

## Kaji Eksperimental Pengaruh Perubahan Tegangan Suplai terhadap Performansi Sistem AC *Split*

Feby Febriani<sup>1,\*</sup>, Andriyanto Setyawan<sup>2</sup>, Luga Martin Simbolon<sup>3</sup>, Hafid Najmudin<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559  
E-mail : <sup>1,\*</sup>feby.febriani.tptu419@polban.ac.id, <sup>2</sup>andriyanto@polban.ac.id, <sup>3</sup>lugamartin@polban.ac.id  
<sup>4</sup>Balai Besar Bahan dan Barang Teknik, Bandung, Indonesia  
E-mail : <sup>4</sup>hafidnajmudin@gmail.com

### ABSTRAK

Tegangan listrik yang disuplai ke rumah hunian sering kali berfluktuasi. Jatuh tegangan yang terjadi dapat menyebabkan besarnya tegangan yang diterima oleh konsumen tidak sebanding dengan nilai tegangan yang dikirim. Ketidaksesuaian tegangan suplai terhadap tegangan ratingnya akan berdampak pada kinerja suatu peralatan listrik, seperti pengkondisi udara (AC). Untuk memperoleh performa terbaiknya maka dilakukan kaji eksperimental terkait pengaruh perubahan tegangan suplai terhadap performansi AC *Split* yang berkapasitas pendinginan 1 PK dengan 8 variasi perubahan tegangan. Besarnya tegangan yang disuplai dalam pengoperasian AC diatur mulai dari 240 V ke 170 V, dengan penurunan sebesar 10 V menggunakan AC *Power Source*. Pengujian ini dilakukan di dalam *psychrometric chamber* yang dirancang sesuai standar ISO 5151 pada  $T_{DB, indoor\ side} = 27^{\circ}C$ ,  $T_{WB, indoor\ side} = 19^{\circ}C$ ,  $T_{DB, outdoor\ side} = 35^{\circ}C$  serta  $T_{WB, outdoor\ side} = 24^{\circ}C$ . Hasil dari pengujian ini didapatkan bahwa sistem bertegangan 220 V menghasilkan nilai EER paling optimum yakni sebesar 11,26 (Btu/hr)/W, sistem bertegangan 240 V mengalami penurunan hingga mencapai 10,96 (Btu/hr)/W sedangkan sistem bertegangan rendah 170 V memberikan pengaruh besar terhadap penurunan performansi hingga 7,6% yang hanya mencapai 10,38 (Btu/hr)/W.

### Kata Kunci

AC *Split*, Tegangan Suplai, AC *Power Source*, ISO 5151

### 1. PENDAHULUAN

Permasalahan kualitas listrik yang sering dialami oleh masyarakat adalah masalah jatuh tegangan. Jatuh tegangan merupakan suatu fenomena dalam sistem distribusi jaringan listrik yang mengacu pada penurunan tegangan listrik. Dalam hal ini, sistem distribusi jaringan listrik yang didistribusikan oleh PT. PLN terhadap konsumen sering kali berfluktuasi sehingga besarnya tegangan yang diterima tidak sebanding dengan nilai tegangan yang dikirim. Kasus yang terjadi pada salah satu konsumen di Subang, tegangan listrik yang diterima mengalami fluktuasi setiap waktunya dan mengalami jatuh tegangan terendah pada waktu beban puncak sekitar pukul 10:00 hingga 14:30 [1]. Perusahaan kelistrikan di Indonesia memproduksi tegangan listrik satu fasa dengan nilai nominal sebesar 220 V – 240 V sesuai IEC 60038 (SNI 04-0227) [2]. Menurut kebijakan yang telah ditetapkan oleh PT. PLN Indonesia, standar toleransi variasi tegangan yang berlaku hingga saat ini hanya diperbolehkan maksimum +5% dan minimum -10% dari tegangan nominalnya [3]. Pada kenyataannya, salah satu pelanggan PLN di Subang mendapati tegangan listrik yang mengalami jatuh tegangan

terlampau rendah hingga mencapai 140 Volt [4]. Hal itu terjadi disebabkan sedang mengalami gangguan dan sedang dalam perbaikan dari pihak PLN. Adapun kasus lain yang terjadi pada salah satu teknisi HVAC di Tangerang Selatan dan warga Kota Kualatungkal mengalami permasalahan pada AC yang dipasang tidak bisa menyala dengan normal dikarenakan tegangan yang terukur hanya kisaran 170 V [5].

