

PERANCANGAN *HEAT EXCHANGER* SISTEM PEMANAS AIR BERBASIS SISTEM REFRIGERASI R410A

Muhammad Irfan Dzaky^{1*}, Ahmad Imam Rifa'i¹, Zainuri Anwar¹, Baiti Hidayati¹, Tri Satya Ramadhoni¹, Toni Okviyanto¹, Herlin Sumarna¹, Ahmad Zikri², Ghifari Nasution³
¹Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya,
²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Bursa Uludag University, Turki
³Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia
*Corresponding author: muhammad.irfan.dzaky@polsri.ac.id

Diterima: 3 Februari 2024

Direvisi: 23 Februari 2024

Disetujui: 28 Maret 2024

Terbit online: 23 April 2024

ABSTRAK

Ketersediaan air panas dalam lingkungan apartemen memiliki peran krusial dalam memberikan kenyamanan, kebersihan, dan efisiensi bagi penghuninya. Perancangan sistem inovatif pemanas air yang menggabungkan prinsip dasar refrigerasi menjadi sorotan utama, dengan fokus pada pemahaman mendalam mengenai beragam sumber energi, termasuk pemanfaatan energi listrik, tenaga surya, dan panas buangan AC. Keselamatan penggunaan pemanas air juga ditegaskan sebagai hal yang penting, dengan penekanan pada risiko kebakaran akibat kelalaian dan tersengat aliran listrik. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk merancang sistem pemanas air yang efektivitas berbasis sistem refrigerasi. Metode penelitian difokuskan pada perancangan sistem pemanas air (*Air Conditioning Water Heater/ACWH*) dengan prinsip refrigerasi R410a. Hasil perhitungan mengenai dimensi pipa tembaga yang optimal untuk memanaskan air hingga temperatur yang diinginkan, serta faktor termal yang terlibat, dijelaskan secara rinci. *Heat exchanger* yang digunakan adalah tipe *double pipe* dengan ukuran panjang pipa tembaga 16,68 meter mampu efektif memanaskan air dari 27°C menjadi 50°C dengan aliran 100 l/jam dengan ukuran diameter pipa 3/8 inci dan 1 1/8 inci dengan dimensi *heat exchanger* secara keseluruhan 106 cm x 69,3 cm.

Kata kunci: *air conditioning water heater*, pemanas air, efisiensi energi, apartemen, kenyamanan

ABSTRACT

The availability of hot water in an apartment environment has a crucial role in providing comfort, cleanliness and efficiency for its residents. The design of an innovative water heating system that combines the basic principles of refrigeration is the main highlight, with a focus on in-depth understanding of various energy sources, including the use of electrical energy, solar power and air conditioning waste heat. The safety of using water heaters is also emphasized as important, with emphasis on the risk of fire due to negligence and electric shock. The main objective of this research is to design an effective water heating system based on a refrigeration system. The research method is focused on designing a water heating system (Air Conditioning Water Heater) with the R410a refrigeration system. The results of calculations regarding the optimal dimensions of copper pipes for heating water to the desired temperature, as well as the thermal factors involved, are explained in detail. The heat exchanger used is a double pipe type with a copper pipe length of 16.68 meters capable of effectively heating water from 27°C to 50°C with a flow of 100 L/hour with a pipe diameter of 3/8 inch and 1 1/8 inch with the overall dimensions of the heat exchanger are 106 cm x 69.3 cm.

Keywords: *air conditioning water heater*, water heating, energy efficiency, apartment, comfort

1. PENDAHULUAN

Air merupakan komponen vital yang tak dapat ditinggalkan dalam kehidupan manusia. Kehadirannya menjadi krusial dalam beragam aspek, mulai dari kebutuhan dasar seperti konsumsi hingga kegiatan memasak dan sanitasi [1] [2]. Dalam konteks hunian seperti apartemen, ketersediaan air panas menjadi keharusan yang tak bisa diabaikan. Oleh karena itu, perancangan sistem yang optimal untuk memenuhi kebutuhan pasokan air panas dalam kerangka apartemen dan perumahan semakin menjadi sorotan utama [3].

