

# Pengaruh Variasi Massa Refrigeran *Charge R-134a* Pada proses Retrofit Pada Sistem Refrigerasi *Dual Function* Sebagai *Air Handling Unit* dan *Water Chiller* Terhadap Efisiensi Sistem

Zulfa Maulana <sup>1</sup>, George Endri Kusuma <sup>2</sup>, Benedicta Dian Alfanda <sup>3</sup>

Program Studi D4 Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>1,2,3</sup>

Email: [zulfamaulana08@student.ppns.ac.id](mailto:zulfamaulana08@student.ppns.ac.id), [Kusuma.george@ppns.ac.id](mailto:Kusuma.george@ppns.ac.id), [benedictadian@ppns.ac.id](mailto:benedictadian@ppns.ac.id)

---

**Abstract** - *Dual function refrigeration system at fluid machinery laboratory of the Shipbuilding Institute of Polytechnic Surabaya is a refrigeration system in default use R-12. Currently, the system has been retrofitted with R-134a to replace R-12 which has been banned. When retrofit process, the problem is unidentified about the optimal mass of refrigerant charge in the system. So this project as been conducted as an experiment with several variations of the refrigerant mass charge in the system. The highest value of EER (Energy Efficiency Ratio) of dual function refrigeration system at this experiment is 2,888 was obtained in water chiller mode with 6L/m chilled water flowrate at 470 gram refrigerant mass.*

**Keyword:** *EER (Energy Efficiency Ratio), Experiment, Flowrate, Mass, R-12, R-134a*

---

## 1. PENDAHULUAN

Sistem refrigerasi merupakan kombinasi komponen, peralatan, dan perpipaan yang dihubungkan dalam urutan tertentu untuk menghasilkan efek refrigerasi. Efek refrigerasi merupakan kuantitas kalor yang dapat dipindahkan oleh setiap satuan massa refrigeran[1]. Pada umumnya siklus refrigerasi yang banyak digunakan adalah siklus refrigerasi dengan jenis siklus kompresi uap. Jenis siklus tersebut banyak digunakan pada sistem-sistem seperti *residential air conditioner*, lemari pendingin, dan juga pompa kalor. Sama halnya pada mesin refrigerasi *dual function* sebagai *air handling unit* dan *water chiller* ini yang juga menggunakan siklus refrigerasi dengan jenis kompresi uap.

Refrigeran merupakan fluida yang berfungsi untuk memindahkan kalor[2]. Pada sebuah sistem refrigerasi, keberadaan refrigeran di dalam sistem adalah hal yang penting. Karena refrigeran merupakan fluida kerja yang ada didalam sistem refrigerasi. Sehingga kuantitas refrigeran dalam sistem refrigerasi akan menentukan kemampuan sistem refrigerasi dalam menghasilkan efek refrigerasi. Maka proses *charging* refrigeran ke dalam sistem refrigerasi harus dilakukan secara hati-hati untuk memastikan tidak terjadi kondisi *overcharge* ataupun *undercharge* pada sistem tersebut.

Massa refrigeran yang *dicharge* ke dalam sistem refrigerasi juga akan mempengaruhi kapasitas, performa, dan efisiensi dari sebuah sistem refrigerasi [3]. Sehingga ketika melakukan *charging* refrigeran, harus diperhatikan kuantitas massa refrigeran yang di *charge*, terlebih ketika setelah melakukan retrofit dengan refrigeran yang berbeda. Karena pada dasarnya setiap refrigeran

memiliki karakteristik yang tidak sama. Hal inilah yang menyebabkan ketika proses *charging* pada akhir proses retrofit harus dilakukan dengan beberapa percobaan variasi massa refrigeran. Hal tersebut dilakukan untuk dapat diketahui karakteristik kapasitas, performa, dan efisiensi sistem refrigerasi pada tiap variasi massa *charging* refrigeran. Sehingga dalam penggunaannya, sistem refrigerasi memiliki kapasitas, performa, dan efisiensi sesuai yang diinginkan.

