresor             | <i>Hermetic</i>             |
| Kondenser             | <i>Air Cooled Condenser</i> |
| Evaporator            | <i>Bare Tube</i>            |
| Alat Ekspansi         | <i>TXV</i>                  |
| Refrigeran            | R-22                        |
| Produk                | Air                         |
| Massa Produk          | 50 liter                    |
| Temperatur Evaporasi  | 10°C                        |
| Temperatur Kondensasi | 40°C                        |
| Temperatur Lingkungan | 24°C                        |
| <i>Chilling Time</i>  | 1 hours                     |
| <i>Running Time</i>   | 20 hours                    |

Penentuan beban pendinginan dilakukan dengan perhitungan beban transmisi ( $Q_{Trans}$ ), beban produk ( $Q_{BF}$ ), dan beban total pendinginan ( $Q_{Total}$ ) menggunakan persamaan 1 sampai 3 [17].

$$Q_{Trans} = U \times A \times \Delta T \quad (1)$$

$$Q_{BF} = \frac{m \times C_p \times (T_{awal\ produk} - T_{akhir})}{n \times 3600} \quad (2)$$

$$Q_{Total} = Q_{Tran} + Q_{BF} \quad (3)$$

Dengan  $U$ ,  $A$ ,  $\Delta T$ ,  $m$ ,  $C_p$ , dan  $n$  secara berurutan adalah koefisien perpindahan panas menyeluruh ( $W/m^2 K$ ), luas penampang ( $m^2$ ), beda temperatur melalui dinding antara lingkungan dan air ( $K$ ), massa produk ( $kg$ ), kalor spesifik air ( $kJ/kg.K$ ), dan *chilling time* (*hours*).

Evaporator sebagai area penyerapan kalor dari air dibuat dengan pipa tembaga tanpa dilengkapi sirip (*bare-tube*). Kapasitas evaporator dirancang menyesuaikan dengan beban pendinginan yang telah diperoleh. Kebutuhan panjang evaporator diperoleh melalui persamaan 4 hingga 8 [17].

$$h_i = \frac{Nu \times k}{d_i} \quad (4)$$

$$h_o = \frac{Nu \times k}{d_o} \quad (5)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{s}{k} + \frac{1}{h_o} \quad (6)$$

$$\Delta Tm = \frac{(Th_o - Tc_i) - (Th_i - Tc_o)}{\ln \left( \frac{Th_o - Tc_i}{Th_i - Tc_o} \right)} \quad (7)$$

$$L = \frac{Q}{U \times \pi \times di \times \Delta Tm} \quad (8)$$

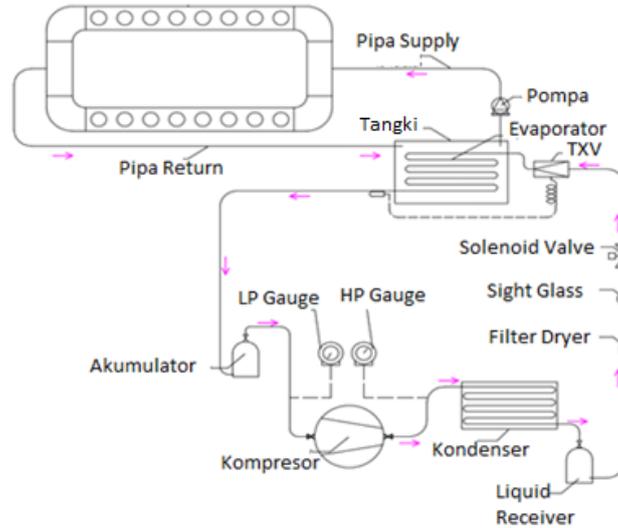
Dengan  $h_i$ ,  $Nu$ ,  $k$ ,  $di$ ,  $h_o$ ,  $d_o$ ,  $U$ ,  $s$ ,  $\Delta Tm$ ,  $Q$ , dan  $L$  secara berurutan adalah koefisien konveksi bagian dalam pipa ( $W/m^2K$ ), bilangan *nusselt*, konduktivitas *thermal* ( $W/m.K$ ), diameter dalam pipa (m), koefisien konveksi bagian luar pipa ( $W/m^2K$ ), diameter luar pipa (m), koefisien konveksi panas menyeluruh ( $W/m^2K$ ), ketebalan pipa (m), rata-rata perbedaan temperatur (K), beban total pendinginan (W), dan panjang pipa evaporator (m).