Perhatian utama dari penelitian ini adalah pada perancangan sistem inovatif pemanas air yang menggabungkan prinsip-prinsip dasar refrigerasi. Pemahaman yang mendalam mengenai berbagai sumber energi yang bisa dioptimalkan dalam konteks ini menjadi faktor penting. Beberapa alternatif meliputi pemanfaatan energi listrik, yang diaplikasikan melalui pemanas air listrik, serta eksplorasi potensi tenaga surya dalam wujud pemanas air aktif [4]. Selain itu, pengeksplorasian potensi dari panas buangan sistem AC (*Air Conditioner*) untuk tujuan pemanasan air juga menjadi fokus menarik dalam perancangan ini [5]. Meskipun demikian, pentingnya keselamatan dalam penggunaan pemanas air tetap menjadi poin yang harus ditekankan. Risiko-risiko seperti kemungkinan terjadinya kebakaran akibat kelalaian operasional harus dianggap serius. Pemanfaatan pemanas air panas dalam lingkungan apartemen memberikan sejumlah manfaat bagi para penghuni. Keunggulan utamanya terletak pada kapasitasnya dalam menyediakan kenyamanan saat menghadapi penggunaan air hangat, terutama saat berhadapan dengan kondisi cuaca yang dingin [7]. Adanya temperatur air yang optimal ini menghadirkan sensasi relaksasi yang mampu mengurangi kepenatan setelah menjalani rutinitas harian yang padat.

Air Conditioner Water Heater (ACWH) adalah perangkat yang mengintegrasikan fungsi AC dan pemanas air. Ini beroperasi dengan menggunakan panas sisa yang dihasilkan oleh sistem pendinginan udara untuk menghangatkan air. Sistem ACWH ini sangat cocok untuk di daerah apartemen yang umumnya menggunakan AC sebagai pendingin ruangan dan pemanas air. Desain ACWH memberikan efisiensi dalam instalasi sehingga dengan sebuah perangkat dapat memenuhi pendinginan udara ruangan dan air panas. Pada kondisi iklim tropis Indonesia yang cenderung panas, permintaan akan pendinginan udara dari AC lebih tinggi daripada pemanasan udara. Strategi yang digunakan adalah menempatkan evaporator di dalam ruangan untuk menciptakan kondisi udara yang sejuk, sementara kondensor ditempatkan di luar ruangan. Kondensor terus-menerus membuang panas ke lingkungan saat AC beroperasi, tanpa memanfaatkannya secara efisien. Dengan mempertimbangkan jumlah panas yang signifikan yang dibuang, ada potensi untuk mengambil manfaat tambahan dari panas ini, seperti memanfaatkannya untuk air panas mandi atau untuk tujuan pengeringan. Ini akan menghasilkan manfaat ganda dari penggunaan AC di rumah, yaitu pendinginan udara yang diinginkan dan pemanfaatan panas limbah dari kondensor. [8]

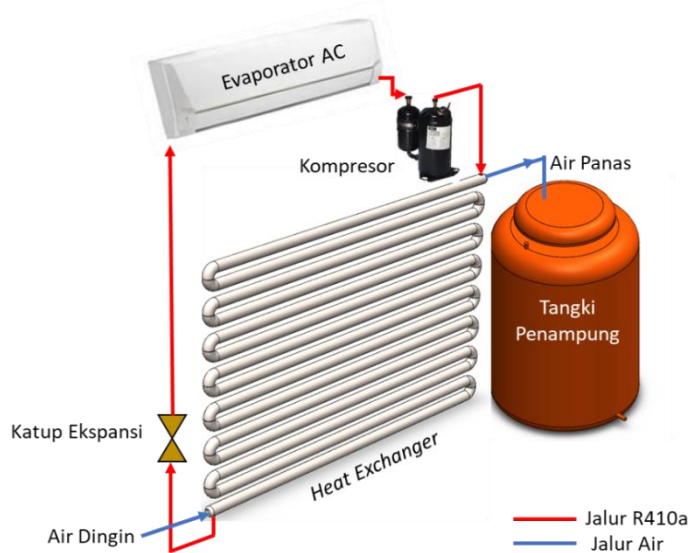
Sistem ACWH mengubah sistem AC tipe *split* dengan mengintegrasikan kondensor yang dilengkapi dengan pemanas air. Fungsi tambahan dari kondensor ini adalah untuk memanaskan air. Energi yang digunakan untuk proses pemanasan air didapatkan dari panas yang dikeluarkan oleh refrigerant, sehingga mengurangi pemborosan energi yang terjadi jika hanya menggunakan kondensor AC [10]. Beberapa faktor dapat memengaruhi performa ACWH. Penelitian oleh Aziz dkk. mengungkapkan bahwa dimensi pipa kondensor tiruan, yaitu diameter dan panjangnya, memiliki dampak signifikan terhadap kinerja ACWH. Dalam penelitian ini, evaluasi dilakukan terhadap kapasitas pendinginan, koefisien kinerja (COP), daya kompresor, dan temperatur ruangan pada tiga jenis kumparan trombon dengan variasi beban pendinginan yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketika beban pendinginan meningkat dari 0 W menjadi 3000 W, daya kompresor mengalami peningkatan sebesar 11,3%, 6,3%, dan 9,3% masing-masing untuk menggunakan diameter kumparan 6,4 mm dengan panjang 7,9 m, diameter kumparan 6,4 mm dengan panjang 5,3 m, dan diameter kumparan 9,5 mm dengan panjang 5,3 m. [11]

