

ANALISIS UNJUK KERJA (COP) MESIN PENGKONDISIAN UDARA (AC) DENGAN PENAMBAHAN ALAT PENUKAR KALOR TIPE *HELICAL COIL* BERSIRIP SEBAGAI PEMANAS AIR

DANA SETIAWAN¹

¹Fakultas Teknik,²Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (Jl. Kapten Muchtar Basri No.3, Glugur Darat II, Kec. Medan Tim., Kota Medan, Sumatera Utara 20238)

danasetiawan97@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini adalah penelitian eksperimen yang bertujuan untuk memperoleh nilai unjuk kerja (COP) mesin pengkondisian udara (AC) dengan menggunakan penambahan alat penukar kalor tipe *helical coil* bersirip sebagai pemanas air. Pengumpulan data yang bertujuan untuk menghitung unjuk kerja (COP) dari mesin pengkondisian udara (AC) tersebut. Pengujian dilakukan selama 60 menit dengan interval mencatat data setiap 5 menit dengan 3 variasi suhu berbeda yaitu: 16°C, 18°C dan 20°C. Dari hasil pengujian diperoleh nilai unjuk kerja (COP) AC dengan pemanas air pada 3 variasi suhu berbeda yaitu: 1,843, 1,858 dan 2,081. Sedangkan pada AC tanpa pemanas air yaitu: 3,053, 2,964 dan 3,071. Dapat disimpulkan bahwa unjuk kerja (COP) pada AC dengan pemanas air cenderung mengalami penurunan pada menit ke-5 sampai menit ke-25, sedangkan pada menit ke-30 sampai menit ke-60 pada AC dengan pemanas air mulai stabil. Terdapat perbedaan pada AC dengan pemanas air dari AC tanpa pemanas air yaitu, kenaikan kerja kompresi yang tinggi, penurunan efek refrigerasi, penurunan kalor yang dibuang oleh kondensor dan naiknya daya kompresor. Maka diperoleh rata-rata nilai unjuk kerja (COP) pada AC dengan pemanas air ini sebesar 1,927. Sedangkan nilai unjuk kerja (COP) dari AC tanpa pemanas air sebesar 3,029. Nilai unjuk kerja (COP) tertinggi didapat pada variasi suhu 20°C baik untuk AC dengan pemanas air maupun AC tanpa pemanas air.

Kata kunci : AC, Unjuk Kerja (COP), Pemanas Air

ANALYSIS OF PERFORMANCE (COP) AIR CONDITIONING MACHINE (AC) WITH THE ADDITION OF HELICAL COIL FINISHED HEAT EXCHANGER AS A WATER HEATER

ABSTRACT

This research is an experimental study that aims to obtain the performance value (COP) of an air conditioning (AC) machine by using the addition of a finned helical coil heat exchanger as a water heater. Data collection aims to calculate the performance (COP) of the air conditioning machine (AC). The test was carried out for 60 minutes with intervals of recording data every 5 minutes with 3 different temperature variations, namely: 16°C, 18°C and 20°C. From the test results, the performance value (COP) of AC with water heater is obtained at 3 different temperature variations, namely: 1.843, 1.858 and 2.081. While the AC without a water heater are: 3,053, 2,964 and 3,071. It can be concluded that the performance (COP) of the air conditioner with a water heater tends to decrease in the 5th minute to the 25th minute, while at the 30th minute to the 60th minute on the air conditioner with a water heater it starts to stabilize. There are differences in air conditioners with water heaters from air conditioners without water heaters, namely, a high increase in compression work, a decrease in the refrigeration effect, a decrease in the heat dissipated by the condenser and an increase in compressor power. Then the average performance value (COP) on the air conditioner with this water heater is 1.927. While the performance value (COP) of AC without water heater is 3.029. The highest performance value (COP) was obtained at a temperature variation of 20°C for both AC with water heater and AC without water heater.

Keywords: AC, Performance (COP), Water Heater

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi yang semakin meningkat menyebabkan ketersediaan dari sumber energi yang ada semakin menurun, dan saat ini sumber energi yang paling banyak digunakan adalah energi listrik. Dalam kehidupan sehari-hari pun manusia mengandalkan listrik sebagai sumber energi di rumahnya maupun di tempat kerjanya. Listrik memang sangat membantu manusia dalam segala aktifitasnya.

Mesin pengkondisian udara atau yang biasa kita sebut AC merupakan mesin yang dipergunakan untuk menyerap panas dari ruangan yang didinginkan kemudian melepaskan panas tersebut ke luar ruangan. Kalor tersebut dilepas melalui kondensor, sehingga terdapat potensi kalor yang yang bisa dimanfaatkan untuk kebutuhan lainnya. Panas yang dihasilkan dari mesin pengkondisian udara (AC) pada ruang tertentu yang tidak dimanfaatkan lebih lanjut, merupakan pembuangan energi yang sia-sia. Untuk menghemat penggunaan energi, maka kalor yang akan dilepaskan oleh kondensor tersebut dapat digunakan untuk memanaskan air.

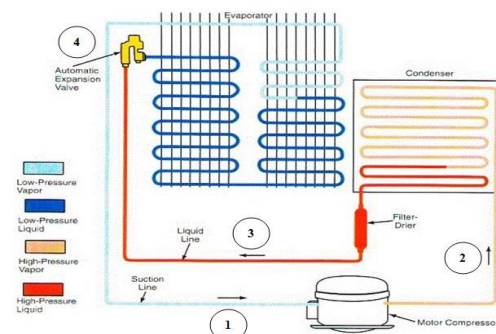
Masyarakat juga senantiasa menginginkan hal baru demi efisiensi dan hidup yang lebih praktis, yaitu salah satunya menggabungkan kedua fungsi dari alat tersebut. Mengingat bahwa alat pengkondisian udara untuk daerah perkotaan sudah merupakan sebuah alat yang biasa, maka jumlah pemakai dari alat tersebut semakin banyak meningkat. Dengan demikian penulis merencanakan untuk memodifikasi dan menambahkan alat penukar kalor (APK) tipe *helical coil* bersirip pada mesin pengkondisian udara (AC) yang ada untuk dijadikan suatu alat yang mempunyai dua fungsi, yaitu untuk mendinginkan ruangan dan untuk memanaskan air yang digunakan untuk keperluan

mandi air hangat serta menganalisis unjuk kerja (COP) terhadap mesin pengkondisian udara (AC) dengan penambahan alat penukar kalor (APK) tipe *helical coil* bersirip tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Mesin Pengkondisian Udara (AC)

Mesin pengkondisian udara (*Air Conditioner*) adalah penerapan sistem refrigerasi untuk menjaga temperatur permukaan atau ruangan pada sebuah bangunan agar tetap dingin selama pada musim panas. Sistem pengkondisian udara (refrigerasi) membuang panas dari sebuah sistem atau ruangan ke lingkungan luar (Hendradinata, 2018). Berikut cara kerja siklus kompresi uap pada *air conditioner*.