Setelah diperoleh hasil hitung kapasitas pendinginan dan panjang evaporator untuk sistem yang akan digunakan, selanjutnya dilakukan seleksi komponen. Tabel 2 menampilkan spesifikasi komponen yang digunakan di dalam sistem.

**Tabel 2.** Unit dan Komponen

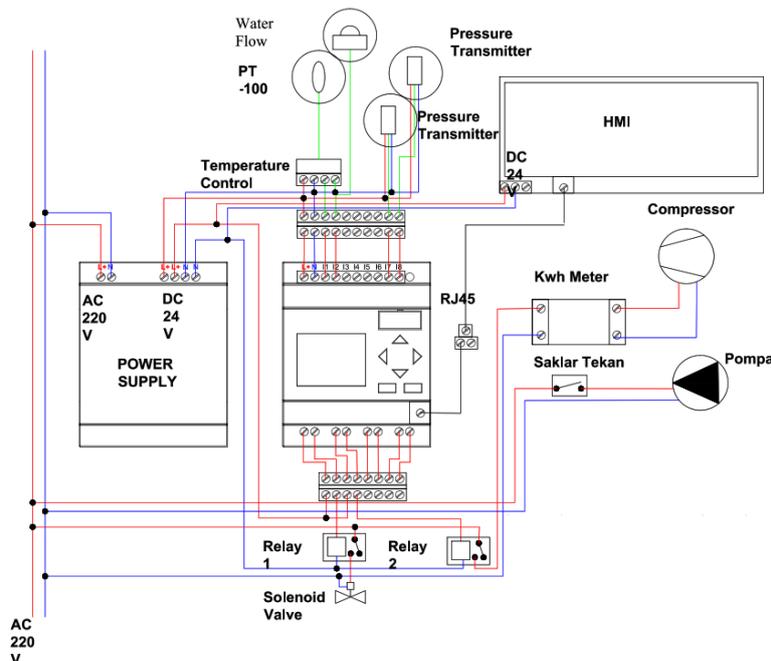
| NO. | Komponen        | Model                          | Spesifikasi                                |
|-----|-----------------|--------------------------------|--------------------------------------------|
| 1   | Condensing Unit | CAJ9510T                       | 1 HP<br>R-22                               |
| 2   | TXV             | T2-X                           | R-22<br>-40 - +10°C                        |
| 3   | Evaporator      | -                              | 25 meter                                   |
| 4   | Pressure Gauge  | MR-306                         | (0) – (35) bar                             |
| 5   | Pressure Gauge  | MR-206                         | (-1) – (15) bar                            |
| 6   | Tangki air      | Cool box                       | 50 liter                                   |
| 7   | PLC             | 12/24 RCE - 6ED1052-1MD08-0BA1 | 24V<br>8 digital input<br>4 digital output |
| 8   | HMI             | MT8051iP                       | TFT LCD 4.3”<br>Resolusi 480 x 272 px      |

Gambar 1 memperlihatkan diagram pemipaan sistem *water chiller* yang dirancang. Melalui gambar tersebut terlihat dua bagian pemipaan yang berbeda. Bagian pertama merupakan sistem pemipaan refrigeran sebagai sebuah sistem kompresi uap yang berfungsi untuk pengkondisian air. Kalor dari air diserap pada bagian evaporator untuk kemudian dilepaskan ke lingkungan melalui komponen kondenser. Pada bagian selanjutnya terdapat sistem pemipaan yang mendistribusikan air dingin dari tangki air menuju tanaman hidroponik yang berada di dalam *greenhouse*. Air dingin yang telah didistribusikan kemudian dikembalikan ke dalam tangki pendingin untuk dikondisikan temperaturnya kembali. Sistem pemipaan ini menganut sistem dua pipa, yakni *supply* dan *return*, memiliki jalurnya masing-masing, sehingga temperatur masuk dan keluar tidak akan tercampur [18].



