

VOLUME 11 | NOMOR 1 | APRIL 2025

p-ISSN 2443-0986

e-ISSN 2685-001X

# ELEKTRIKA BORNEO



Diterbitkan oleh

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

UNIVERSITAS BORNEO TARAKAN

p-ISSN 2443-0986  
e-ISSN 2685-001X

# **ELEKTRIKA BORNEO**

Volume 11, Nomor 1, April 2025

Ketua Redaksi  
(Editor-in-Chief)

**Fitriani Said, S.T., M.T.**

Dewan Redaksi  
(Editorial Board)

**Dr. Syahfrizal Tachfulloh, S.T., M.T.**

**Abdul Muis Prasetya, S.T., M.T.**

**Abil Huda, S.T., M.T.**

**Sugeng Riyanto S.T., M.T.**

Asisten Redaksi  
(Editorial Assistant)

**Hendra, S.T.**

Alamat Redaksi  
(Address)

**Gedung D Lantai 3 Kampus Universitas Borneo Tarakan  
Jalan Amal Lama No. 1, Tarakan, 77123  
Kalimantan Utara, Indonesia**



Diterbitkan oleh:  
**Jurusan Teknik Elektro Universitas Borneo Tarakan**

# ELEKTRIKA BORNEO

Volume 11, Nomor 1, April 2025

## DAFTAR ISI

1. Pemanfaatan Energi Surya Sebagai Sumber Penghasil Energi Listrik Untuk Sistem Pompa Akuaponik  
**Shinta Tri Kismanti, Muh. Firdan Nurdin dan Oktaviandi ..... 1 – 9**
2. Studi Pengisian dan Pengosongan Daya pada Superkapasitor Menggunakan Simulasi Virtual Laboratorium Multisim  
**Hadi Santoso, Abdul Muis Prasetya dan Fitriani Said ..... 10 – 15**
3. Analisa Pengaruh Frekuensi dan Duty Cycle Terhadap Ripple Tegangan pada *Buck-Boost Converter*  
**Abil Huda dan Zulfadli ..... 16 – 19**
4. Analisa Efisiensi dan Torsi Motor Induksi 3 Fasa pada Pompa Booster Air Karang Balik PDAM Tirta Alam Kota Tarakan  
**Linda Sartika, Abdul Muis Prasetya dan Salmansyah ..... 20 – 24**
5. Korektor Faktor Daya Otomatis pada Listrik Rumah Tangga Menggunakan Kombinasi Kapasitor Secara Seri Paralel  
**Linda Sartika, Abdul Muis Prasetya, Sugeng Riyanto dan Muhammad Aswan ..... 25 – 31**
6. Penggunaan Metode *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk Mengatur Torsi Motor Induksi 3 Fasa  
**Linda Sartika, Abdul Muis Prasetya, Hadi Santoso dan Muhammad Akbar ..... 32 – 36**
7. Rancang Bangun Sistem PLTS sebagai Energi Alternatif Hydrofarm Berbasis IoT  
**Fitriani Said, Abil Huda dan Abdul Hafiz ..... 37 – 45**
8. Analisis Rugi-Rugi Daya dan Jatuh Tegangan pada Sistem Distribusi PT. Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field  
**Patria Julianto dan Nur Fadila ..... 46 – 54**
9. Rancang Bangun Alat Pendeteksi Over Heat Mesin dengan Sistem Deteksi Suhu Air Radiator Mobil menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno  
**Goklas Hendra Uktolseja, Novia Agustina Maulia dan I Made Suraharta ..... 55 – 58**

# ELEKTRIKA BORNEO

Volume 11, Nomor 1, April 2025

10. Pengaruh Sistem Transmisi Turbin Archimedes Screw Terhadap Daya Output Generator  
**Sudirman dan Andreas Raja Ola Lewar ..... 59 – 64**
  
11. Rancang Bangun dan Pengujian Battery Pack Lithium untuk Kendaraan Listrik Konversi (BEATRIX)  
**Muh. Firdan Nurdin, Sudirman, Andi Erwin Eka Putra, Novriany Amaliyah, Dela Seviana dan Yulius Markus Molan ..... 65 – 71**