Gambar 2.1 Siklus Kompresi Uap

- Proses 1-2 adalah proses kompresi yang dilakukan oleh kompresor, yaitu meningkatkan tekanan dan suhu refrigeran gas yang dihisap dari suction dan kemudian mengkompresi hingga tekanan dan suhu tertentu.
- Proses 2-3 adalah proses kondensasi (panas laten) yang berlangsung di kondensor, yaitu panas lanjut dari kompresor didinginkan hingga mencapai suhu kondensasi dan kemudian mengembun. Pada saat ini kondisi refrigeran adalah liquid pada suhu dan tekanan kondensasi (konstan).
- Proses 3-4 adalah proses ekspansi dimana tekanan refrigeran cair langsung turun karena mengalami

proses ekspansi adiabatik (proses yang terjadi tanpa kehilangan atau pertambahan panas) yaitu entalpi tidak berubah dan mengalami penyempitan sehingga suhu dan tekanan refrigeran turun.

- o Proses 4-1 adalah proses evaporasi, yaitu penguapan refrigeran cair di evaporator dengan disertai penyerapan kalor (Q_{in}). Pada kondisi ini suhu dan tekanan adalah konstan (Hendradinata, 2018).
- 1. Katup Ekspansi adalah untuk mengendalikan aliran refrigeran dari sisi kondensasi bertekanan tinggi ke sistem bertekanan rendah evaporator. Dalam kebanyakan keadaan, pengurangan tekanan tercapai melalui alur aliran variabel, baik modulasi atau dua posisi. Katup ekspansi dapat diklasifikasikan menurut metode kontrol (Trott and Welch, 2000).
- 2. Evaporator berfungsi untuk menerima refrigeran bertekanan rendah, cairan bersuhu rendah dari katup ekspansi dan mendekati kontak termal dengan beban. Refrigeran mengambil panas latennya dari beban dan evaporator meninggalkan sebagai gas kering. Evaporator diklasifikasikan menurut pola aliran refrigerant (Trott and Welch, 2000).

2.4 Prestasi Kompresi Uap

Kinerja dari suatu sistem refrigerasi dapat ditentukan dari besaran-besaran sebagai berikut:

Kerja Kompresi Uap dan Daya Kompresor

Untuk menghitung kerja kompresi dan daya kompresor dapat menggunakan persamaan sebagai berikut: (Shapiro, 2006)

$$\text{Kerja Kompresor } W_c = (h_2 - h_1) \quad (2.1)$$

$$\text{Daya Kompresor } W_c = V \cdot I \cdot \cos \phi \quad (2.2)$$

Laju Aliran Massa Refrigeran

Untuk dapat menghitung laju aliran massa refrigerant maka dapat dihitung dengan membagi kapasitas pendinginan dengan efek refrigerasi. (Shapiro, 2006)

$$\dot{m} = \frac{W_c}{h_2 - h_1} \quad (2.3)$$

Kalor yang dibuang Kondensor

Dari kesetimbangan energi, kalor yang dibuang kondensor haruslah sama dengan jumlah efek refrigerasi dan kalor yang ekuivalen dengan kerja yang diberikan kepada refrigeran selama proses kompresi di kompresor. (Shapiro, 2006)

$$\text{Pembuangan Kalor} = h_2 - h_3$$

$$Q_{out} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_3) \quad (2.5)$$

Efek Refrigerasi & Kapasitas Pendinginan

Proses efek refrigerasi terjadi pada siklus 4-1 seperti pada gambar 1 diatas. Berikut ini persamaan yang dapat digunakan untuk mengetahui efek refrigerasi dari suatu system. (Shapiro, 2006).

$$\text{Efek Refrigerasi (ER)} = h_1 - h_4$$

$$\text{Kap. Pendingin, } Q_{in} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4) \quad (2.7)$$

Coefficient Of Performance (COP)

Untuk menghitung *Coefficient Of Performance* digunakan rumus sebagai berikut: (Stoecker, 2006)

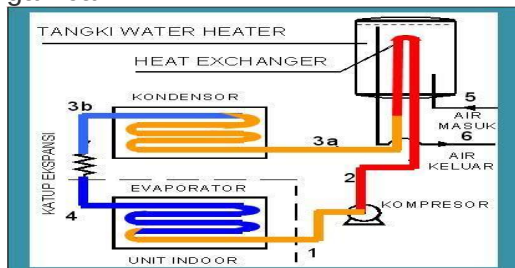
$$COP_{\text{aktual}} = \frac{\text{Kapasitas Pendingin}}{\text{Daya Kompresor}} \quad (2.8)$$

Air Conditioner Water Heater (ACWH)

Air conditioning water heater adalah pemanas air dengan memanfaatkan panas freon dari AC yang biasanya terbuang. Freon panas dialirkan ke *heat exchanger* (alat penukar kalor) yang akan

memanaskan air di tangki penampungan. (Aziz, 2015)

Pemanas air jenis ini memanfaatkan panas freon dari AC yang biasanya di buang. Freon yang panas dialirkan ke *Heat Exchanger* yang akan memanaskan air di tangki penampungan. Suhu tersebut akan diturunkan lagi (dibuang) pada *condensor* dengan cara ditiup dengan kipas. Sebelum masuk *condensor*, aliran freon panas tersebut dibelokkan kedalam tangki yang berisi air dingin. Di dalam tangki ada pipa spiral yang disebut *Heat Exchanger*. Sehingga terjadi kontak antara freon panas dan air dingin pada *Heat Exchanger*. Air yang semula dingin perlahan akan memanaskan sesuai dengan suhu freon. Sebaliknya freon yang semula sangat panas akan sedikit menurun temperaturnya sebagai hasil kontak dengan air dingin tersebut. Seperti gambar 2.2.