**Gambar 1.** Sistem Pemipaan

Gambar 2 memperlihatkan diagram kontrol kelistrikan sistem yang dirancang. Pada sistem kontrol tersebut terdapat alat ukur berupa sensor temperatur PT-100 yang berfungsi untuk membaca temperatur produk yang akan ditampilkan pada *human machine interface* (HMI). Selain itu, sensor ini juga berfungsi untuk pengontrolan kerja sistem berdasarkan temperatur produk (*thermostat*) yang diatur oleh *Programmable Logic Control* (PLC). Pada sistem ini, terdapat juga sensor tekanan untuk membaca nilai tekanan *discharge* dan *suction* yang juga ditampilkan pada HMI. Disamping itu, terdapat pula *flowmeter* yang berfungsi untuk mengetahui debit air yang dialirkan ke tanaman hidroponik. Pada saat *switch* diubah ke posisi *on*, *solenoid valve* akan langsung terbuka dan kompresor tidak langsung bekerja karena terdapat *delay* selama 3 menit. Hal ini dilakukan supaya sensor dapat membaca nilai temperatur, tekanan, dan debit sebelum sistem aktif. Ketika sistem telah aktif, maka indikator pada panel akan berwarna hijau. Pada sistem ini, kompresor diatur waktu kerjanya berdasarkan capaian temperaur air [19]. Sistem akan padam ketika air mencapai 15°C, dan aktif kembali ketika temperatur airnya naik ke 20°C.



**Gambar 2.** Sistem Kontrol Kelistrikan

Pengujian dilakukan untuk menilai kinerja yang mampu dihasilkan oleh sistem untuk mengkondisikan air yang akan didistribusikan ke tanaman. Oleh karena itu, sejumlah parameter pengukuran diperlukan untuk melihat setiap perubahan yang terjadi, seperti yang terlihat pada tabel 3. Dua titik ukur tekanan ditempatkan pada sisi tekanan tinggi dan sisi tekanan rendah pada sistem refrigerasi. Sementara empat titik ukur temperatur ditempatkan pada sistem pemipaan di bagian *discharge*, *suction*, keluar kondenser, dan keluar evaporator. Disamping itu dilakukan pengukuran juga pada perubahan temperatur yang terjadi pada air yang didinginkan, temperatur lingkungan, dan arus serta tegangan listrik untuk melihat pengaruhnya terhadap energi yang dikonsumsi. Tabel 4 memperlihatkan spesifikasi alat ukur yang digunakan pada penelitian.

**Tabel 3.** Data yang dibandingkan

| Parameter                   | Satuan           |
|-----------------------------|------------------|
| Tekanan <i>suction</i>      | bar <sub>a</sub> |
| Tekanan <i>discharge</i>    | bar <sub>a</sub> |
| Temperatur <i>suction</i>   | °C               |
| Temperatur <i>discharge</i> | °C               |
| Temperatur keluar kondenser | °C               |
| Temperaur keluar evaporator | °C               |
| Temperature produk          | °C               |
| Temperature lingkungan      | °C               |
| arus listrik                | Ampere           |
| tegangan listrik            | Volt             |

**Tabel 4.** Spesifikasi Alat Ukur

| Item              | Model            | Rentang Pengukuran | Resolusi | Akurasi |
|-------------------|------------------|--------------------|----------|---------|
| Sensor Temperatur | PT-100           | -200°C - 850°C     | 0,01     | ±0,6%   |
| Sensor Tekanan    | SD-25 010<br>420 | 0 - 10 bar         | 0,1      | ±1%     |
| Watt meter        | SD-25            | 0 - 25 bar         | 0,1      | ±1%     |
|                   | DDS662           | 230 V              | 0,01     | ±10%    |
|                   |                  | 0,25 – 100 A       | 0,01     | ±2%     |

Hasil pengukuran kemudian akan digunakan untuk menilai kinerja sistem menggunakan diagram P-h. Hasil penggambaran kondisi sitem pada diagram P-h kemudian digunakan untuk menilai performa yang mampu dihasilkan. Performa sistem yang dikaji antara lain waktu pendinginan, daya listrik yang digunakan, serta efek refrigerasi, kerja kompresi, *Coefficient of Performance-actual (COP<sub>a</sub>)*, *Cofficent of Performance-carnot (COP<sub>c</sub>)* dan efisiensi refrigerasi ( $\eta$ ) yang dapat dihitung menggunakan persamaan 9 sampai 13.