# PEMANFAATAN ENERGI SURYA SEBAGAI SUMBER PENGHASIL ENERGI LISTRIK UNTUK SISTEM POMPA AKUAPONIK

Shinta Tri Kismanti<sup>1</sup>, Muh. Firdan Nurdin<sup>2</sup>, Oktaviandi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

<sup>1</sup>kismanti88@gmail.com

<sup>2</sup>firdan@borneo.ac.id

<sup>3</sup>idisenang@gmail.com

*Abstract—This research aims to determine the efficiency of solar energy usage in aquaponic pumping systems. The study procedures used include a literature evaluation, the production of tools and materials, the building of solar cells on aquaponic systems, testing, data processing, analysis, and report writing. Solar energy as an alternative energy source for aquaponic pumps has proven effective in promoting water circulation in aquaponic systems. The solar panel can provide enough power to meet the load's demands, notably the fish pond's water pump. The efficiency of solar energy use in aquaponic systems can be estimated and checked regularly to ensure peak system function. The combination of polycrystalline solar panels and a boost converter module can improve the efficiency of solar energy use in aquaponic systems. The findings show that using solar energy might be an effective and environmentally friendly way to power an aquaponic pumping system. Solar energy is an efficient source of energy for meeting the pump energy requirements of aquaponics. The study's findings show that using solar energy as an alternative energy source in aquaponic pumps has considerable potential to support the overall sustainability of the aquaponic system. In future development, it is advised to use greater capacity solar cells to deliver energy to the battery to meet the aquaponic pump's needs for 24 hours.*

**Keywords :** Solar energy, Aquaponic pump, Energy efficiency, Aquaponic system, and Solar Panel.

**Intisari—**Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi tingkat efisiensi penggunaan energi surya dalam sistem pompa akuaponik. Metode penelitian yang digunakan meliputi studi literatur, persiapan alat dan bahan, perakitan sel surya pada sistem akuaponik, pengujian, pengolahan data, analisis, dan penyusunan laporan. Pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi alternatif pada pompa akuaponik telah terbukti efektif dalam mendukung sirkulasi air pada sistem akuaponik. Daya yang dihasilkan dari panel surya mampu memenuhi kebutuhan daya beban, terutama untuk pompa air dalam kolam ikan. Efisiensi pemanfaatan energi surya pada sistem akuaponik dapat dihitung dan dipantau secara berkala untuk memastikan kinerja sistem yang optimal. Penggunaan panel surya polikristalin yang terkoneksi dengan modul boost converter dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi surya dalam sistem akuaponik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan energi surya dapat menjadi solusi yang efisien dan ramah lingkungan dalam menjalankan sistem pompa akuaponik. Dengan tingkat efisiensi yang baik, energi surya mampu menyuplai kebutuhan energi pompa untuk akuaponik secara optimal. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa penggunaan energi surya sebagai sumber energi alternatif pada pompa

akuaponik memiliki potensi yang besar dalam mendukung keberlanjutan sistem akuaponik secara keseluruhan. Dalam pengembangan selanjutnya, disarankan untuk menggunakan sel surya dengan kapasitas yang lebih besar agar dapat menyuplai energi pada baterai untuk memenuhi kebutuhan pompa akuaponik selama 24 jam.

**Kata Kunci :** Energi surya, Pompa akuaponik, Efisiensi energi, Sistem akuaponik, dan Panel surya

## I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang memiliki banyak potensi untuk pengembangan energi surya karena lokasinya di daerah khatulistiwa dengan cahaya matahari tersedia sepanjang tahun. Energi surya adalah salah satu pilihan sumber daya energi yang dapat diperbaharui yang memiliki potensi terbesar [7]. Indonesia memiliki potensi untuk energi surya mencapai sekitar 4,8 kWh/m<sup>2</sup> atau 112.000 GWp, tetapi hanya sekitar 10 MWp yang telah digunakan. Rencana pengembangan pemerintah menetapkan kapasitas pemasangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sebesar 0.87 GW atau sekitar 50 MWp per tahun sampai tahun [24]. Angka tersebut mencerminkan potensi pasar yang signifikan untuk pengembangan energi surya di masa mendatang.

Pemanfaatan tenaga surya sebagai sumber energi listrik melibatkan penggunaan suatu perangkat yang dikenal sebagai panel surya atau sel surya. Sel surya berfungsi mengubah foton dari sinar matahari secara langsung menjadi arus listrik DC. Baterai menyimpan energi surya dan baru setelah itu bisa digunakan sebagai sumber energi untuk peralatan listrik seperti pembangkit listrik tenaga surya, pompa air tenaga surya, dan pompa dalam sistem akuaponik [20].