Gambar 2.3 Air Conditioner Water Heater (Ferdinand, 2006)

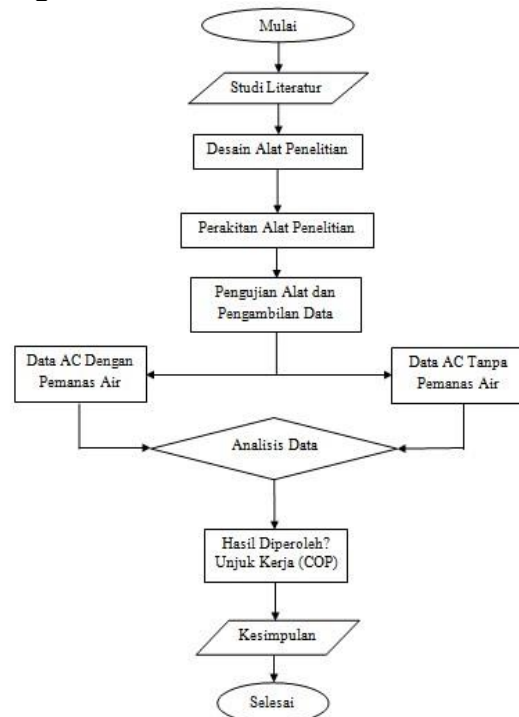
❖ Prinsip proses kerja ACWH:

- Proses 1-2: Uap refrigeran dihisap kompresor kemudian ditekan sehingga tekanan dan temperatur refrigeran naik.
- Proses 2-3a: Panas refrigeran ditransfer kepada air di dalam penukar kalor sehingga air mengalami kenaikan temperatur, sedangkan refrigeran mengalami penurunan dan sebagian telah berubah fasa menjadi cairan.
- Proses 3a-3b: Refrigeran didinginkan pada kondensor seperti pada siklus pendinginan biasa

- Proses 3b-4: Refrigeran keluaran kondensor dan penukar kalor digabungkan sebelum ekspansi. Cairan refrigeran dengan tekanan dan temperatur tinggi diekspansikan sehingga mengalami penurunan tekanan dan temperatur.
- Proses 4-1: Refrigeran di evaporator dalam keadaan temperatur rendah sehingga dapat menyerap kalor ruangan. Cairan refrigeran menguap secara berangsur-angsur karena menerima kalor sebanyak kalor laten penguapan. Selama proses penguapan di dalam pipa terdapat campuran refrigeran fase cair dan uap. Proses ini berlangsung pada tekanan tetap sampai mencapai derajat superheat.

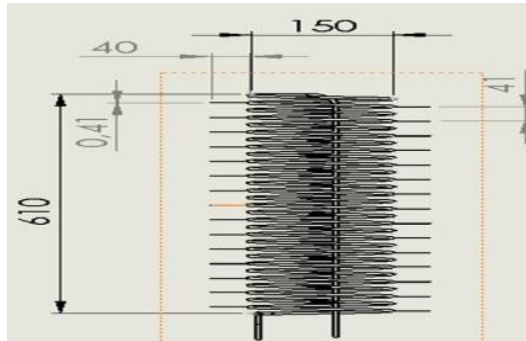
METODOLOGI

Bagan Alir Penelitian

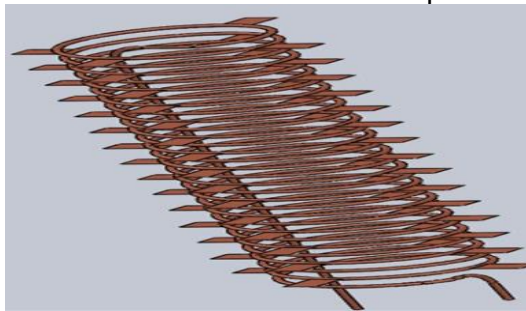


Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

Desain Alat Penelitian

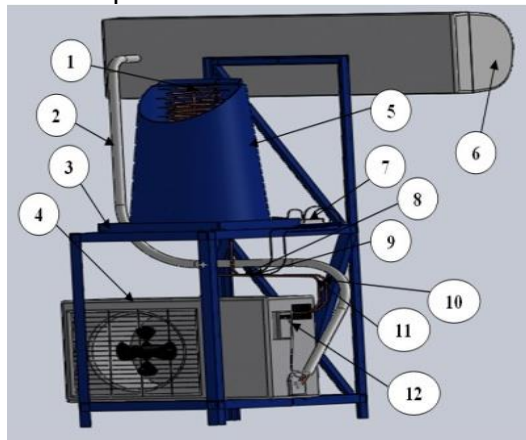


Gambar 3.2 *Helical Coil* Bersirip 2D



Gambar 3.3 *Helical Coil* Bersirip 3D

3.3 Komponen Alat Penelitian



Gambar 3.4 Komponen Alat Penelitian.

Keterangan gambar:

1. APK Tipe *Helical Coil* Bersirip
2. Pipa Freon AC
3. Rangka Dudukan
4. Kondensor
5. Tangki Penampungan Air
6. Evaporator
7. Papan Rangkaian Arduino UNO
8. Sensor Suhu Keluaran Kompresor
9. Sensor Suhu Masuk Kondensor
10. Pipa Kapiler Masuk Kondensor
11. Pipa Kapiler Keluaran Kompresor

12. Kabel Arus Listrik AC Prosedur Pengujian dan Pengambilan Data

Adapun prosedur pengujian dan pengambilan data AC dengan pemanas air dan AC tanpa pemanas air yaitu dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat uji AC dan laptop beserta arduino uno.
2. Memasang alat penelitian APK tipe *helical coil* bersirip ke dalam tangki air (pada pengujian AC dengan pemanas air).
3. Mengisi tangki dengan air sebanyak 60 liter.
4. Menghubungkan sensor suhu DS18B20 ke arduino uno.
5. Menghidupkan laptop dan membuka bahasa program sensor suhu pada arduino uno. Kemudian hubungkan USB arduino uno ke Laptop.
6. Hidupkan alat uji AC, kemudian pasang alat *manifold gauge* untuk mengetahui tekanan *refrigerant* dan mengisi freon AC sesuai kebutuhan penelitian pada setiap pengujian.
7. Kemudian amati dan catat data dari hasil pengujian hingga suhu air yang ada didalam tangki mencapai temperatur air yang digunakan untuk keperluan mandi air hangat yaitu sebesar 42°C - 45°C.
8. Pengambilan data pada pengujian meliputi: tekanan *refrigerant*, temperatur evaporator, temperatur keluaran kompresor, temperatur masuk kondensor dan temperatur air didalam tangki.
9. Kemudian amati dan catat data dari hasil pengujian besarnya tegangan dan arus listrik yang digunakan pada sistem AC saat beroperasi.
10. Pengujian dilakukan sebanyak 6 kali yaitu 3 pengujian pada AC dengan pemanas air dan 3 pengujian pada AC tanpa pemanas air, yaitu: pada variasi suhu evaporator 16°C, 18°C, dan 20°C.

11. Ketika pengujian telah selesai dilakukan, maka kemudian matikan kembali alat pengujian dengan melepaskan kabel penghubung sensor suhu dari arduino uno dan lepaskan *manifold gauge* dari sistem AC, kemudian keluarkan air yang ada di dalam tangki. Dan terakhir bersihkan seluruh perlengkapan yang telah digunakan selama pengujian agar kondisi alat tidak rusak ketika ingin digunakan kembali.