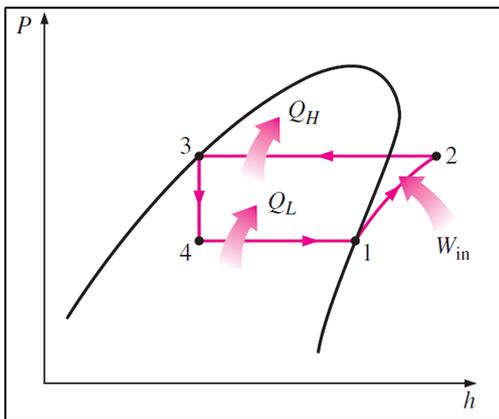
Kegiatan tersebut juga pernah dilakukan oleh Sutandi dan kawan-kawan pada tahun 2020 dengan judul "*Experimental Study of R 32 as a Retrofit for R410A Refrigerant in a Residential Air Conditioner*"[4]. Penelitian tersebut melakukan studi eksperimen dengan melakukan retrofit pada sistem *Air Conditioner* tipe *residential* yang semula menggunakan refrigeran R410A menjadi R 32. Pada penelitian tersebut disampaikan bahwa tantangan terberat adalah menemukan massa refrigeran yang ideal untuk memperoleh performa dan efisiensi sistem yang optimal. Maka untuk mencapai tujuan tersebut, dilakukan variasi massa refrigeran *charge* pada sistem mulai dari 90% hingga 105% dari massa standar pengisian refrigeran R 32 100% setelah diretrofit. Dari penelitian tersebut dapat dijadikan acuan bahwa saat melakukan variasi massa refrigeran, perlu diketahui terlebih dahulu kapasitas normal dari massa refrigeran *charge* pada sistem. Kemudian variasi dilakukan dengan mengurangi pada rentang 5% dari kapasitas normal ataupun juga dapat menambah 5% dari kapasitas normalnya. Sehingga di penelitian ini, akan dilakukan eksperimen terhadap variasi massa refrigeran *charge* R-134a pada mesin refrigerasi *dual function* setelah dilakukan proses

retrofit di laboratorium permesinan fluida Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Dalam eksperimen ini, variasi massa dibatasi berdasarkan kapasitas maksimum yang diijinkan pada refrigeran *charge* untuk mesin refrigerasi *dual function* yang ada pada laboratorium permesinan fluida Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Serta diharapkan dapat diketahui karakteristik efisiensi sistem ketika dilakukan variasi massa refrigeran *charge* tersebut pada mode operasi *air handling unit* dan *water chiller*.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Siklus Ideal Refrigerasi Kompresi Uap

Sistem refrigerasi dengan siklus kompresi uap ini merupakan siklus yang melakukan kompresi pada refrigeran pada fase uap kemudian dilakukan proses kondensasi untuk mengubah fase refrigeran menjadi fase *liquid*, lalu refrigeran cair tersebut tekanannya diturunkan dengan proses ekspansi untuk diuapkan kembali [5]. Berikut ini merupakan gambar *P-h diagram* dari siklus ideal refrigerasi kompresi uap.



Gambar 1 P-h Diagram Siklus Refrigerasi Ideal Kompresi Uap [6]

Pada gambar 1 menunjukkan bahwa siklus ideal refrigerasi kompresi uap yang terdapat pada sebuah sistem refrigerasi terjadi dengan langkah-langkah:

1. Langkah 1-2 merupakan langkah kompresi isentropik yang terjadi pada kompressor.
2. Langkah 2-3 merupakan proses pelepasan panas di kondensator yang terjadi pada tekanan konstan atau secara isobarik.
3. Langkah 3-4 merupakan proses *throttling* yang dilakukan oleh katup ekspansi.
4. Langkah 4-1 merupakan proses penyerapan panas di evaporator yang terjadi pada tekanan konstan atau secara isobarik.

### 2.2 Proses 3R (*Recovery, Recycle, dan Recharge*)

Proses 3R ini merupakan proses utama dalam pengelolaan refrigeran pada sebuah sistem refrigerasi. *Recovery* merupakan proses pengvakuman sistem untuk mengeluarkan

refrigeran dari sistem[7]. Proses ini biasanya dapat dilakukan dengan menggunakan kompressor vakum saja ataupun dengan mesin 3R. Lalu untuk *recycle* merupakan proses daur ulang refrigeran yang hanya bisa dilakukan pada mesin 3R dengan tujuan memurnikan kembali refrigeran dengan melakukan pemisahan antara refrigeran dengan minyak pelumas yang terbawa saat proses *recovery*. Kemudian proses *recharge* merupakan proses untuk mengisikan kembali refrigeran pada sistem refrigerasi, proses ini bisa dilakukan dengan menggunakan *refrigeran manifold*, ataupun juga dengan mesin 3R.