Dengan kenyataan seperti itu, ketidaksesuaian tegangan suplai terhadap tegangan ratingnya jika disuplai ke AC maka akan berdampak pada kinerja AC itu sendiri. Namun seberapa besar pengaruh perubahan tegangan suplai terhadap nilai performansi sistem AC belum ada literatur yang mengkajinya. Jatuh tegangan dengan pasokan tegangan yang lebih rendah dari tegangan nominal menghasilkan arus yang ditarik mengalami peningkatan secara signifikan seiring penurunan tegangannya. Faktor daya yang dihasilkan cenderung konstan sehingga menyebabkan daya aktif meningkat karena penurunan tegangan dikompensasi oleh peningkatan arus yang tinggi [6]. Pasokan tegangan rendah terhadap motor juga dapat

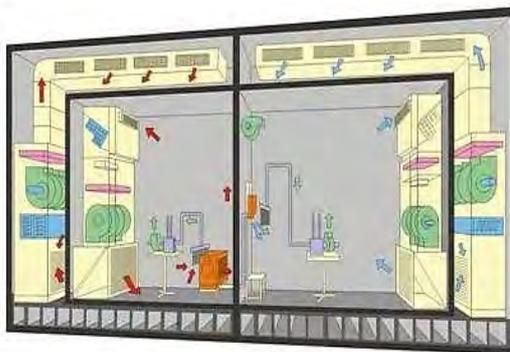
menyebabkan fluks magnetik yang lebih kecil pada lilitan stator. Ketidakseimbangan tegangan pada persentase yang kecil akan menghasilkan persentase ketidakseimbangan arus yang jauh lebih besar. Hal itu mengakibatkan suhu motor yang beroperasi pada beban dan persentase tegangan tertentu akan lebih besar daripada motor yang beroperasi pada kondisi yang sama dengan tegangan seimbang [7]. Ketika motor diberi tegangan rendah jauh di bawah tegangan nominalnya, maka arus yang mengalir akan melonjak tinggi guna mempertahankan jumlah daya yang sama untuk menggerakkan beban mekanis yang tetap. Saat arus yang mengalir melampaui nilai nominalnya, maka motor akan panas [8]. Di samping itu, sejumlah alat elektronik milik masyarakat Dusun Sumar, NTT mengalami kerusakan akibat tegangan listrik yang disuplai mengalami drop mencapai 170 V [9].

Oleh sebab itu, maka penulis melakukan pengembangan kaji eksperimental dengan variasi perubahan tegangan yang disuplai ke AC *Split* berkapasitas pendinginan sebesar 1 PK yang diatur menggunakan *AC Power Source*, mulai dari 240 V kemudian diturunkan menjadi 170 V dan dilakukan pada ruangan yang telah dikondisikan dengan rancangan sesuai ISO 5151:2017. Hasil pengujian yang akan dikaji terkait performansi AC *Split*, yakni menghitung nilai laju aliran massa udara, kapasitas pendinginan dari sisi udara, dan daya masukan (daya input), serta *Energy Efficiency Ratio* (EER).

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Pengaturan Eksperimen

Proses pengujian dilakukan pada ruangan yang telah dikondisikan yang dinamakan dengan *psychrometric chamber* yang dirancang sesuai ISO 5151:2017 di Lab. AC, Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T) menggunakan metoda pengujian *Air Enthalpy*, terlampir pada Gambar 1.



Gambar 1. Sketsa Ruang Uji[10]

*Psychrometric Chamber* dikondisikan pada temperatur ruang sesuai Standar Kondisi Peringkat T1 yang terlampir pada Tabel 1. Proses pengujian dilakukan menggunakan AC *Split* berkapasitas pendinginan 1 PK dengan menggunakan refrigeran R410A. Spesifikasi AC ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Standar Kondisi Peringkat Kapasitas Pendinginan[11]

Parameter	Standar Kondisi Peringkat [T1]
Temperatur udara masuk untuk <i>indoor side</i> :	
- Temperatur Bola Kering ( $T_{DB}$ )	27 °C
- Temperatur Bola Basah ( $T_{WB}$ )	19 °C
Temperatur udara masuk untuk <i>outdoor side</i> :	
- Temperatur Bola Kering ( $T_{DB}$ )	35 °C
- Temperatur Bola Basah ( $T_{WB}$ ) <sup>a</sup>	24 °C
Tes Frekuensi <sup>b</sup>	50 Hz
Tes Tegangan	170 V – 240 V

KETERANGAN  
T1 = Standar kondisi peringkat kapasitas pendinginan untuk iklim sedang.