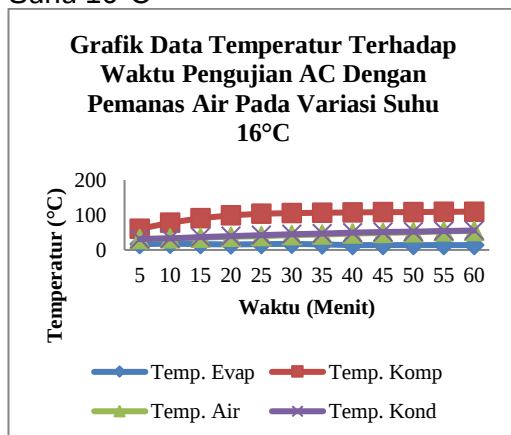
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengujian yang dilakukan pada sistem AC dengan pemanas air dan tanpa pemanas air akan dijabarkan dalam bentuk tabel dan grafik, setelah itu melakukan cara interpolasi untuk mendapatkan nilai enthalpy pada titik-titik pengukuran saat pengujian, dan dilanjutkan dengan pengolahan data.

Pengujian AC Dengan Pemanas Air Pada Variasi Suhu 16°C

Dibawah ini merupakan tabel dan grafik data hasil pengujian berdasarkan pengamatan selama 60 menit dengan interval waktu mencatat setiap 5 menit.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian AC Dengan Pemanas Air Pada Variasi Suhu 16°C



Gambar 4.1 Grafik Data Pengujian AC Dengan Pemanas Air Variasi Suhu 16°C

Pada gambar 4.1 diatas, dapat dilihat bahwa dalam waktu pengujian selama 60 menit, temperatur yang dicapai evaporator pada menit ke-5 sebesar 16,5°C, mengalami penurunan temperatur menjadi 14,2°C pada menit ke-60. Temperatur yang dicapai kompresor pada menit ke-5 sebesar 60,13°C, mengalami kenaikan temperatur kompresor pada menit ke-60 menjadi 109,37°C. Temperatur air pada tangki pemanas air yang dicapai pada menit ke-5 yaitu 31,25°C mengalami kenaikan yang merata sehingga pada menit ke-60 temperatur air mencapai 54,50°C. Temperatur kondensor yang dicapai pada menit ke-5 sebesar 30,94°C, perlahan mengalami kenaikan temperatur sampai menit ke-60 mencapai 55,5°C.

Sebelum melakukan pengolahan data, terlebih dahulu dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai enthalpy dengan melihat tabel R-22 dari masing-masing titik yang diukur.

Diketahui: data pada menit ke-60

Tekanan (P) = 80 Psi

Temperatur Evaporator (T_1) = 14,2°C

Temperatur Kompresor (T_2) = 109,37°C

Temperatur Kondensor (T_3) = 55,5°C

Temperatur Air = 54,50°C

Tegangan = 238 V

Arus = 7,6 A

Dicari : Enthalpy h_1 , h_2 , h_3

Penyelesaian:

Titik 1 (Saturation Vapour)

$T_1 = 14,2^\circ\text{C}$

$h_1 = H_g @ 14,2^\circ\text{C} = \dots\dots\dots \text{kJ/kg}$

Tabel 4.2 DuPont™ Freon® R-22

Saturation

Temperature [°C]	Enthalpy [kJ/kg] Vapour [H_g]
14	409,9
14,2	
15	410,2

Interpolasi h_1 pada Temperatur 14,2°C :

$$h_1 = 409,9 + (410,2 - 409,9) \cdot \left(\frac{14,2 - 14}{15 - 14} \right)$$

$$h_1 = 409,9 + (0,3 \cdot 0,2)$$

$$h_1 = 409,9 + 0,06$$

$$h_1 = 409,96 \text{ kJ/kg}$$

Titik 2 (Superheated)

$$P = 80 \text{ Psi} \rightarrow \times 6,895 = 551,6 \text{ kPa}$$

$$T_2 = 109,37^\circ\text{C}$$

$$h_2 = H @ 109,37^\circ\text{C} = \dots\dots\dots$$

kJ/kg

Tabel 4.3 DuPont™ Freon® R-22
Superheated

Temperature [°C]	Pressure [kPa]	
	550	575
	Enthalpy [kJ/kg]	Enthalpy [kJ/kg]
	Vapour [H]	Vapour [H]
105	481,9	481,7
109,37		
110	485,7	485,5

Interpolasi h_2 pada Tekanan 550 kPa

$$h_2 = 481,9 + (485,7 - 481,9) \cdot \left(\frac{109,37 - 105}{110 - 105} \right)$$

$$h_2 = 481,9 + (3,8 \cdot 0,874)$$

$$h_2 = 481,9 + 3,3212$$

$$h_2 = 485,22 \text{ kJ/kg}$$

Interpolasi h_2 pada Tekanan 575 kPa

$$h_2 = 481,7 + (485,5 - 481,7) \cdot \left(\frac{109,37 - 105}{110 - 105} \right)$$

$$h_2 = 481,7 + (3,8 \cdot 0,874)$$

$$h_2 = 481,7 + 3,3212$$

$$h_2 = 485,02 \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4.4 h_2 pada 550 kPa dan 575 kPa

Pressure [kPa]	Enthalpy [kJ/kg]
	Vapour [H]
550	485,22
551,6	
575	485,02

Interpolasi h_2 pada Tekanan 551,6 kPa

$$h_2 = 485,22 + (485,02 - 485,22) \cdot \left(\frac{551,6 - 550}{575 - 550} \right)$$

$$h_2 = 485,22 + (-0,2 \cdot 0,064)$$

$$h_2 = 485,22 + (-0,0128)$$

$$h_2 = 485,207 \text{ kJ/kg}$$

Titik 3 (Saturation Liquid)

$$T_3 = 55,5^\circ\text{C}$$

$$h_3 = H_f @ 55,5^\circ\text{C} = \dots\dots\dots \text{ kJ/kg}$$

Tabel 4.5 DuPont™ Freon® R-22

Saturation

Temperature [°C]	Enthalpy [kJ/kg]
	Liquid [H _f]
55	270,3
55,5	
56	271,8

Interpolasi h_3 pada Temperatur 55,5°C

$$h_3 = 270,3 + (271,8 - 270,3) \cdot \left(\frac{55,5 - 55}{56 - 55} \right)$$

$$h_3 = 270,3 + (1,5 \cdot 0,5)$$

$$h_3 = 270,3 + 0,75$$

$$h_3 = 271,05 \text{ kJ/kg}$$

Setelah melakukan interpolasi pada data menit ke-60, dengan didapatkan nilai enthalpy pada titik-titik pengukuran, maka dapat dilanjutkan dengan pengolahan data untuk menghitung nilai unjuk kerja (COP) disebut juga dengan koefisien prestasi yang dipergunakan untuk menyatakan performansi dari siklus refrigerasi pada mesin pengkondisian udara (AC).