Akuaponik adalah sistem pertanian berkelanjutan dimana merupakan penggabungan budidaya ikan atau perikanan dengan penanaman tanaman baik sayuran atau buah-buahan dalam satu lingkungan dimana saling mendukung dikembangkan didalam konsep akuaponik menggabungkan akuakultur dan hidroponik [19]. Tujuan utama akuaponik adalah mengoptimalkan pemanfaatan sisa nutrisi yang dihasilkan oleh ikan untuk menyuburkan tanaman, sehingga limbah nutrisi yang ada di lingkungan tidak menghambat pertumbuhan ikan. Untuk mengalirkan nutrisi yang dihasilkan ke tanaman, diperlukan sistem sirkulasi yang memastikan aliran air secara berkelanjutan dari kolam ikan ke tanaman dan sebaliknya, melibatkan

penggunaan pompa air untuk mengalirkan air ke filter dan kemudian kembali ke dalam kolam [21].

Sistem sirkulasi untuk mengaktifkan sistem sirkulasi akuaponik, maka dibutuhkan sumber listrik yang mana dapat diperoleh dari listrik PLN ataupun dari tenaga surya menggunakan solar panel. Pemanfaatan solar panel telah banyak dilakukan seperti untuk mencukupi kebutuhan energi listrik rumah tangga, perkantoran, pertanian, dan perikanan. Muhammad Kadir telah melakukan pemanfaatan pompa tenaga surya pada sistem akuaponik sebagai salah satu sarana optimalisasi energi surya yang mana dapat mengurangi ketergantungan terhadap listrik utama PLN. Penggunaan energi matahari juga berkontribusi terhadap efisiensi sistem, karena pompa dapat beroperasi terus menerus tanpa memerlukan intervensi manual [10]. Menurut [13] dengan melakukan pengoptimalan energi surya pada sistem akuaponik, maka sistem tersebut dapat berjalan dengan lebih efisien dan hemat energi.

Menurut [23] energi surya dalam sistem akuaponik dioptimalkan dengan memanfaatkan panel surya polikristalin 100Wp yang terkoneksi dengan modul boost converter 150 Watt. Modul boost converter digunakan sebagai alat untuk meningkatkan tegangan masukan ke dalam sistem pengisian baterai. Berdasarkan penjelasan diatas, maka pada penelitian ini akan mengkaji pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi listrik alternatif untuk pompa akuaponik.

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Samping Gedung Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan. Pelaksanaan penelitian dan pengambilan data dilakukan pada bulan Januari-Juni 2024.

Berbagai metode yang digunakan dalam penelitian ini bertujuan untuk memperoleh data yang akurat guna menyelesaikan penelitian ini adalah sebagai berikut:

### A. Studi Literatur

Dalam penelitian ini, penulis mengumpulkan data dan informasi dengan memeriksa literatur seperti buku-buku, jurnal, sumber internet, dan beberapa referensi lainnya.

### B. Tahapan Pemanfaatan Energi Surya Sebagai Penggerak Pompa

Sel surya adalah sebuah perangkat yang merubah energi dari sinar matahari menjadi energi listrik melalui proses fotovoltaic atau PV. Untuk mengoptimalkan daya atau energi surya yang dihasilkan, beberapa faktor perlu diperhatikan, seperti meningkatkan suhu udara, posisi penempatan, material penyusun, intensitas energi, dan mengurangi hambatan listrik beban. Tahap pertama dalam proses ini adalah penyerapan energi matahari dan konversinya menjadi energi listrik. Energi matahari yang diserap oleh panel surya diubah menjadi sumber listrik yang dapat digunakan untuk menggerakkan pompa air. Selanjutnya, energi listrik dari panel surya diatur dan disimpan menggunakan solar charge controller (SCC) dan baterai.

### C. Persiapan Alat dan Bahan

Pada fase ini, persiapan dilakukan sebelum memulai pengujian dengan menyiapkan alat dan bahan.

### D. Perakitan Sel Surya pada Sistem Akuaponik

Bagian ini akan mencakup proses perakitan sel surya yang melibatkan penyatuan beberapa bagian komponen sel surya.