Pemanfaatan pemanas air AC, ACWH memiliki sejumlah keunggulan, termasuk peningkatan efisiensi energi, pengurangan biaya, dan pengoptimalan ruang. ACWH memanfaatkan sisa panas yang dihasilkan oleh sistem pendingin udara untuk menghangatkan air, sehingga mengurangi konsumsi energi dan pengeluaran untuk biaya listrik. Selain itu, ACWH dapat menghemat ruang dengan menghilangkan kebutuhan akan AC dan sistem pemanas air yang terpisah. Langkah ini juga

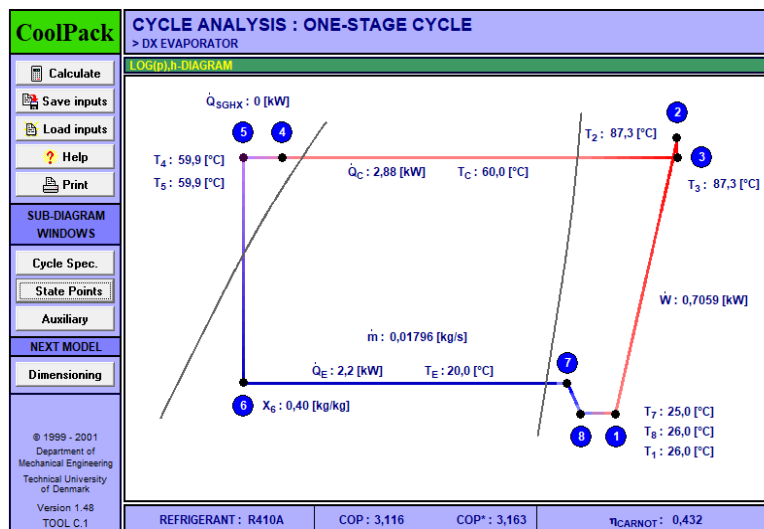
berkontribusi dalam mengurangi emisi gas rumah kaca karena memanfaatkan limbah panas untuk pemanasan air, menjadi pilihan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan [9]. Tujuan penelitian ini adalah merancang *heat exchanger* tipe *double pipe* pada sistem ACWH dengan menggunakan sistem refrigerasi R410a dengan daya 1 PK.

2. METODE PENELITIAN

Perancangan sistem ACWH melalui sistem refrigerasi dari AC 1PK dapat dilihat pada gambar 1. Secara umum komponen dari ACWH memiliki komponen yang sama dengan sistem AC yang ada dipasaran. Namun, terdapat modifikasi pada komponen kondensor. Pada kondensor diganti dengan komponen *heat exchanger*. Dimana *heat exchanger* yang akan digunakan adalah tipe *double tube*. *Tube* bagian dalam akan dialiri oleh refrigerant R410a dan *tube* bagian luar akan dialiri oleh air yang akan dipanaskan. Performasi dari AC dengan refrigerant R410a yang digunakan dapat dilihat pada gambar 2 yang telah disimulasikan dengan menggunakan *software* CoolPack. Pada perancangan ACWH, temperatur air yang awal 27°C dirancang agar dapat mencapai 50°C dengan laju aliran 100 liter/jam.



Gambar 1. Konsep Desain Air Conditioning Water Heater



Gambar 2. Diagram *log* (tekanan) terhadap entalpi pada sistem refrigerasi R410a.