Didapat:

Tabel 4.6 Enthalpy AC Dengan

Titik Pengukuran	Temperatur (T)	Enthalpy (h)
Titik 1	14,2°C	409,96 kJ/kg
Titik 2	109,37°C	485,207 kJ/kg
Titik 3	55,5°C	271,05 kJ/kg

Pemanas Air Variasi Suhu 16°C

Dicari:

Menghitung besarnya nilai kerja kompresi, efek refrigerasi, daya kompresor, laju aliran massa refrigeran, kalor yang dibuang kondensor, kalor yang diserap evaporator dan unjuk kerja (COP).

Penyelesaian:

Kerja Kompresi,

$$W_c = h_2 - h_1$$

$$= (485,207 - 409,96) \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned}
 &= 75,247 \text{ kJ/kg} \\
 \text{Efek Refrigerasi,} \\
 ER &= h_1 - h_4 \\
 &= (409,96 - 271,05) \text{ kJ/kg} \\
 &= 138,91 \text{ kJ/kg} \\
 \text{Daya Kompresor,} \\
 \dot{W}_c &= V \cdot I \cdot \cos \theta \\
 &= 238 \cdot 7,6 \cdot 0,85 \\
 &= 1537,48 \text{ Watt} \\
 &= 1,53748 \text{ kW} \\
 &= 1,53748 \text{ kJ/s} \\
 \text{Laju Aliran Massa Refrigeran,} \\
 \dot{m} &= \frac{\dot{W}_c}{h_2 - h_1} \\
 &= \frac{1,53748 \text{ kJ/s}}{75,247 \text{ kJ/kg}} \\
 &= 0,0204 \text{ kg/s} \\
 \text{Kalor yang dibuang Kondensor,} \\
 Q_{out} &= \dot{m} \cdot (h_2 - h_3) \\
 &= 0,0204 \text{ kg/s} \cdot (172,955) \text{ kJ/kg} \\
 &= 3,528282 \text{ kJ/s} \\
 \text{Kalor yang diserap Evaporator,} \\
 Q_{in} &= \dot{m} \cdot (h_1 - h_4) \\
 &= 0,0204 \text{ kg/s} \cdot (138,91) \text{ kJ/kg} \\
 &= 2,833764 \text{ kJ/s} \\
 \text{Unjuk Kerja (COP),} \\
 COP &= \frac{Q_{in}}{\dot{W}_c} \\
 &= \frac{2,833764 \text{ kJ/s}}{1,53748 \text{ kJ/s}} \\
 &= 1,843122
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapat nilai unjuk kerja (COP) mesin pengkondisian udara (AC) dengan pemanas air adalah sebesar 1,843 dan dengan daya kompresor sebesar 1,54 kW.

Pembahasan

Dari data hasil perhitungan unjuk kerja (COP) mesin pengkondisian udara (AC) sebagai pemanfaatan energi panas yang terbuang adalah dengan membandingkan sebelum dan sesudah menggunakan pemanas air, maka dapat diambil sebuah data perbandingan dari hasil perhitungan dalam waktu pengujian 60 menit pada 3 variasi suhu berbeda yaitu: 16°C, 18°C, dan 20°C.

Tabel 4.7 Perbandingan Hasil Perhitungan Pada Variasi Suhu 16°C

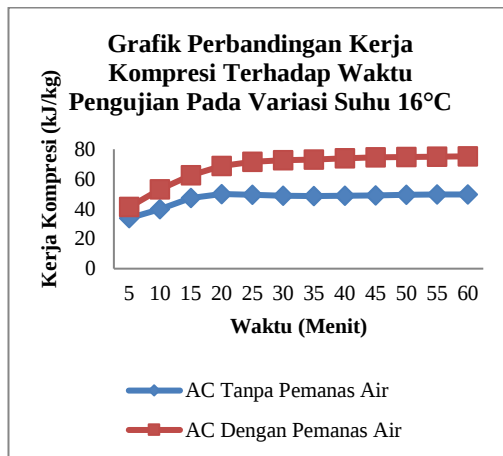
Dari tabel 4.37, 4.38 dan 4.39 diatas menunjukkan perbedaan, maka dapat diurai secara satu persatu dari hasil perhitungan AC dengan pemanas air dan tanpa pemanas air. Adapun yang akan dibahas pada penulisan tugas akhir ini adalah pengujian dengan 3 variasi suhu berbeda.

Perbandingan Kerja Kompresi

Dibawah ini merupakan tabel dan grafik perbandingan kerja kompresi dari AC dengan pemanas air dan tanpa pemanas air pada variasi suhu 16°C.

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Kerja Kompresi

Waktu (Menit)	W	Kerja Kompresi (kJ/kg)	
		AC Tanpa Pemanas Air	AC Dengan Pemanas Air
5	0	33,839	41,233
1	0	39,912	53,148
1	5	47,329	62,604
2	0	50,002	68,759
2	5	49,379	71,672
3	0	48,832	72,687
3	5	48,642	73,144
4	0	48,812	73,96
4	5	49,109	74,473
5	0	49,409	74,863
5	5	49,72	75,092
6	0	49,726	75,247



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Kerja Kompresi Pada Variasi Suhu 16°C

Pada gambar 4.7 dalam waktu 60 menit, kerja kompresi tertinggi yang dicapai AC tanpa pemanas air adalah sebesar 49,726 kJ/kg, sedangkan AC dengan pemanas air adalah sebesar 75,247 kJ/kg. Disini terlihat bahwa kerja kompresi AC dengan pemanas air lebih besar dibandingkan AC tanpa pemanas air, hal ini disebabkan karena refrigeran yang digunakan pada sistem AC dengan pemanas air tersebut jumlahnya lebih banyak. Penambahan tangki untuk memanaskan air mengharuskan dilakukannya penambahan panjang pipa refrigeran yang akan melalui air yang ada didalam tangki.

Dibawah ini merupakan tabel dan grafik perbandingan kerja kompresi dari AC dengan pemanas air dan tanpa pemanas air pada variasi suhu 18°C.

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Kerja Kompresi

Waktu (Menit)	Kerja Kompresi (kJ/kg)	
	AC	
	Tanpa Pemanas Air	AC Dengan Pemanas Air
5	41,289	34,491
1	47,126	47,461
0	1	50,273
5	2	50,523
		58,611
		68,759

0	2	50,193	71,379
5	3	50,883	73,465
0	3	50,903	74,489
5	4	49,692	74,913
0	4	50,902	74,543
5	5	51,152	74,303
0	5	51,685	74,657
5	6	51,333	75,363

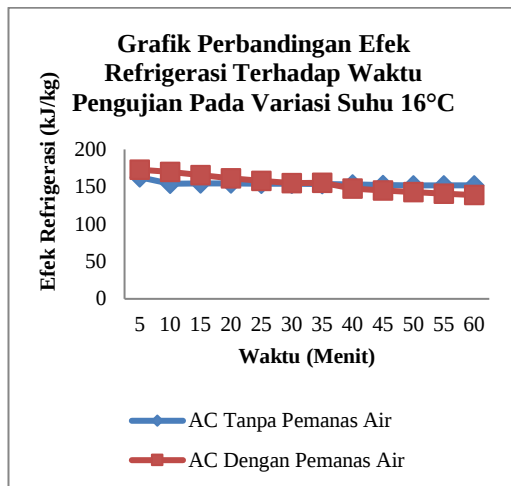
Perbandingan Efek Refrigerasi

Dibawah ini merupakan tabel dan grafik perbandingan efek refrigerasi dari AC dengan pemanas air dan tanpa pemanas air pada variasi suhu 16°C.