### E. Pengolahan data Analisis

Dalam langkah ini, data yang telah diperoleh dari penelitian akan diolah dengan melakukan perhitungan menggunakan rumus-rumus yang ada.

Dalam penelitian ini, digunakan beberapa persamaan seperti berikut:

- Rumus mencari efesiensi energi fotovoltaik (Suryautamaputra.co.id)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

$\eta$  = Efesiensi panel surya

$P_{in}$  = Daya masuk

$P_{out}$  = Daya keluar

- Perhitungan daya yang masuk [6]

$$P_{in} = I_r \times A \quad (2)$$

Keterangan:

$P_{in}$  = Daya masuk

$I_r$  = Intensitas radiasi matahari ( $\text{Watt}/\text{m}^2$ )

$A$  = Luas area permukaan panel ( $\text{m}^2$ )

- Perhitungan daya yang keluar [6]

$$P_{out} = V \times I \quad (3)$$

Keterangan:

$P_{out}$  = Daya keluar

$V$  = Tegangan

$I$  = Arus

### Perhitungan Daya Listrik

- Daya listrik adalah tingkat konsumsi energi dalam sebuah sirkuit atau rangkaian listrik. Daya listrik menyatakan banyaknya energi listrik yang terpakai setiap detik. Satuan daya listrik adalah Watt [16].

$$P = V \times I \quad (4)$$

Keterangan:

$P$  = Daya listrik (W)

$V$  = Tegangan listrik (V)

$I$  = Arus listrik (A)

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Perencanaan Kebutuhan untuk Pompa 19 Watt

Menurut [20] dalam penelitian yang berjudul “Rancang bangun penggerak pompa air menggunakan solar panel untuk hidroponik” Menggunakan pompa celup DC berukuran kecil pompa air mini ini biasa digunakan untuk Akuarium, Kolam ikan, Hidroponik dimana keuntungan menggunakan pompa celup DC bisa menghemat energi surya hingga 70% dibandingkan dengan pompa air AC, menghemat biaya listrik, dapat digunakan di daerah terpencil yang sulit dijangkau daya listrik utama, dan lebih awet.

Pada pengujian yang dilakukan pompa celup DC ini direncanakan aktif selama 24 jam sehingga kebutuhan energi pompa dapat dihitung dalam perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{Kebutuhan pompa selama 24 jam.} \\ \text{Daya pompa} &= 19 \text{ Watt} \\ \text{Kebutuhan Pompa} &= 24 \text{ Jam} \\ &= 19 \text{ Watt} \times 24 \text{ h} \\ &= 456 \text{ Wh (Daya Listrik)} \end{aligned}$$

Kebutuhan energi pompa selama 24 jam adalah 456 Wh sehingga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4) untuk mengetahui kapasitas baterai dalam sistem pemanfaatan energi surya untuk digunakan oleh pompa tersebut. Berikut perhitungan yang dapat dilakukan.

Diketahui:

$$\begin{aligned} \text{Daya Listrik} &= 456 \text{ Wh} \\ \text{Tegangan Listrik} &= 12 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Ditanya: I (Arus Listrik).....?

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ 456 \text{ wh} &= 12 \text{ v} \times I \\ I &= \frac{456 \text{ Wh}}{12 \text{ v}} \\ I &= 38 \text{ Ah} \approx 40 \text{ Ah (Arus Listrik)} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan dengan daya listrik sebesar 456Wh kebutuhan kapasitas baterai yang digunakan adalah 12 Volt 40 Ah.

#### B. Perakian Alat dan Bahan

Setelah melakukan perhitungan daya kebutuhan, maka selanjutnya dilakukan perakitan sistem tenaga surya, perakitan *charge controller* ke baterai dan ke pompa.

- Perakitan Sistem Tenaga Surya untuk Pompa Akuaponik

Perakitan sel surya ini berfungsi untuk menyerap energi matahari dan diubah menjadi energi listrik. Teknologi fotovoltaiik adalah teknologi yang digunakan untuk mekonversikan radiasi matahari menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan ini akan disimpan ke dalam baterai/aki yang dapat digunakan untuk perangkat elektronik dan disesuaikan kebutuhan listriknya. Untuk jenis panel surya yang digunakan pada penelitian ini adalah *mono-crystalline* panel surya jenis ini bisa mengevesiensi konversi energi matahari menjadi

energi listrik yang lebih tinggi dari pada jenis lainnya. Panel ini memiliki umur panjang hingga 30 tahun panel ini menunjukkan ketahanan panas yang lebih besar.