Tabel 2. Spesifikasi *Outdoor Unit*

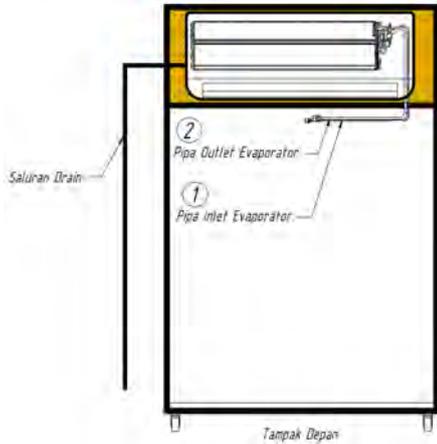
Spesifikasi Outdoor Unit	
Kapasitas Pendinginan	2700 W
Refrigeran	R410A
<i>Factory Charge</i>	0,58 kg
Maksimal Tekanan Sisi Tinggi	3,30 MPa
Maksimal Tekanan Sisi Rendah	0,90 MPa
Berat Unit	28,5 kg
Tegangan dan Frekuensi	220-240V~ / 50 Hz / 1 $\phi$
Arus Pengenal	4,4 A
Arus Maksimum	3,42 / 3,32 A
Daya Masukan Pengenal	900 W
Daya Maksimum	740 W

### 2.2 Titik Pengukuran

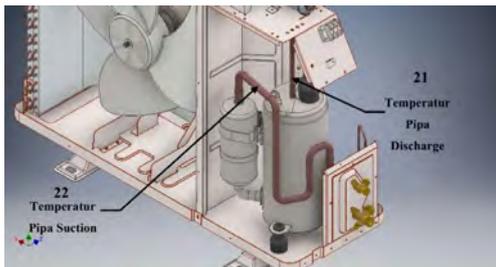
Proses pengambilan data diukur sebanyak 8 variasi, mulai dari tegangan 240 V kemudian diturunkan hingga 170 V dengan penurunan 10 V pada setiap variasinya. Sensor yang digunakan dalam pengambilan data berupa *thermocouple type T* yang dipasang pada beberapa titik pipa, seperti pada Gambar 2 hingga Gambar 4. Lamanya proses pengambilan data akan dilakukan hingga sistem telah mencapai keadaan *steady state*. Sistem dapat dikatakan *steady state* apabila temperatur *psychrometric chamber* telah mencapai temperatur rancangannya yang mengacu pada Standar ISO 5151:2017. Hal ini dilakukan agar

data yang didapatkan memiliki temperatur dan RH yang relatif sama pada setiap pengujiannya.

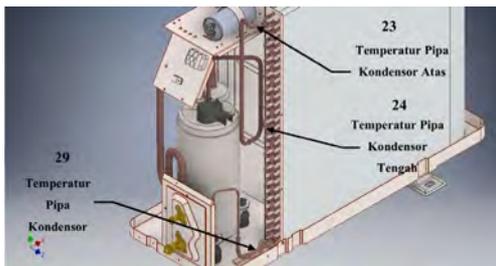
Proses pengukuran terhadap performansi unit AC yang sedang diuji juga dapat dipantau melalui *Psychrometric Type Calorimeter* serta proses pengambilan data yang terukur dapat ditampilkan pada perangkat lunak *LANS Enthelpy Test*, seperti pada Gambar 5.