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Efek Refrigerasi

Waktu (Menit)	Efek Refrigerasi (kJ/kg)	
	AC Tanpa Pemanas Air	AC Dengan Pemanas Air
5	162,75	172,83
1	154,14	169,92
0	1	154,29
5	2	154,29
0	2	154,21
5	3	154
0	3	153,44
5	4	153,11
0	4	152,48
5	5	151,81
		142,92

0			
5	151,91	140,92	
5			
6	152,07	138,91	
0			



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Efek Refrigerasi Pada Variasi Suhu 16°C

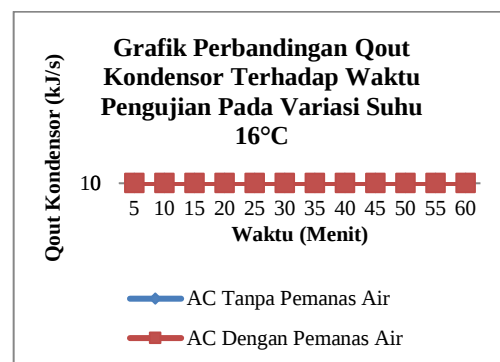
Pada gambar 4.10 terlihat penurunan nilai efek refrigerasi pada AC dengan pemanas air, hal ini didapat dari nilai liquid yang masuk ke evaporator lebih kecil dari angka 152,07 kJ/kg. Maka didapatkan nilai efek refrigerasi AC dengan pemanas air menjadi kecil yaitu sebesar 138,91 kJ/kg. Dari data tersebut dapat dikatakan bahwa perpindahan energi yang terjadi pada sistem AC dengan pemanas air lebih cenderung menurun, sehingga menghasilkan pendinginan yang lebih lama dibandingkan AC tanpa pemanas air dengan nilai yang lebih besar atau cenderung lebih stabil, sehingga menghasilkan pendinginan yang lebih cepat.

Perbandingan Kalor Yang Dibuang Kondensor

Dibawah ini merupakan tabel dan grafik perbandingan kalor yang dibuang kondensor dari AC dengan dan tanpa pemanas air pada variasi suhu 16°C.

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Kalor Yang Dibuang Kondensor

Waktu (Menit)	Kalor Yang Dibuang Kondensor (kJ/s)	
	AC Tanpa Pemanas Air	AC Dengan Pemanas Air
5	8,586903	6,4225078
8	8	
1	7,079104	4,70719
8	8	
1	6,576168	4,2035582
6	6	
2	6,951082	3,8611364
0		
2	6,133904	3,601942
5	4	
3	6,149636	3,4973232
0	8	
3	5,740964	3,5737835
5	2	
4	5,377818	3,3291448
0	6	
4	5,325032	3,254028
5	9	
5	5,251799	3,279111
0	1	
5	5,254795	3,394899
5	8	
6	5,125632	3,528095
0	7	



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Qout Kondensor Pada Variasi Suhu 16°C

Pada gambar 4.13 menunjukkan bahwa penurunan kalor yang dibuang oleh kondensor pada AC dengan pemanas air dalam waktu 60 menit sebesar 3,528 kJ/s, hal ini dikarenakan kalor tersebut diserap oleh air yang

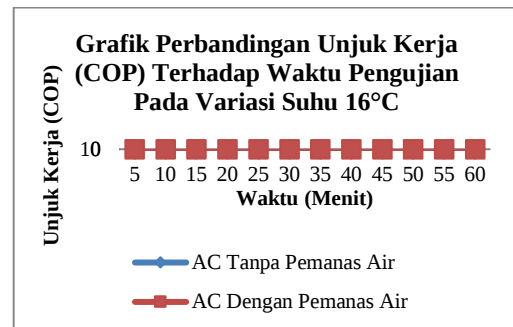
ada didalam tangki dan menghasilkan air panas dengan kapasitas 60 liter. Dimana nilai kalor yang dibuang oleh kondensor AC tanpa pemanas air sebesar 5,126 kJ/s, yang menunjukkan nilai tersebut lebih besar. Maka AC dengan pemanas air berhasil menyerap panas yang ada sebelum kalor tersebut dibuang oleh kondensor guna memanaskan air untuk keperluan mandi.

Perbandingan Unjuk Kerja (COP)

Dibawah ini merupakan tabel dan grafik perbandingan unjuk kerja (COP) dari AC dengan pemanas air dan tanpa pemanas air pada variasi suhu 16°C.

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Unjuk Kerja (COP)

Waktu (Menit)	Unjuk Kerja (COP)	
	AC Tanpa Pemanas Air	AC Dengan Pemanas Air
5	4,811666	2,674961
10	3,859688	2,784052
15	3,258549	2,284198
20	3,084210	1,995669
25	3,123113	1,849156
30	3,151124	1,769144
35	3,153151	1,746438
40	3,135879	1,801054
45	3,104033	1,842489
50	3,072879	1,881532
55	3,052944	1,831962
60	3,052878	1,843098



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Unjuk Kerja (COP) Pada Variasi Suhu 16°C

Pada gambar 4.16 dapat dilihat bahwa unjuk kerja (COP) pada AC dengan pemanas air lebih rendah dari unjuk kerja (COP) pada AC tanpa pemanas air. Unjuk kerja (COP) pada AC tanpa pemanas air menunjukkan angka 3,053 sedangkan pada AC dengan pemanas air menunjukkan angka 1,843. Hal ini disebabkan oleh efek refrigerasi pada AC dengan pemanas air yang lebih cenderung menurun dengan kerja kompresi yang lebih besar.

Perbandingan Daya Kompresor

Dibawah ini merupakan tabel dan grafik perbandingan daya kompresor dari AC dengan pemanas air dan tanpa pemanas air pada variasi suhu 16°C.