$$q_e = h_1 - h_4 \tag{9}$$

$$q_w = h_2 - h_1 \tag{10}$$

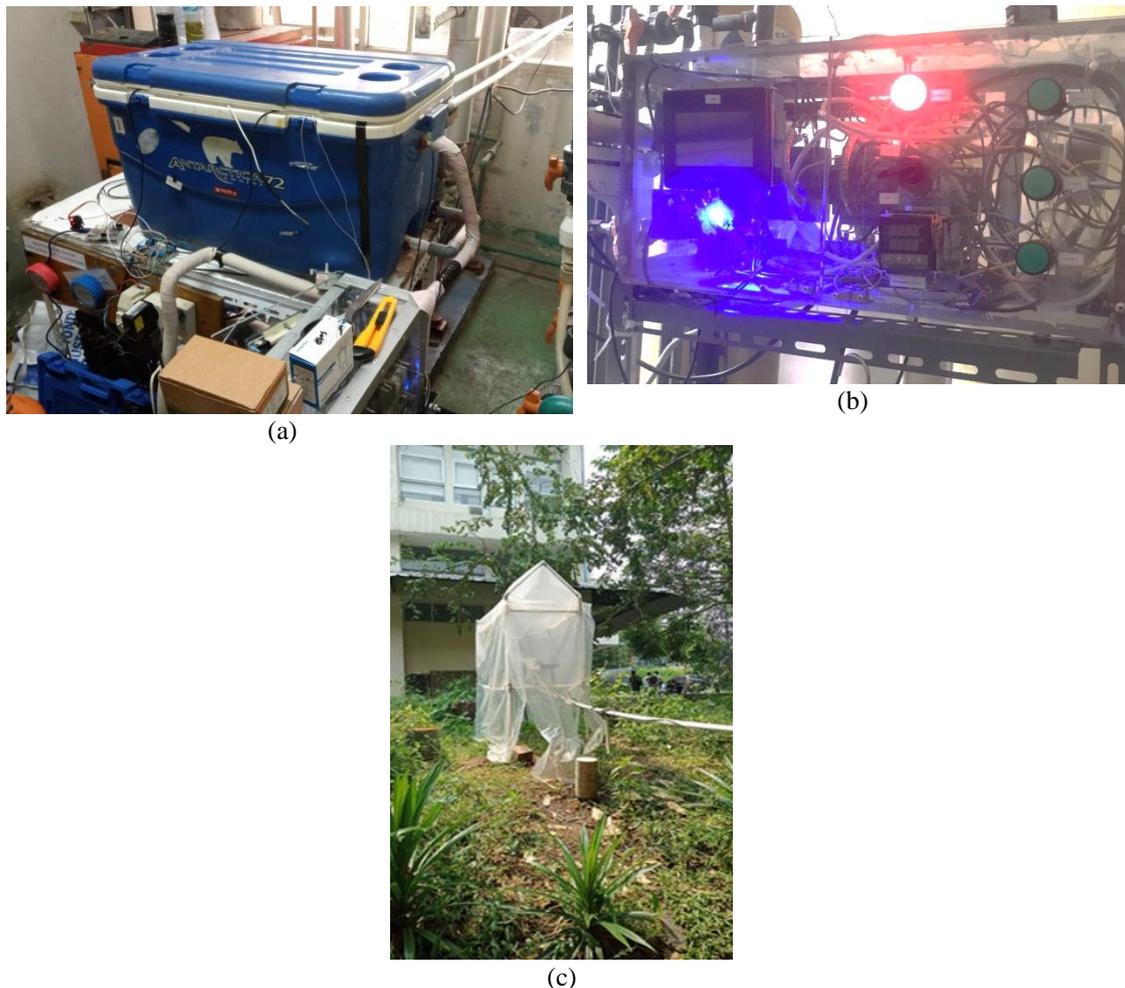
$$COP_a = \frac{\text{Efek Refrigrasi}}{\text{Kerja Kompresi}} = \frac{q_e}{w} \tag{11}$$

$$COP_c = \frac{T_{\text{evaporasi}}}{T_{\text{kondensasi}} - T_{\text{evaporasi}}} \tag{12}$$