Ukuran *tube* yang digunakan adalah ukuran 3/8 inci dengan ketebalan *tube* 2 mm. T_{Bulk} merupakan Temperatur rata-rata air ($^{\circ}C$) yang akan dipanaskan dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$T_{Bulk} = \left(\frac{T_{in,air} - T_{out,air}}{2} \right) \quad (1)$$

Dimana, $T_{in, air}$ adalah temperatur air masuk ($^{\circ}C$), dan $T_{out, air}$ adalah temperatur air keluar ($^{\circ}C$). Selanjutnya laju aliran massa dan kalor air dapat dihitung berdasarkan debit air yang akan dipanaskan berdasarkan persamaan berikut ini.

$$\dot{m}_{air} = Q_{air} \rho_{air} \quad (2)$$

$$q_{air} = \dot{m}_{air} C_{p,air} \Delta T \quad (3)$$

Dimana, \dot{m}_{air} adalah laju aliran massa air (kg/detik), Q_{air} adalah debit air ($m^3/detik$), dan ρ_{air} adalah massa jenis air (kg/m^3). Untuk untuk fluida panas (refrigeran), digunakan refrigeran dengan jenis R410a. Untuk mengetahui *properties* dari refrigeran tersebut dapat digunakan EES (*Engineering Equation Solver*) dengan mengasumsikan temperatur masuk dari kompresor sebesar $85^{\circ}C$. Untuk mengetahui temperatur keluar dari kompresor, digunakan persamaan berikut.

$$q_{ref} = q_{air} \quad (4)$$

Dimana q_{ref} adalah kalor *refrigerant* (W), dan q_{air} adalah kalor yang diterima oleh air (W). Selanjutnya, dilakukan analisis hambatan termal (R) dimana perhitungan hambatan termal total ($^{\circ}C/W$) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$R_t = R_{konveksi,ref} + R_{f,ref} + R_{konduksi,tube} + R_{konveksi,air} + R_{f,air} \quad (5)$$

$$\frac{R_{f,ref}}{A} = \frac{R_{f,ref}}{\pi D_i L} \quad (6)$$

$$\frac{R_{f,air}}{A} = \frac{R_{f,ref}}{\pi D_i L} \quad (7)$$

Dimana $R_{f,air}$ merupakan hambatan *fouling* untuk air dengan nilai $3,522 \times 10^{-4} m^2K/W$ dan $R_{f,ref}$ merupakan hambatan *fouling* refrigeran dengan nilai $1,716 \times 10^{-4} m^2K/W$ [12]. Selanjutnya, untuk mengetahui hambatan konveksi air, dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$R_{konveksi,air} = \frac{1}{h_{air} A_{o,tube}} \quad (8)$$

$$h_{air} = \frac{Nu_D k}{D_o} \quad (9)$$

$$Nu_D = \left\{ 0,6 + \frac{0.387 Ra_D^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\} \quad (10)$$

$$Ra_D = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)D_o^3}{\alpha\nu} \quad (11)$$

$$\alpha = \frac{\nu}{Pr} \quad (12)$$

Hambatan termal pada dinding *tube*, $R_{konduksi, tube}$, dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$R_{konduksi, tube} = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi Lk} \quad (13)$$

Dimana, D_o adalah diameter *tube* luar, r_o adalah jari-jari *tube* luar (m) dan r_i adalah jari-jari *tube* dalam. Dengan k merupakan konduktivitas termal tembaga yakni 381,14 W/mK. Untuk menghitung hambatan konveksi refrigeran, $R_{konveksi, ref}$, digunakan persamaan berikut.

$$R_{konveksi, ref} = \frac{1}{h_{ref} A_{i, tube}} \quad (14)$$

$$Nu_x = 0,0336 Re^{0,81} Pr^{0,4} (1,31)^{0,4} \left(\frac{R}{a}\right)^{-0,06} \left(\frac{x}{D_i}\right)^{-0,06} \quad (15)$$

$$Re = \frac{4\dot{m}_{ref}}{\pi D_i \mu_{ref}} \quad (16)$$

Perhitungan perpindahan panas keseluruhan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{U_c A} + R_{f, ref} + R_{f, air} \quad (17)$$

$$\frac{1}{U_c A} = R_{konveksi,ref} + R_{konduksi,tube} + R_{konveksi,air} \quad (18)$$