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Daya Kompresor

Waktu (Menit)	Daya Kompresor (kW)	
	AC Tanpa Pemanas Air	AC Dengan Pemanas Air
5	1,509744	1,7901
10	1,491678	1,76239
15	1,312548	1,66049
20	1,226507	1,67005
25	1,24287	1,59249
30	1,2274	1,50983

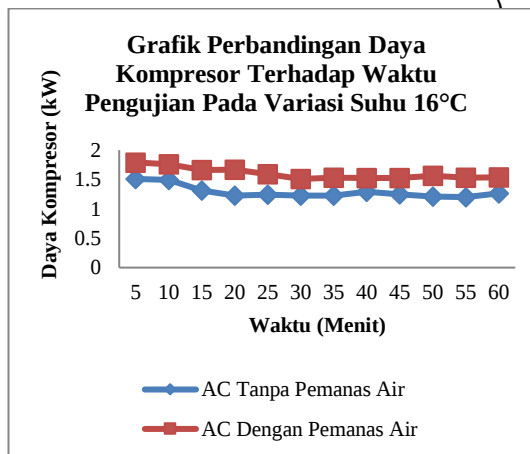
3	1,227287	1,52946
5		5
4	1,292986	1,52640
0		5
4	1,247042	1,52564
5	5	
5	1,209847	1,56236
0	5	
5	1,200922	1,53144
5	5	8
6	1,265225	1,53748
0		

Temperatur Air Yang Diperoleh AC Dengan Pemanas Air

Dibawah ini merupakan tabel dan grafik temperatur air yang diperoleh pada saat operasional dari sistem AC dengan pemanas air pada 3 variasi suhu berbeda.

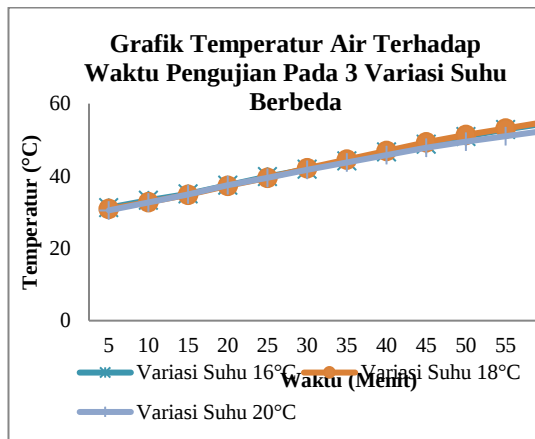
Tabel 4.14 Temperatur Air Yang Diperoleh AC Dengan Pemanas Air

Waktu (Menit)	Temperatur (°C)		
	Varia si 16°C	Varia si 18°C	Varia si 20°C
5	31,2	30,8	30,5
5		7	0
1	33,3	32,7	32,6
1		5	9
1	35,0	34,8	34,8
6		1	8
2	37,4	37,3	37,4
4		1	4
2	39,8	39,5	39,5
1		0	0
3	41,8	42,1	41,6
8		3	9
3	44,1	44,5	43,7
9		6	5
4	46,6	46,8	45,8
3		8	1
4	48,8	49,3	47,8
1		1	1
5	50,8	51,3	49,5
8		1	0
5	52,8	53,1	51,0
1		3	0
6	54,5	54,9	52,5
0		4	0



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Daya Kompresor Pada Variasi Suhu 16°C

Pada gambar 4.19 dimana dalam waktu operasional 60 menit daya kompresor AC dengan pemanas air lebih besar dengan nilai 1,54 kW dibandingkan AC tanpa pemanas air sebesar 1,27 kW, maka dapat dipastikan terdapat kenaikan nilai daya kompresor yang kecil pada saat AC dengan pemanas air digunakan lebih dari 60 menit. Melihat dari hasil perhitungan secara termodinamika maka terdapat sebuah nilai yang sangat dibutuhkan dalam aplikasinya adalah dengan melihat daya kompresor, hal ini sangat dibutuhkan dalam operasional kerja alat tersebut digunakan dirumah.



Gambar 4.7 Grafik Temperatur Air Pada 3 Variasi Suhu Berbeda

Pada gambar 4.22 dapat dilihat bahwa temperatur air pada variasi suhu 16°C menit ke-5 mencapai 31,25°C dan menit ke-60 mencapai 54,50°C. Pada variasi suhu 18°C menit ke-5 mencapai 30,87°C dan pada menit ke-60 mencapai 54,94°C. Pada variasi suhu 20°C menit ke-5 mencapai 30,50°C dan pada menit ke-60 mencapai 52,50°C. Hal ini berhubungan dengan temperatur air yang berada didalam tangki terhadap waktu beroperasi sistem AC adalah berbanding lurus, semakin lama AC dengan pemanas air beroperasi maka temperatur air yang diperoleh akan semakin meningkat.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian, pengolahan data, analisis grafik dan pembahasan diperoleh kesimpulan dari 3 variasi suhu berbeda, yaitu sebagai berikut:

1. Unjuk kerja (COP) pada AC dengan pemanas air cenderung mengalami penurunan pada menit ke-5 sampai menit ke-25, sedangkan pada menit ke-30 sampai menit ke-60 unjuk kerja (COP) pada AC dengan pemanas air mulai stabil. Jadi semakin lama AC dengan pemanas air beroperasi maka akan berpengaruh pada kinerja AC tersebut.

2. Terdapat perbedaan pada AC dengan pemanas air dari AC tanpa pemanas air yaitu, kenaikan kerja kompresi yang tinggi, penurunan efek refrigerasi, penurunan kalor yang dibuang oleh kondensor dan naiknya daya kompresor.
3. Pada pengujian mesin pengkondisian udara (AC), maka diperoleh rata-rata nilai unjuk kerja (COP) pada AC dengan pemanas air ini sebesar 1,927. Sedangkan nilai rata-rata unjuk kerja (COP) dari AC tanpa pemanas air sebesar 3,029. Yang berarti bahwa unjuk kerja (COP) pada AC dengan pemanas air lebih kecil dari AC tanpa pemanas air. Nilai unjuk kerja (COP) tertinggi didapat pada variasi suhu 20°C baik untuk AC dengan pemanas air maupun AC tanpa pemanas air.