$$\eta = \frac{COP_a}{COP_c} \tag{13}$$

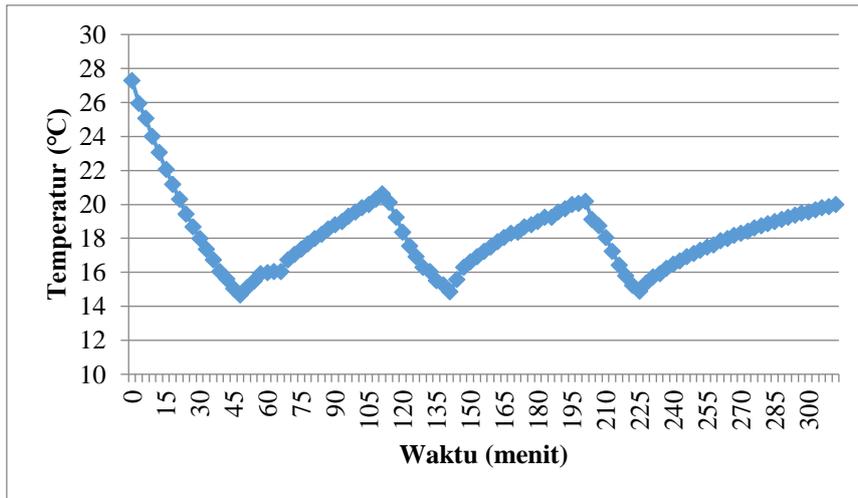
### III. HASIL DAN DISKUSI

Sistem *water chiller* telah berhasil dirakit berdasarkan rancangan yang telah disampaikan. Gambar 3 memperlihatkan sistem yang telah dibuat. Seluruh rangkaian sistem disusun di area kampus Politeknik Negeri Bandung yang berlokasi di Kabupaten Bandung Barat. Tangki air yang berperan sebagai penampungan sekaligus area pendinginan terbuat dari *coolbox*. Didalamnya terdapat evaporator sebagai pendingin air dengan jenis *bare-tube* yang terbuat dari pipa tembaga lunak dengan panjang 25m. Sementara sebuah *condensing unit* ditempatkan pada rangka di bagian bawah tangki. Sistem kontrol dibangun menggunakan PLC untuk pengaturan kerja dan pemantauan sistem. Air dingin yang telah dikondisikan temperaturnya didistribusikan dengan pompa menuju *greenhouse* melalui pipa PVC. *Greenhouse* sebagai sarana tumbuh kembang selada dibuat dari material PVC dan plastik UV yang di dalamnya terdapat 16 lubang tanam. Pengujian dilakukan terhadap seluruh rangkaian sistem selama 18 hari secara terus menerus. Data yang dikaji merupakan sampel pengukuran pada hari ke-7 dengan durasi selama lima jam. Selama durasi tersebut terjadi tiga kali siklus *cut-in* dan *cut-out* akibat *set point* temperatur air yang tercapai.



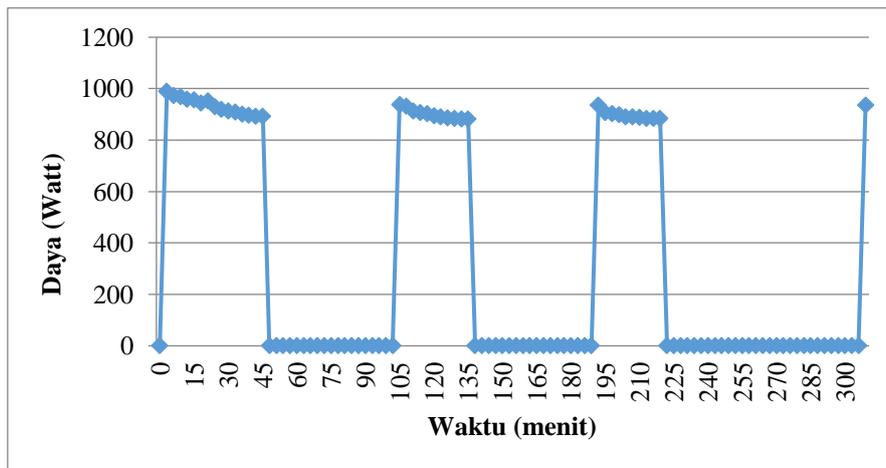
**Gambar 3.** Sistem hidroponik *water chiller*: (a) Tangki air pendingin; (b) sistem kontrol; (c) *Greenhouse*

Gambar 4 merupakan sampel kurva temperatur produk terhadap waktu. Melalui gambar tersebut terlihat bahwa temperatur produk tetap terjaga pada kisaran temperatur 15°C sampai 20°C. Hal ini menunjukkan bahwa sistem kontrol bekerja dengan tepat sesuai dengan pengaturan yang telah dilakukan. Ketika sistem aktif maka temperatur air akan turun hingga 15°C. Sensor temperatur kemudian akan mematikan sistem sehingga temperatur air naik kembali. Ketika temperaturnya mencapai 20°C, maka sistem akan kembali aktif dan mendinginkan air. Pada menit ke-48 terjadi *cut-out* pertama kalinya dan pada menit ke-105 sistem aktif kembali. Selanjutnya secara berturut-turut terjadi *cut-out* pada menit 141 dan 225, serta *cut-in* pada menit 195 dan 312.