Gambar 2. Titik Pengukuran pada Indoor Unit



Gambar 3. Titik Pengukuran pada Pipa Discharge dan Suction



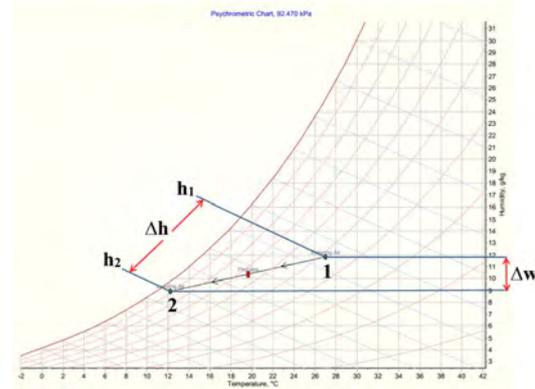
Gambar 4. Titik Pengukuran pada Pipa Kondensor



Gambar 5. LANS Enthelpy Test

### 2.3 Performansi

Pengujian ini menitikberatkan pada performansi sebagai unjuk kerja suatu sistem AC *Split* dari sisi udara. Untuk memperoleh nilai performansinya, maka dilakukan proses plotting menggunakan perangkat lunak Psychart untuk menggambarkan sifat-sifat termodinamik udara dalam bentuk karta untuk dianalisa, seperti pada Gambar 6. Beberapa nilai yang diperoleh dapat dikalkulasikan untuk melakukan proses perhitungan nilai performansi meliputi kapasitas pendinginan dari sisi udara, daya input, dan *Energy Efficiency Ratio* (EER).



Gambar 6. Pemrosesan Udara pada Karta Psychrometric

#### Kapasitas Pendinginan dari Sisi Udara

Kemampuan sistem pendingin untuk menyerap kalor yang berasal dari ruangan yang akan didinginkan dinamakan dengan kapasitas pendinginan sehingga besarnya kapasitas pendinginan dari sisi udara dapat diperoleh menggunakan persamaan (1).

$$Q_e = \dot{m}_u \cdot (h_2 - h_1) \quad (1)$$

$$\dot{m}_u = \rho \times Q \quad (2)$$

$$Q = v \times A \quad (3)$$

Keterangan:

$Q_e$  = kapasitas pendinginan, [kJ/s atau kW].

$\dot{m}_u$  = laju aliran massa udara, [kg/s].

$\Delta h$  = perubahan entalpi udara, [kJ/kg].

$\rho$  = massa jenis udara, [kg/m<sup>3</sup>].

$Q$  = debit udara, [m<sup>3</sup>/s]

$v$  = kecepatan udara pada outlet evaporator, [m/s].

$A$  = luas penampang pada outlet evaporator, [m<sup>2</sup>].

#### Daya Input

Daya input merupakan suatu jumlah energi atau tingkat konsumsi energi listrik yang dibutuhkan selama sistem beroperasi dan dinyatakan dalam

satuan Watt sehingga dapat diperoleh melalui persamaan (4).

$$P_{in} = V \times I \times \cos \theta \quad (4)$$

Keterangan:

$P_{in}$  = daya input, [Watt].

$V$  = tegangan listrik, [Volt].

$I$  = arus listrik, [A].

$\cos \theta$  = faktor daya

### Energy Efficiency Ratio (EER)

Energy Efficiency Ratio (EER) didefinisikan sebagai rasio total dari kapasitas pendinginan yang dimanfaatkan dengan daya input efektif yang dilakukan selama mesin beroperasi [12]. Ukuran prestasi performansi dari suatu mesin pendingin tersebut dapat diperoleh melalui persamaan (5).

$$EER = \frac{Q_e \left[ \frac{Btu}{h} \right]}{P_{input}} \quad (5)$$

Keterangan:

$EER$  = energy efficiency ratio, [(Btu/hr)/W].

$Q_e$  = kapasitas pendinginan udara, [Btu/hr].

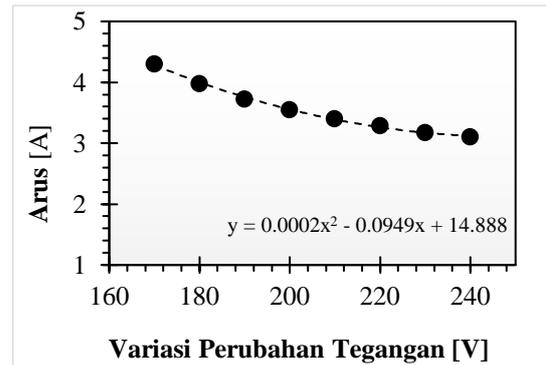
$P_{in}$  = daya input, [Watt].