DAFTAR PUSTAKA JURNAL

- Anonim. (2018). Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung Dan Struktur Lain. Bsn.
- BSN. (2013). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Bandung: Badan Standardisasi Indonesia, 1–265. www.BSN.go.id
- BSN. (2015). SNI-1729-2015: Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural Badan Standardisasi Nasional. Badan Standarisasi Nasional. www.bsn.go.id
- Cintac. (2010). Manual Técnico Instadeck. 7. https://www.cintac.cl/pdf/manual_instadeck.pdf
- Colaborante, P. (2004). Instadeck. Departemen Pekerjaan Umum. (2002). Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung. Standar Nasional Indonesia.
- Frapanti, S. (2018). Analisa Portal yang Memperhitungkan Kekakuan Dinding Bata dari Beberapa Negara Pada Bangunan Bertingkat Dengan Pushover. Kumpulan Jurnal Dosen Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Frapanti, S., Asfiati, S., & Hadipramana, J. (2020). Pendampingan Legalitas Mutu Berstandart SNI Guna Meningkatkan Pendapatan Home Industri Batu Bata Di Desa Sido Urip Kecamatan Beringin Kabupaten Deli Serdang. JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat, 5(1), 41-46.
- Hadipramana, J., & Syahputra, J. (2021). PERBANDINGAN SIMULASI GAYA AKSIAL DAN LATERAL PLAIN WALL BETON RINGAN ANTARA CAMPURAN STYROFOAM DENGAN LAPISAN COATING DAN ABU SEKAM PADI DENGAN FLY ASH. PROGRESS IN CIVIL ENGINEERING JOURNAL, 1(2).
- Hadipramana, J., Aguslinar, A., Pratiwi, D. N., & Ginting, N. W. (2019, October). Program Pendampingan Remaja Terhadap Dampak Teknologi Digital Terhadap Gaya Hidup di Desa Sidodadi Ramunia, Kabupaten Deli Serdang. In Prosiding Seminar Nasional Kewirausahaan (Vol. 1, No. 1, pp. 378-383).
- Lantai, P., Slab, D., Jenis, B., & Tulangan, D. (n.d.). 1823_Chapter_V. 132–332.
- Lubis, S., Damanik, W. S., & Siregar, M. A. (2021, January). DESIGN OF QIBLAT DIRECTION USING HMc 5883L SENSOR. In Proceeding International Seminar of Islamic Studies (Vol. 2, No. 1, pp. 178-184).
- Lubis, S., Pasaribu, F. I., Harahap, P., Damanik, W. S., Siregar, R. S., Siregar, M. A., ... & Batubara, S. S. (2020). Pelatihan Penggunaan Sensor HMC 5883L Sebagai Petunjuk Arah Kiblat Sumatera Utara. IHSAN: JURNAL PENGABDIAN MASYARAKAT, 2(2), 229-237.
- Lubis, S. (2018). Analisa Tegangan Keluaran Alternator Mobil Sebagai Pembangkit Energi Listrik Alternatif. RELE: Rekayasa Elektrikal dan Energi Jurnal Teknik Elektro <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RELE>.
- Lubis, S. (2019). Analisis Pengaruh Besar Gesekan Terhadap Tegangan Thermal Pada Sepatu Rem Mobil Ketebalan 8 mm Menggunakan Perangkat Lunak Msc. Nastran V. 9. Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi, 2(1), 44-53.
- Lubis, S. (2019). Analisis Pengaruh Besar Gesekan Terhadap Tegangan Thermal Pada Sepatu Rem Mobil Ketebalan 2 mm Menggunakan Perangkat Lunak Msc. Nastran V. 9. Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi, 2(2), 104-114.
- Lubis, S., Siregar, I., & Siregar, A. M. (2020). Karakteristik Unjuk Kerja 2 Pompa Sentrifugal Dengan Susunan Seri Sebagai Turbin Pat. Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi, 3(2), 85-92.
- Lubis, S., Siregar, C. A., Siregar, I., & Hasibuan, E. S. (2020). Kajian

- Eksperimen Deffoormasi Tekanan Pada Struktur Sarang Lebah Dengan Variasi Ukuran Hexagonal Yang Diuji Secara Statis. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(1), 01-10.
- Made Budiwati, I. (2012). Pengujian Kekuatan Penghubung Geser Yang Terbuat Dari Baja Tulangan Berbentuk "U Terbalik". *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 16(2), 212–221.
- OLLGAARD JG, SLUTTER RG, & FISHER JW. (1971). Shear strength of stud connectors in lightweight and normalweight concrete. *Eng J Amer Inst Steel Constr*, 8(2), 55–64.
- Pade, M. M. M., Kumaat, E. J., Tanudjaja, H., & Pandaleke, R. (2013). Pemeriksaan Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton Beragregat Kasar Batu Ringan Ape Dari Kepulauan Talaud. *Jurnal Sipil Statik*, 1(7), 479–485.
- PU, D. (1987). PPPURG_1987.pdf.
- Riza, F. V., & Ariani, R. (2019, October). Pelatihan Manajemen Keuangan Berbasis Excel pada Unit Up2k di Desa Galang Suka. In *Prosiding Seminar Nasional Kewirausahaan* (Vol. 1, No. 1, pp. 373-377).
- Riza, F. V., Lubis, D. S., & Manurung, F. V. B. (2021). ANALISIS MEKANIS BETON BUSA DENGAN KOMBINASI SERAT SABUT KELAPA SERTA BAHAN TAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN SERBUK CANGKANG TELUR. *PROGRESS IN CIVIL ENGINEERING JOURNAL*, 1(2).
- Rozi, M. F. (2012). Pengaruh Panjang Daerah Pemasangan Shear Connector Pada Balok Komposit Terhadap Kuat Lentur Muhammad Fakhrur Rozi. 1–7.
- Sumampouw, F. M., Wallah, S. E., Ointu, B. M. M., & Dapas, S. O. (2018). Dengan Plat Beton. 6(7), 449–460.
- Tumimomor, M. E., Dapas, S. O., & Mondoringin, M. R. I. A. J. (2016). Analisis Penghubung Geser (Shear Connector) Pada Balok Baja Dan Pelat Beton. *Jurnal Sipil STatik* Vol.4 No.8 Agustus 2016 (461-470), 4(8), 461–470.
- Wijaya, Y., Sipil, D., Teknik, F., & Indonesia, U. (2008). Akibat Beban Semi Siklik Behavior Study of Partially Prestress Concrete Beam Under Semi - Cyclic Loads With Numerical Method.
- Zulkarnain, F., & Dewi, I. (2021). Bimbingan Dan Pelatihan Kepada Masyarakat Tentang Pembagian Harta Warisan Menurut Islam Di Ranting Tanjung Gusta Medan. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 6(1), 70-81.
- Zulkarnain, F., & Dewi, I. D. (2020). PKM Pembuatan Saluran Drainase Dusun li Jln Inpres Desa Tanjung Gusta Untuk Mengatasi Banjir. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 1-5.
- Zulkarnain, F. (2021). KONTRAK, PETELITIAIN PENELITIAN TERAPAIN (PT) Tahun Anggaran 2018. KUMPULAN BERKAS KEPANGKATAN DOSEN.
- Zulkarnain, F. (2021). KONTRAK PENELITIAN RISET TERAPAN/MATERIAL MAJU (PPT) TAHUN ANGGARAN 2017. KUMPULAN BERKAS KEPANGKATAN DOSEN.
- Zulkarnain, F. (2021). SURAT PERJANJIAN PENUGASAN PELAKSANAAN HIBAH PROGRAM IPTEK BAGI MASYARAKAT TAHUN ANGGARAN 2017. KUMPULAN BERKAS KEPANGKATAN DOSEN.
- Zulkarnain, F. (2021). SURAT PERJANJIAN PENUGASAN PELAKSANAAN HIBAH PROGRAM IPTEK BAGI MASYARAKAT TAHUN ANGGARAN 2017. KUMPULAN BERKAS KEPANGKATAN DOSEN.