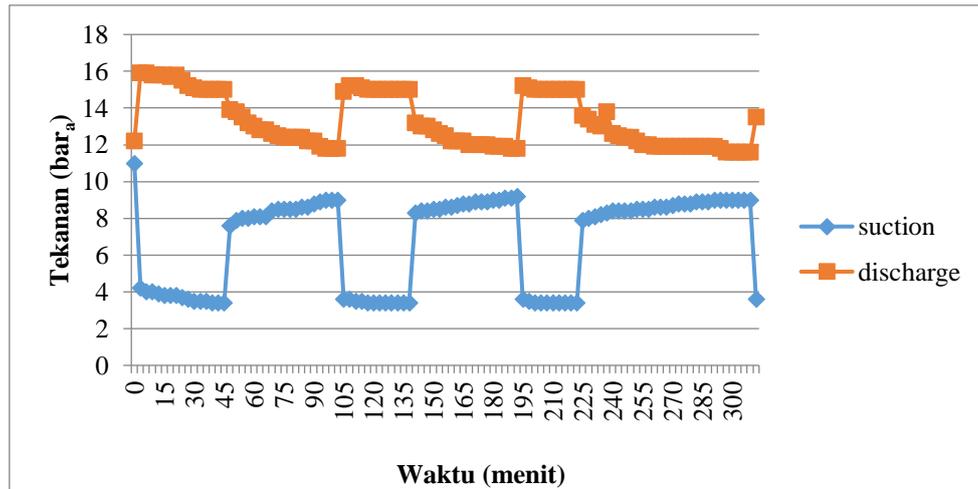
Gambar 4. Kurva temperatur produk terhadap waktu

Gambar 5 memperlihatkan sampel kurva daya listrik yang digunakan terhadap waktu. Melalui kurva tersebut terlihat daya listrik yang dikonsumsi berkisar pada 900 W hingga 1000 W ketika sistem aktif. Daya terukur sebesar 0 W terjadi ketika air pada kabin sudah mencapai 15C yang kemudian PLC akan mematikan kompresor. Selama sistem aktif, terjadi penurunan nilai daya. Hal ini disebabkan oleh penurunan nilai arus yang dikonsumsi oleh kompresor akibat dari beban pendinginan yang turun.



Gambar 5. Kurva daya terhadap waktu

Gambar 6 menunjukkan sampel kurva tekanan *suction* dan *discharge* terhadap waktu. Melalui kurva tersebut terlihat tekanan *suction* dan *discharge* yang cenderung stabil selama sistem bekerja. Pada menit ke-48 terjadi *cut-out* pertama yang mengakibatkan naiknya nilai tekanan *suction* yang disertai dengan penurunan tekanan *discharge*. Hal ini disebabkan oleh refrigeran di dalam sistem yang berupaya mencari titik setimbangnya. Sistem kembali aktif pada menit ke-105, dan 12 menit setelahnya tekanan *suction* dan *discharge* sudah stabil. Kembali, sehingga tidak terdapat penurunan maupun kenaikan yang signifikan. Pada saat *steady*, tekanan *suction* berada pada nilai 3,4 bar<sub>a</sub> sedangkan tekanan *discharge* berada pada nilai 15 bar<sub>a</sub>.



**Gambar 6.** Kurva tekanan *suction* dan tekanan *discharge* terhadap waktu

Tabel 5 memperlihatkan performa sistem yang dihasilkan. Melalui hasil pengujian, diperoleh waktu pendinginan (CT) yang diperlukan untuk mendinginkan air sampai 15°C yaitu selama 30 menit. Data yang diperoleh pada pembahasan sebelumnya kemudian digunakan untuk menggambarkan siklus sistem refrigerasi pada diagram P-h. Penggambaran siklus sistem pada diagram P-h dilakukan pada keadaan *steady state*. Kemudian diperoleh nilai efek refrigerasi dan kerja kompresi dari sistem yang dirancang masing-masing sebesar 170 kJ/kg dan 41,99 kJ/kg. Selain itu diperoleh pula  $COP_a$  dan  $COP_c$  melalui persamaan 11 dan 12 dengan nilai 4,05 dan 5,13. Efisiensi refrigerasi ( $\eta$ ) dari sistem yang telah dirancang diperoleh sebesar 78,9%.