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini membahas hasil pengujian mengenai pengaruh perubahan tegangan suplai terhadap arus, putaran motor *fan indoor*, dan performansi sistem AC *Split*.

### 3.1 Arus

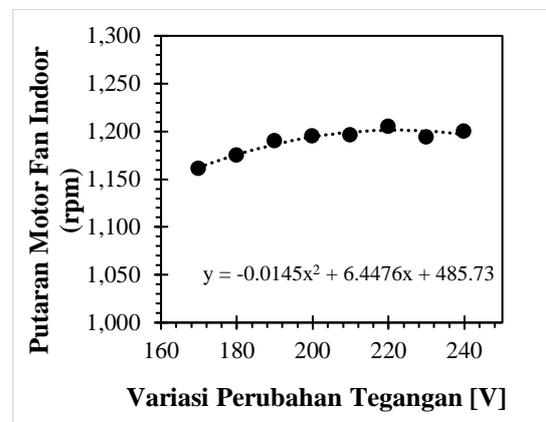
Arus mengalami penurunan hingga 5,74% apabila tegangan input yang disuplai ke AC dinaikkan dari tegangan nominal 220 V ke tegangan 240 V. Namun, ketika tegangan suplai diturunkan menjadi 170 V maka arus yang mengalir mengalami kenaikan sebesar 30,87% hingga mencapai arus sebesar 4,31 A. Hal ini menunjukkan bahwa arus yang mengalir pada sistem mengalami kenaikan seiring besarnya jatuh tegangan. Dengan begitu, ketika tegangan yang diberikan ke motor berkurang maka arus yang mengalir melaluinya akan meningkat untuk mempertahankan kuat medan magnet yang sama dengan besarnya medan magnet yang dihasilkan pada sistem bertegangan normal.



Gambar 7. Pengaruh Perubahan Tegangan Suplai terhadap Arus

### 3.2 Putaran Motor Fan Indoor

Nilai putaran motor *fan indoor* memiliki nilai maksimum pada kondisi sistem disuplai dengan tegangan nominal 220 V sebesar 1.205 rpm sedangkan ketika sistem dinaikkan tegangannya ke 240 V maka nilai putaran motor mengalami penurunan hingga 0,41% dengan selisih sebesar 5 rpm. Nilai putaran paling rendah berada pada kondisi sistem bertegangan 170 V dan mengalami penurunan hingga 3,65% dengan selisih 44 rpm dari nilai putaran motor pada sistem bertegangan nominal.

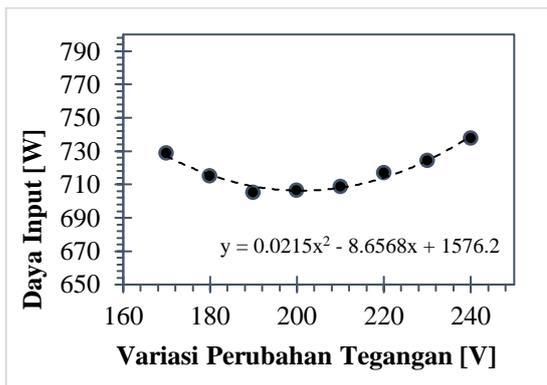


Gambar 8. Pengaruh Perubahan Tegangan Suplai terhadap Putaran Motor Fan Indoor

### 3.3 Daya Input

Daya input terhadap variasi perubahan tegangan menghasilkan grafik yang parabolik. Konsumsi daya input terbesar terdapat pada sistem yang disuplai dengan tegangan 240 V sebesar 737,70 Watt sedangkan pada sistem bertegangan normal 220 V hanya mengkonsumsi daya input sebesar 717,10 Watt, artinya mengalami penurunan hingga 2,79% dengan selisih sebesar 20,60 Watt. Sementara itu, ketika sistem mengalami penurunan tegangan dari tegangan normal 220 V hingga 190 V mengalami penurunan sebesar 1,6% dengan selisih sebesar

11,80 Watt. Namun ketika sistem bertegangan 180 V, nilai daya input mengalami kenaikan 1,4% dan mengalami kenaikan lagi sebesar 1,9% ketika sistem diturunkan tegangannya menjadi paling rendah sebesar 170 V. Hal ini menunjukkan bahwa ketika tegangan yang disuplai terlampaui jauh lebih rendah dari batas toleransinya, motor akan berusaha mengejar kapasitas yang tetap sama dengan sistem bertegangan normal dan tetap mempertahankan kuat medan magnet yang sama dengan cara menaikkan arusnya sehingga menyebabkan konsumsi daya input semakin tinggi.