### 2.3 Energy Efficiency Ratio (EER)

*Energy efficiency ratio (EER)* dapat didefinisikan sebagai rasio total dari kapasitas pendinginan (*refrigeration effect*) atau  $\dot{Q}$  Evaporator dibandingkan dengan daya input aktif kompressor ketika sistem beroperasi [8].

$$EER = \frac{\dot{Q} \text{ Evaporator (kW)}}{P \text{ Kompresor (kW)}} \quad (1)$$

### 2.4 Refrigeration Effect ( $\dot{Q}$ Evaporator)

*Refrigeration effect* merupakan kemampuan evaporator untuk melakukan penyerapan kalor yang diserap oleh refrigeran[6].

$$\dot{Q}_{\text{Evap}} = (h_1 - h_4) \times \dot{m}_{\text{Refrigeran}} \text{ (kW)} \quad (2)$$

Keterangan:

$h_1$ = Enthalpi refrigeran saat keluar dari evaporator (kJ/kg).

$h_4$ = Enthalpi refrigeran saat masuk ke evaporator (kJ/kg).

$\dot{m}$  Refrigeran= *Mass flowrate* dari refrigeran (kg/s).

### 2.5 Daya Listrik Motor Kompresor (P Kompresor)

Untuk melakukan perhitungan konsumsi daya listrik motor kompressor tiga fase yang digunakan untuk melakukan kompresi pada refrigeran dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$P = \frac{\sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos}\phi}{1000} \quad (3)$$

Keterangan:

P=Daya aktif listrik (kW)

V=Tegangan (Volt)

I=Kuat Arus (Ampere)

Cos $\phi$ =Faktor Daya (0,85)

Pada penelitian ini nilai faktor daya yang digunakan adalah 0,85. Nilai tersebut mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh Abdussamad pada tahun 2022 [9]. Menyebutkan bahwa sesuai dengan SPLN 70-1 nilai standar dari faktor daya adalah sebesar  $\geq 0,85$ .

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan perhitungan sesuai dengan persamaan 1, 2, dan 3 pada seluruh data hasil variasi massa refrigeran pada mode *AHU* dan *Water Chiller* maka dihasilkan analisis nilai *EER* sebagai berikut.

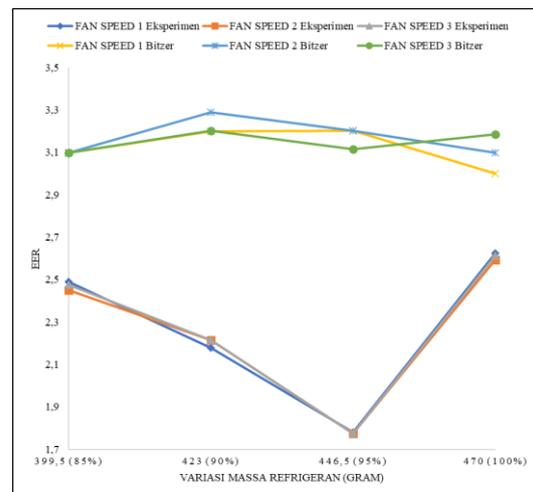
### 3.1 Mode Air Side (Air Handling Unit)

Pada gambar 2 merupakan gambar grafik nilai *Energy Efficiency Ratio* (*EER*) kombinasi hasil dari eksperimen dan nilai acuan yang ada pada dokumen *bitzer technical information*[10], sesuai dengan kondisi operasi yang ada ketika eksperimen, dengan tiap-tiap variasi massa refrigeran yang beroperasi pada mode *air handling unit* (*Air Side*). Nilai *EER* yang didapat dari data *bitzer technical information* cenderung stabil pada rentang nilai *EER* 3 hingga 3,3 dan nilai *EER* tersebut lebih tinggi dibanding nilai *EER* hasil eksperimen. Sedangkan nilai *EER* hasil eksperimen memiliki hasil dengan rincian pada massa refrigeran 399,5 gram (85%) nilai *EER* adalah 2,4887 pada *fan speed 1* dan 2,4501 pada *fan speed 2* serta 2,4745 pada *fan speed 3*. Nilai *EER* pada variasi massa refrigeran 399,5 gram (85%) ini jika diperhatikan di *fan speed 1* adalah nilai yang tertinggi, hal tersebut disebabkan oleh nilai *P* Kompresor yang rendah pada *fan speed* tersebut dibanding dengan *fan speed 2* dan 3. Lalu untuk *EER* pada *fan speed 2* yang bernilai lebih rendah dibanding *fan speed 1* dan 3 dikarenakan adanya penurunan  $\dot{Q}$  Evaporator dan kenaikan *P* kompresor pada kondisi *fan speed* tersebut.