**Tabel 3.** Performa sistem

| No. | Parameter                | Hasil Pengujian |
|-----|--------------------------|-----------------|
| 1   | CT (menit)               | 30              |
| 2   | Efek Refrigerasi (kJ/kg) | 170             |
| 3   | Kerja Kompresi (kJ/kg)   | 41,99           |
| 4   | $COP_a$                  | 4,05            |
| 5   | $COP_c$                  | 5,13            |
| 6   | $\eta$ (%)               | 78,9            |

Pada Gambar 8 terlihat hasil panen dari tanaman hidropnik yang temperatur airnya telah dikondisikan. Tanaman ini tumbuh secara optimal yang ditandai dengan tanaman yang hijau segar. Setelah tumbuh selama 18 hari, hasil panen selada diperoleh sebanyak 0.65Kg dengan lubang tanam sebanyak 16.



(a)



(b)

**Gambar 1.** Hasil Produksi: (a) Selada Hasil Panen; (b) Berat Produk

#### IV. KESIMPULAN

Sistem *water chiller* untuk pengkondisian air hidroponik metode DFT berhasil dirancang, dengan waktu pendinginan selama 30 menit mampu menurunkan temperatur air hingga 15°C. melalui pengujian sistem yang dilakukan diperoleh  $COP_a$ ,  $COP_c$ , dan efisiensi refrigerasi ( $\eta$ ) masing-masing sebesar 4,05, 5,13, dan 78,0%. Hasil panen tanaman selada setelah 18 hari penanaman yang ditumbuhkan dalam sistem ini diperoleh dengan massa sebesar 0,65 Kg.