Dimana, Nu adalah bilangan nusselt, Ra adalah Bilangan Rayleigh, Pr adalah biangan Prantl, g adalah gravitasi (m/s^2), β adalah koefisien ekspansi termal, α adalah difusifitas termal, ν adalah viskositas kinematik, Re adalah bilangan reynold, U adalah total koefisien perpindahan panas keseluruhan dan A merupakan luas penampang. Dalam menganalisis lebih lanjut terkait panjang pipa tembaga yang diperlukan, maka dapat digunakan persamaan berikut.

$$UA\Delta T_{LMTD} = q_{air} \quad (19)$$

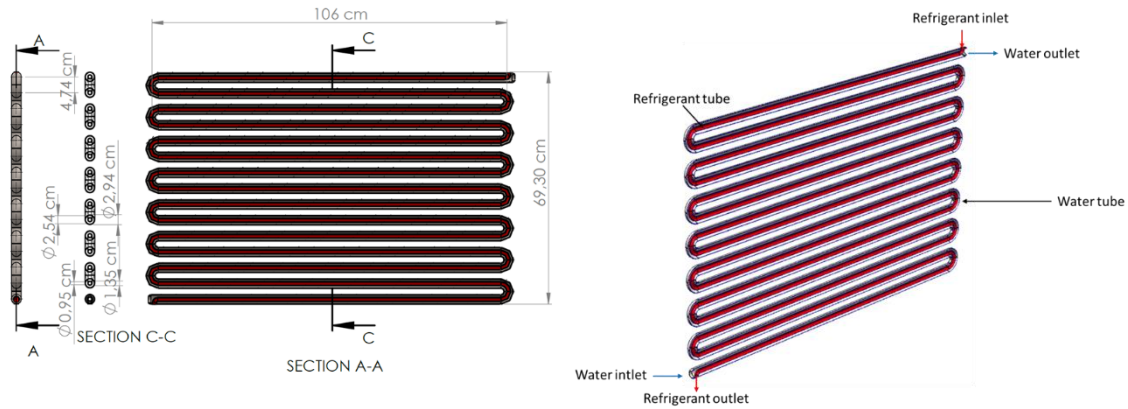
$$UA\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right)} \quad (20)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, panjang pipa tembaga yang diperlukan dalam merancang ACWH untuk memanaskan air dengan aliran sebesar 100 L/jam dari temperatur awal $27^\circ C$ menjadi temperatur akhir $50^\circ C$ telah diestimasi. Pada tahap perhitungan, diperoleh bahwa jumlah kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan air hingga mencapai temperatur $50^\circ C$ adalah sebesar 2,65 kW. Dengan menggunakan analisis komputasi menggunakan EES (*Engineering Equation Solver*), diperoleh data mengenai laju aliran massa refrigeran (\dot{m}_{ref}) sebesar 0.01796 kg/s dan kalor jenis refrigeran ($c_{p,ref}$) sebesar 1,68 kJ/kgK. Berdasarkan data ini, temperatur awal refrigeran ($T_{o,ref}$) ditentukan sebesar $59,9^\circ C$.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan koefisien perpindahan panas untuk air (h_{air}) yang menghasilkan nilai sebesar $204,64 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dari nilai tersebut, diperoleh nilai hambatan konveksi air ($R_{konveksi,air}$) sebesar 0,00049/L, dengan L menyatakan panjang pipa tembaga yang diperlukan. Selain itu, analisis hambatan termal pada dinding pipa tembaga menghasilkan nilai hambatan konduksi pipa ($R_{konduksi,tube}$) sebesar 0,00121/L. Dalam konteks hambatan konveksi refrigeran, diperoleh nilai hambatan konveksi refrigeran ($R_{konveksi,ref}$) sebesar 0,06907/L. Faktor hambatan *fouling* juga diperhitungkan dalam analisis, dengan nilai 0,0060/L untuk refrigeran dan 0,0117/L untuk air.

Pada akhir proses perhitungan diperoleh hasil bahwa panjang pipa tembaga yang dibutuhkan adalah sekitar 16,68 meter untuk dapat secara efektif memanaskan air dengan laju aliran 100 L/jam dari temperatur awal $27^\circ C$ hingga mencapai temperatur $50^\circ C$ yang dapat dilihat pada gambar 3. Dengan demikian, hasil perhitungan ini memberikan panduan dalam menentukan dimensi pipa tembaga yang optimal dalam perancangan sistem ACWH, dengan mempertimbangkan berbagai aspek perpindahan panas dan parameter-parameter terkait yang telah dianalisis.