Kemudian untuk variasi massa refrigeran 423 gram (90%) nilai *EER* terjadi penurunan dibanding variasi massa sebelumnya dengan rincian pada *fan speed 1* terjadi penurunan 12,5% dengan nilai 2,1776; pada *fan speed 2* terjadi penurunan 9,65% dengan nilai 2,2136; pada *fan speed 3* terjadi penurunan 10,48% dengan nilai 2,2151. Penurunan tersebut terjadi karena pada variasi massa refrigeran 423 gram (90%) terdapat penurunan  $\dot{Q}$  Evaporator dan *P* Kompresor dibanding dengan variasi massa sebelumnya. Namun yang turun lebih signifikan adalah  $\dot{Q}$  Evaporatornya. Lalu pada massa 423 gram (90%) ini jika diperhatikan nilai *EER* meningkat seiring dengan meningkatnya nilai *fan speed*. Hal tersebut disebabkan adanya peningkatan nilai  $\dot{Q}$  Evaporator tiap *fan speed* dinaikkan pada kondisi operasi tersebut.

Untuk variasi massa refrigeran 446,5 gram (95%) nilai *EER* terjadi penurunan lagi dibanding variasi massa sebelumnya dengan rincian pada *fan speed 1* menurun 18,25% dengan nilai 1,7802; pada *fan speed 2* terjadi penurunan 19,78% dengan nilai 1,7757; pada *fan speed 3* terjadi penurunan 19,9% dengan nilai 1,7744. Penurunan tersebut terjadi karena pada variasi massa refrigeran 446,5 gram (95%) terdapat penurunan  $\dot{Q}$  Evaporator dibanding pada variasi massa sebelumnya. Serta jika diperhatikan pada variasi massa 446,5 gram (95%) ini nilai *EER* menurun seiring penambahan *fan speed* ketika sistem beroperasi. Hal tersebut disebabkan karena adanya kenaikan *P* kompresor seiring dengan peningkatan *fan speed*.

Lalu untuk variasi massa refrigeran 470 gram (100%) nilai *EER* terjadi kenaikan dibanding variasi massa sebelumnya dengan rincian pada *fan speed 1* mengalami kenaikan 47,47% dengan nilai 2,6253; pada *fan speed 2* mengalami kenaikan 46,05% dengan nilai 2,5934; pada *fan speed 3* terjadi kenaikan 47,22% dengan nilai 2,6123. Hal tersebut terjadi karena adanya kenaikan  $\dot{Q}$  Evaporator dibanding dengan variasi massa sebelumnya. Serta jika diamati pada variasi massa refrigeran 470 gram (100%) ini nilai *EER* tertinggi pada *fan speed 1* karena hal tersebut disebabkan oleh nilai *P* kompresor pada *fan speed* tersebut adalah yang terendah dari *fan speed* lainnya.



Gambar 2 Grafik Hubungan Nilai *EER* Dengan Tiap Variasi Massa Refrigeran Pada Mode *Air Side*