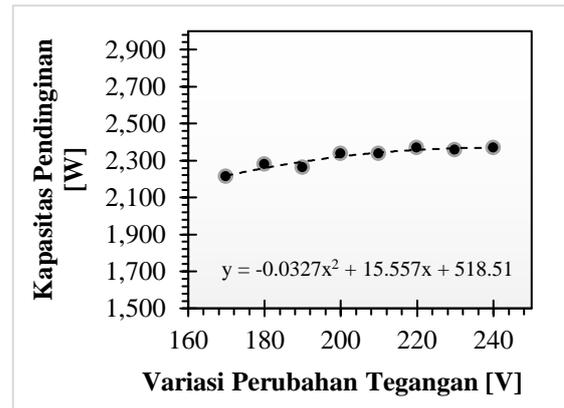


Gambar 9. Pengaruh Perubahan Tegangan Suplai terhadap Daya Input

### 3.4 Kapasitas Pendinginan Sisi Udara

Kapasitas pendinginan dari sisi udara menunjukkan nilai yang dihasilkan dari sebuah proses penyerapan kalor yang berasal dari media atau ruangan yang akan didinginkan. Penurunan tegangan dari 240 V hingga 220 V menghasilkan kapasitas pendinginan yang relatif konstan sedangkan ketika tegangan diturunkan kembali hingga 200 V maka kapasitas pendinginan menurun hingga 1,4%. Sementara itu, ketika tegangan yang disuplai ke sistem diturunkan kembali hingga tegangan paling rendah yakni 170 V maka kapasitas pendinginan mengalami penurunan hingga 6,6% dengan selisih sebesar 155,68 W.

Hal ini menunjukkan bahwa tegangan suplai pada sistem yang berada jauh di bawah atau di atas 10% batas toleransi tegangan nominalnya akan menghasilkan nilai putaran motor yang semakin rendah sehingga dapat menurunkan laju aliran massa udara dan mengakibatkan nilai kapasitas pendinginan udara akan semakin berkurang.

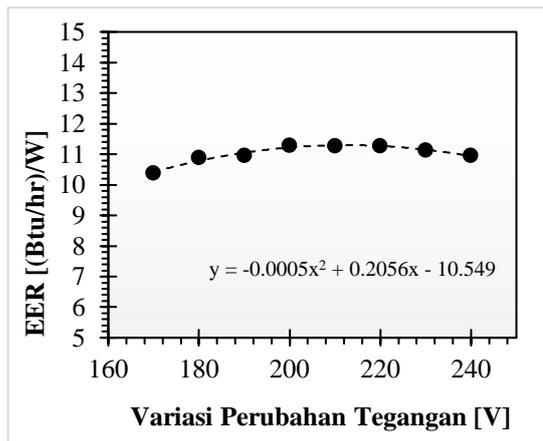


Gambar 10. Pengaruh Perubahan Tegangan Suplai terhadap Kapasitas Pendinginan

### 3.5 Energy Efficiency Ratio (EER)

*Energy Efficiency Ratio* (EER) menunjukkan nilai dari rasio perbandingan antara kapasitas pendinginan dalam satuan Btu/hr yang dimanfaatkan dengan daya input efektif yang dilakukan selama mesin beroperasi. Nilai EER maksimum berada pada sistem yang bertegangan 200 V hingga 220 V, artinya pada kondisi tersebut nilai EER cenderung konstan sekitar 11,3 (Btu/hr)/W. Kondisi ketika sistem disuplai tegangan dengan kenaikan 10% dari tegangan nominalnya yakni sistem dinaikkan tegangannya dari 220 V hingga 240 V mengalami penurunan sebesar 2,8% dengan selisih sebesar 0,31 (Btu/hr)/W. Sementara itu, kondisi ketika sistem disuplai oleh tegangan jauh lebih rendah dari batas toleransinya yakni sistem disuplai dengan tegangan sebesar 170 V mengalami penurunan hingga mencapai 7,9% dan menghasilkan nilai EER minimum sebesar 10,38 Btu/hr/W dengan selisih sebesar 0,89 (Btu/hr)/W dari nilai nominalnya.