Gambar 3. Desain Air Conditioning Water Heater

4. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan yang telah dilakukan, maka dengan ACWH dengan refrigerant R410a dengan daya 1PK diperoleh sistem pendinginan udara sekaligus dengan sistem pemanas air yang cocok untuk diterapkan di apartemen. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis dalam penelitian ini telah memberikan gambaran jelas mengenai dimensi pipa tembaga yang dibutuhkan dalam rancangan sistem pemanas air panas yakni dengan panjang 16,25 meter untuk dapat memanaskan air pada sistem ACWH agar temperatur air awal 27°C dapat dipanaskan hingga mencapai temperatur 50°C. Secara keseluruhan dimensi *heat exchanger* adalah 106 cm × 69,3 cm.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Ilha, L. Oliveira, and O. Gonçalves, "Environmental assessment of residential buildings with an emphasis on water conservation," *Building Services Engineering Research and Technology*, vol. 30, no. 1, pp. 15-26, 2009, doi: 10.1177/0143624408098274.
- [2] C.-L. Cheng, "Evaluating water conservation measures for Green Building in Taiwan," *Building and Environment*, vol. 38, no. 2, pp. 369-379, 2003/02/01/ 2003, doi: [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00062-8).
- [3] J. Dong, H. Li, Y. Yao, Y. Jiang, and X. Zhang, "Experimental study on the performance of a multi-functional domestic air conditioner with integrated water heater," *Applied Thermal Engineering*, vol. 120, pp. 393-401, 2017/06/25/ 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.01.086>.
- [4] O. Bamisile *et al.*, "Thermo-enviro-exergoeconomic analysis and multi-objective optimization of a novel geothermal-solar-wind micro-multi-energy system for cleaner energy production," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 170, pp. 157-175, 2023/02/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.11.068>.
- [5] M. Rady, F. Albatati, A. Hegab, A. Abuhabaya, and A. Attar, "Design and analysis of waste heat recovery from residential air conditioning units for cooling and pure water production," *International Journal of Low-Carbon Technologies*, vol. 16, no. 3, pp. 1018-1032, 2021, doi: 10.1093/ijlct/ctab033.

- [6] P. O. Akadiri, E. A. Chinyio, and P. O. Olomolaiye, "Design of A Sustainable Building: A Conceptual Framework for Implementing Sustainability in the Building Sector," *Buildings*, vol. 2, no. 2, pp. 126-152, 2012. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2075-5309/2/2/126>.
- [7] M. Esmaeili Shayan, F. Ghasemzadeh, and S. H. Rouhani, "Energy storage concentrates on solar air heaters with artificial S-shaped irregularity on the absorber plate," *Journal of Energy Storage*, vol. 74, p. 109289, 2023/12/25/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109289>.
- [8] H. Sonawan, P. Saputro, and I. Kurniawan, "Utilization of air conditioner condenser as water heater in an effort to energy conservation," *Renewable Energy and Environmental Sustainability*, vol. 3, p. 1, 01/01 2018, doi: 10.1051/rees/2018001.
- [9] A. Andreas, "Utilization Of Exhaust Air Conditioning In Apartments For Hot Water Supply: Overview Of Economic Aspects," *Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia (JIM-ID)*, vol. 1, no. 01, pp. 29-34, 2022.
- [10] H. Basri, E. Diniardi, and A. I. Ramadhan, "Design of Water Heating By Utilizing Waste Heat of Air Conditioner," *Journal of Applied Sciences and Advanced Technology*, vol. 3, no. 3, pp. 89-96, 2021.
- [11] A. Aziz, A. Samri, R. I. Mainil, and A. K. Mainil, "Performance of air source air conditioning water heater using trombone coil dummy condenser with different diameter and pipe length," *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, vol. 14, no. 2, pp. 6743 - 6752, 06/22 2020, doi: 10.15282/jmes.14.2.2020.16.0528.
- [12] M. Ravagnani and J. Caballero, "A MINLP model for the rigorous design of shell and *tube* heat exchangers using the TEMA standards," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 85, no. 10, pp. 1423-1435, 2007.