Hasil penelitian ini memberikan sudut pandang baru terhadap pemanfaatan sistem pendinginan bagi teknologi pertanian. Namun, penelitian lanjutan tentunya sangat dibutuhkan untuk menunjang teknologi pertanian yang lebih efektif dan efisien lagi.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Politeknik Negeri Bandung atas bantuan pendanaan untuk karya tulis ini dan pihak-pihak yang mensupport penulis dalam proses penyusunan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. A. K. W. Putra, I. W. Sutarsa, I. W. Widiyantara, A. A. K. W. Putra, I. W. Sutarsa, dan I. W. W. Vol, "Pengujian Performansi pada Simulator AC Water Chiller dengan Multiple Chilled Water.," vol. 2, no. 3, pp. 1–10, 2020.
- [2] A. R. Lukitobudi, Y. Prasetyo, M. Fasya, N. Harish, dan A. Fadhil, "Perancangan Sistem Brine Cooling Pada Showcase Dan Kabin Hidroponik Untuk Tanaman Kangkung (*Ipomoea Aquatica*).," vol. 6, no. 2, pp. 211–218, 2021.
- [3] A. Chrysargyris, S. A. Petropoulos, Â. Fernandes, L. Barros, N. Tzortzakis, dan I. C. F. R. Ferreira, "Effect of phosphorus application rate on *Mentha spicata* L. grown in deep flow technique (DFT)," *Food Chem.*, vol. 276, pp. 84–92, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.foodchem.2018.10.020.
- [4] A. Maulana, "Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Selada Merah (*Lactuca sativa* L.) pada Berbagai Media Tanam dan Konsentrasi Pupuk Daun dengan Teknik Hidroponik," *Ilm. Mhs. Pertan. [JIMTANI]*, vol. 2, no. 3, pp. 1–12, 2020.
- [5] Y. Hermawan dan A. Nishful, "Pelatihan Budidaya Sederhana Tanaman Hidroponik Di Masa Pandemi Bagi Ibu-Ibu Kwt Padukuhan Karangmalang," vol. 5, pp. 1586–1598, 2022.
- [6] E. S. M. Hanggoro Sabdo Pamungkas, Retno Bandriyati Arni Putri, "Budidaya Selada pada Vertikultur Hidroponik Sistem Karpet Lettuce Cultivation on Hydroponic Verticulture of Carpet System," *Agrosains*, vol. 15, no. 2, pp. 41–45, 2013.
- [7] A. Dalhar, *Perbandingan sistem hidroponik deep flow technique (dft) dan nutrient film technique (nft) dalam usaha tani selada di specta farm*. Skripsi, Program Studi Agribisnis, Universitas Islam Syarif Hidayatullah, 2018.
- [8] A. D. Susila dan Y. Koerniawati, "Pengaruh Volume dan Jenis Media Tanam pada Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Selada (*Lactuca sativa*) dalam Teknologi Hidroponik Sistem Terapung.," *Buletin Agronomi* Vol. 32 No. 3, pp 16-21, 2004.
- [9] W. A. Wirawan, R. Wirosedarmo, dan L. D. Susanawati "Pengolahan Limbah Cair domestik Menggunakantanaman Kayu Apu (*Pistia Stratiotes* L.) dengan Teknik Tanam Hidroponik Sistem Dft (Deepflowtechnique)," *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. vol. 1, pp. 63–70, 2014
- [10] N. Zahra, C. Muthiadin, dan F. Ferial, "Budidaya tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) secara hidroponik dengan sistem DFT di BBPP Batangkaluku," *Filogeni J. Mhs. Biol.*, vol. 3, no. 1, pp. 18–22, 2023, doi: 10.24252/filogeni.v3i1.29922.
- [11] Makruf, "Rancang Bangun Hidroponik Dft Untuk Pertumbuhan Selada (*Lactuca Sativa* L).". Skripsi. Program Studi Pertanian, Universitas Muhammadiyah Mataram, 2021.
- [12] B. Sudierman, "Uji Berbagai Nutrisi AB MIX dan Media Tumbuh Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Sawi Caisim (*Brassica Juncea* L.) dengan Sistem Budidaya Hidroponik NFT," Skripsi, Fakultas Pertanian Universitas Riau Pekanbaru, 2019.
- [13] N. Narulita, S. Hasibuan, dan R. Mawarni, "Pengaruh Sistem dan Konsentrasi Nutrisi Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Pakcoy (*Brassica Rapa* L.) Secara Hidroponik," *Galang Tanjung*, vol. 15, no. 3, pp. 1–18, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.una.ac.id/index.php/jb/article/view/1307>
- [14] Muhadiansyah, T. Omaranda, Setyono, S. dan A. Adimihardja, "Efektivitas Pencampuran Pupuk Organik Cair Dalam Nutrisi Hidroponik pada Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L).," *Jurnal Agronida*, vol. 2, no. 1, pp. 37–46, 2016.

---

*Perancangan Water Chiller Pengkondisi Media Tanam Hidroponik Deep Flow Technique untuk Tanaman Selada (Lactuca Sativa)*( Anas Akbar, Ranufani Mahameru Timur Angin, Muhammad Arman, Arda Rahardja Lukitobudi , Bowo Yuli Prasetyo)

- [15] Susilawati, *Dasar – Dasar Bertanam Secara Hidroponik*. UPT. Penerbit dan Percetakan Universitas Sriwijaya, Palembang, 2019
- [16] R. Karmila dan V. Andriani, “Pengaruh Temperatur Terhadap Kecepatan Pertumbuhan Kacang Tolo (*Vigna sp.*),” *STIGMA J. Mat. dan Ilmu Pengetah. Alam Unipa*, vol. 12, no. 01, pp. 49–53, 2019, doi: 10.36456/stigma.vol 12.no 01.a1861.
- [17] J.P. Holman, “Heat Transfer - 10th Ed,” *Angew. Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952., pp. 5–24, 1967.
- [18] S.I. Kuala, N.D. Susanti, Y.H. Siregar, A. Haryanto. G.R. Basuki, “Rancang Bangun, Uji Performansi dan Analisis Biaya Alat Pencampur Nutrisi,” *Jurnal Ilmiah Bidang Ilmu Rekayasa*. vol. 42, no. 1, pp. 30–34, 2021. <https://doi.org/10.14710/teknik.v42i1.24800>.
- [19] B. Khoerun, R. Aziz, F. Sugara, K. Apriyanto, dan P. N. Indramayu, “Kontrol Sistem Pendingin Temperatur Air Dan Larutan Nutrisi,” *Jurnal Rekayasa Energi*. vol. 02, no. 02, pp. 17–23, 2023.



©2024. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).