Kondisi-kondisi tersebut dapat menunjukkan bahwa semakin rendah penurunan tegangan dari batas toleransinya, maka semakin rendah pula nilai EER yang dimiliki oleh sistem tersebut. Hal itu terjadi karena semakin kecilnya kapasitas pendinginan udara yang diperoleh, tetapi konsumsi daya listrik yang digunakan semakin besar sehingga dapat menurunkan nilai EER.



Gambar 11. Pengaruh Perubahan Tegangan Suplai terhadap EER

#### 4. KESIMPULAN

Pengujian yang telah dilakukan pada ruangan yang telah dikondisikan dengan variasi perubahan tegangan suplai yang diatur mulai dari 240 V ke 170 V didapatkan hasil bahwa arus mengalami kenaikan hingga 5,74% ketika tegangan yang disuplai lebih rendah dari nominalnya, putaran motor *fan indoor* mengalami penurunan hingga mencapai 3,65%, konsumsi daya input menurun seiring penurunan tegangannya namun pada tegangan rendah 170 V mengalami kenaikan hingga 1,6% dari tegangan nominalnya. Besarnya kapasitas pendinginan udara mengalami penurunan hingga 6,6% dari tegangan nominalnya. Dalam hal ini, nilai EER paling optimum berada pada sistem bertegangan nominal 220 V yakni sebesar 11,26 (Btu/hr)/W.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung dan Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T) atas dukungan dalam penyusunan makalah ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] PLN, "Load Profile Tegangan Listrik di PT GASINDO PIRANTINUSA." PLN UP3 Purwakarta, Purwakarta, 2023.
- [2] IEC-60038:2009/AMD1:2021, "IEC Standard Voltages," *International*

- [3] *Electrotechnical Commission*, 2021. [https://webstore.iec.ch/preview/info\\_iec60038%7Bed7.0%7Db.pdf](https://webstore.iec.ch/preview/info_iec60038%7Bed7.0%7Db.pdf)
- [4] SPLN 1, *Tegangan-Tegangan Standar*. Jakarta: PT. PLN, 1995.
- [5] PLN, "Load Profile Tegangan Listrik di SMKN CIPUNAGARA I." PLN UP3 Purwakarta, Purwakarta, 2023.
- [6] Ansori, "Warga Keluhkan Voltase Listrik Tak Stabil," *Radarjambi*, 2018. <https://radarjambi.co.id/read/2018/11/12/18153/warga-keluhkan-voltase-listrik-tak-stabil/> (accessed Jun. 22, 2023).
- [7] J. M. M. Ortega, M. B. Payán, J. M. R. Gordón, and M. P. Rodríguez, "Supply voltage effects on the operation of residential air conditioning appliances: Experimental analysis," *Renew. Energy Power Qual. J.*, vol. 1, no. 5, pp. 613–618, 2007, doi: 10.24084/repqj05.347.
- [8] A. H. F. I. Bonnet, "The Impact that Voltage and Frequency Variations have on AC Induction Motor Performance and Life in Accordance with NEMA MG-1 Standards," pp. 17–18, 2022.
- [9] M. Hussain, "Effect of low voltage on motor," 2019, [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/332858602\\_Effect\\_of\\_low\\_voltage\\_on\\_motor](https://www.researchgate.net/publication/332858602_Effect_of_low_voltage_on_motor)
- [10] PORTALDESA, "Tegangan Listrik PLN di Tehong Drop hingga 170 Volt, Alat Elektronik Warga Alami Rusak Berat," *PORTALDESA*, 2022. <https://portaldesa.co/tegangan-listrik-pln-di-tehong-drop-hingga-170-volt-alat-elektronik-warga-alami-rusak-berat/> (accessed Jun. 22, 2023).
- [11] Gz-Lans Experimental Technology co., *Enthalpy Room User's Manual No. 2011-0325 REV.1*. China: Gz Lans Experimental Technology Co.Ltd, 2011.
- [12] ISO 5151, "Non-ducted air conditioners for heat pumps - testing and rating for performance," *Fuel Energy Abstr.*, no. 3, p. 10, 2017, [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:5151:ed-3:v1:en:sec:3.4>
- [13] ASHRAE, *Fundamentals*. USA, 2017.