### 3.2 Mode Water Side (Water Chiller)

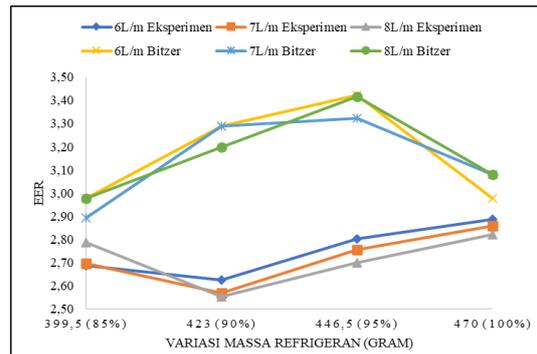
Pada gambar 3 merupakan gambar grafik hubungan antara nilai *Energy Efficiency Ratio* (*EER*) kombinasi hasil dari eksperimen dan nilai acuan yang ada pada dokumen *bitzer technical information*[10], sesuai dengan kondisi operasi yang ada ketika eksperimen, dengan tiap-tiap variasi massa refrigeran yang beroperasi pada mode *water chiller* (*Water Side*). Nilai *EER* yang didapat dari data *bitzer technical information* berada pada rentang nilai 2,9 hingga 3,4; nilai tersebut cenderung lebih tinggi dibanding dengan nilai *EER* hasil eksperimen. Sedangkan nilai hasil eksperimen memiliki nilai dengan rincian pada variasi massa refrigeran 399,5 gram (85%) nilai *EER* adalah 2,6881 pada *flowrate 6L/m* dan 2,6955 pada *flowrate 7L/m* serta 2,7864 pada *flowrate 8L/m*. Nilai *EER* pada variasi massa refrigerant 399,5 gram (85%) ini jika diperhatikan terjadi kenaikan seiring dengan kenaikan *flowrate chilled water*. Hal tersebut terjadi karena adanya penurunan *P* Kompresor dan kenaikan  $\dot{Q}$  Evaporator seiring dengan kenaikan *flowrate chilled water*.

Kemudian untuk variasi massa refrigeran 423 gram (90%) nilai *EER* terjadi penurunan dibanding variasi massa sebelumnya dengan

rincian pada *flowrate* 6L/m terjadi penurunan 2,37% dengan nilai 2,6245; pada *flowrate* 7L/m terjadi penurunan 4,72% dengan nilai 2,5681; pada *flowrate* 8L/m terjadi penurunan 8,36% dengan nilai 2,5535. Penurunan tersebut terjadi karena pada variasi massa refrigeran 423 gram (90%) terdapat kenaikan P Kompresor dan penurunan  $\dot{Q}$  Evaporator dibanding dengan variasi massa sebelumnya. Lalu pada massa 423 gram (90%) ini jika diperhatikan nilai *EER* menurun seiring dengan meningkatnya nilai *flowrate chilled water*. Hal tersebut disebabkan adanya peningkatan nilai P Kompresor dan penurunan  $\dot{Q}$  Evaporator tiap *flowrate chilled water* dinaikkan pada kondisi operasi tersebut.

Untuk variasi massa refrigeran 446,5 gram (95%) nilai *EER* terjadi kenaikan dibanding variasi massa sebelumnya dengan rincian pada *flowrate* 6L/m naik 6,81% dengan nilai 2,8031; pada *flowrate* 7L/m terjadi kenaikan 7,32% dengan nilai 2,7561; pada *flowrate* 8L/m terjadi kenaikan 5,78% dengan nilai 2,7010. Kenaikan tersebut terjadi karena pada variasi massa refrigeran 446,5 gram (95%) terdapat kenaikan  $\dot{Q}$  Evaporator dibanding pada variasi massa sebelumnya. Serta jika diperhatikan pada variasi massa 446,5 gram (95%) ini nilai *EER* menurun seiring penambahan *flowrate chilled water* ketika sistem beroperasi. Hal tersebut disebabkan karena adanya kenaikan nilai P kompresor seiring dengan peningkatan *flowrate chilled water*.

Lalu untuk variasi massa refrigeran 470 gram (100%) nilai *EER* terjadi lagi kenaikan dibanding variasi massa sebelumnya dengan rincian *flowrate* 6L/m naik 3,03% dengan nilai 2,8880; pada *flowrate* 7L/m terjadi kenaikan 3,66% dengan nilai 2,8571; pada *flowrate* 8L/m terjadi kenaikan 4,42% dengan nilai 2,8205. Hal tersebut terjadi karena adanya penurunan pada  $\dot{Q}$  Evaporator dan P Kompresor dibanding dengan variasi massa sebelumnya. Akan tetapi penurunan yang signifikan terjadi pada P Kompresor. Serta jika diamati pada variasi massa refrigeran 470 gram (100%) ini nilai *EER* menurun seiring penambahan *flowrate chilled water* ketika sistem beroperasi. Hal tersebut disebabkan karena adanya kenaikan nilai P kompresor seiring dengan peningkatan *flowrate chilled water* serta penurunan nilai  $\dot{Q}$  Evaporator ketika *flowrate* 8L/m.



Gambar 3 Grafik Hubungan Nilai *EER* Dengan Tiap Variasi Massa Refrigeran Pada Mode *Water Side*

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa adanya perbedaan nilai kapasitas evaporator dan juga konsumsi daya listrik kompresor pada variasi massa refrigeran charge yang dilakukan, berpengaruh pada nilai *energy efficiency ratio (EER)* pada sistem. Nilai *EER* yang tertinggi tercapai dengan nilai 2,888 pada mode operasi *water side (water chiller)* dengan *flowrate chilled water* 6L/m saat variasi massa refrigeran 470 gram (100%).

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyelesaian penelitian ini tidak terlepas dari bimbingan, masukan, bantuan dan motivasi dari berbagai pihak, untuk itu penulis menyampaikan rasa terimakasih kepada:

1. Bapak George Endri Kusuma, S.T., M.Sc.Eng. selaku dosen pembimbing I.
2. Ibu Benedicta Dian Alfanda, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II.
3. Kepala laboratorium permesinan fluida PPNS yang telah memberi izin dalam pelaksanaan penelitian ini.
4. Bapak/ibu dosen dan teknisi yang telah memberi saran dan membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. C. Purnomo and B. Waluyo, "Optimalisasi penggunaan refrigeran musicool untuk meningkatkan performa sistem refrigerasi kompresi uap dengan variabel katup ekspansi," *Semnastek Univ. Muhammadiyah Jakarta*, no. November, pp. 1–7, 2015, [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/473>
- [2] F. A. Pratama, W. H. Mitrakusuma, Muhamad Anda Falahuddin, and W. S. Ayu, "Kajian kinerja sistem refrigerasi menggunakan refrigeran R32, R22 dan R1270 menggunakan REFPROP," *Pros. 12th Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, pp.

- 472–477, 2021.
- [3] E. T. Berman, R. A. Hapidz, K. Sumardi, and M. Mutaufiq, “Uji Performa Wall Mounted Split Air Conditioner Menggunakan Refrigeran Hc-290 Sebagai Pengganti Refrigeran Hcfc-22,” *FLYWHEEL J. Tek. Mesin Untirta*, vol. V, no. 1, p. 94, 2019, doi: 10.36055/fwl.v0i0.5448.
- [4] T. Sutandi, A. S. Margana, K. Sumeru, and M. F. Sukri, “Experimental Study of R32 as a Retrofit for R410A Refrigerant in a Residential Air Conditioner,” vol. 198, no. Issat, pp. 167–170, 2020, doi: 10.2991/aer.k.201221.029.
- [5] G. Al Hasbi, U. Budiarto, and W. Amiruddin, “Analisa Unjuk Kerja Desain Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Pada Kapal Ikan Ukuran 5 Gt Di Wilayah Rembang,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 4, no. 4, pp. 768–778, 2016.
- [6] Y. A. Cengel and M. A. Boles, “Thermodynamics: An Engineering Approach, 5 ed, McGraw-Hill, 2006,” *MC Graw Hill*, vol. 7, no. 2, p. 962, 2008.
- [7] A. Y. Y. PRIYANTO, “Survey Kepemilikan Mesin 3R (Recovery, Recycle, Recharge) Pada Bengkel-Bengkel Air Conditioner (Ac) Mobil Di Kota Surabaya,” *J. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 2, pp. 285–293, 2013.
- [8] M. Setiyo, B. C. Purnomo, B. Waluyo, D. R. B. Syaka, and N. Hamidi, “Refrigeration effect and energy efficiency ratio (EER) calculation of 1/2 cycle refrigeration system on LPG-fueled vehicles,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 403, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/403/1/012087.
- [9] H. Ndikade, S. Salim, and S. Abdussamad, “Studi Perbaikan Faktor Daya Pada Jaringan Listrik Konsumen Di Kecamatan Katobu Kabupaten Muna,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 52–59, 2022, doi: 10.37905/jjee.v4i1.11989.
- [10] B. Compressors, “Semi Hermetic Compressors,” 2014.