(a) (b)



(c)

Gambar 1. Perakitan Sel Surya

Pada gambar 1. (a) merupakan penyambungan kabel ke panel surya sedangkan bagian (b) merupakan pemasangan panel surya di tempat peletakkannya dan bagian (c) adalah gambar panel surya yang digunakan dimana panel surya yang digunakan adalah 100 wp.

- Perakitan Charge Controller ke Baterai dan ke Pompa



(a) (b)



(c)

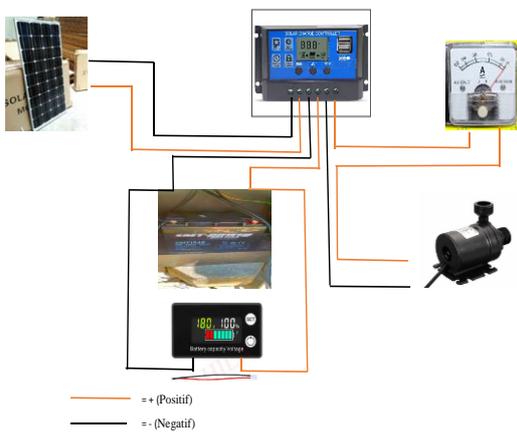
Gambar 2. Perakitan Charge Controller, Baterai dan Pompa

Charge controller adalah perangkat inti yang mengatur aliran arus listrik dari panel surya ke baterai sementara panel surya akan menghasilkan listrik dari sinar matahari dan simpankan di baterai kemudian untuk menghubungkan semua komponen dalam sistem tersebut dibutuhkan kabel dan konektor.

Pada Gambar 2 (a) merupakan pemasangan kabel ke sistem charge controller sedangkan bagian (b) pemasangan sistem charge controller di tempat peletakkannya dan pemasangan kabel baterai, kabel panel surya dan kabel pompa ke sistem charge controller tersebut dan bagian (c) pemasangan baterai untuk menghidupkan sistem charge controller tersebut.

• Pemasangan Sistem Perkabelan (Wiring)

Tujuan pemasangan wiring diagram adalah untuk mempermudah dalam membuat, merawat dan memperbaiki suatu rangkaian sistem kelistrikan. Penggunaan wiring diagram ini akan mempercepat dalam menentukan sumber kesalahan dalam rangkaian kelistrikan sehingga waktu untuk perbaikan bisa dipercepat.



Gambar 3. Wiring Diagram

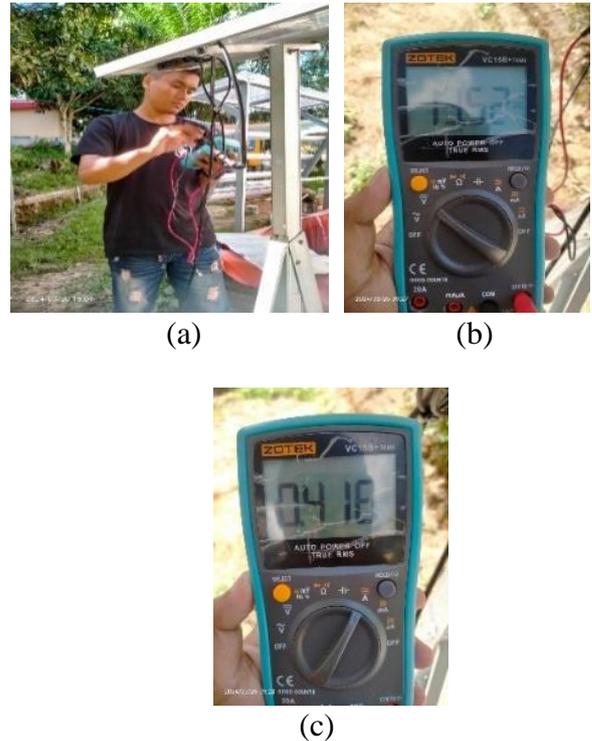
• Pengujian dan Pengambilan Data

Pengujian dan pengambilan data panel surya dilakukan selama 6 (enam) hari, yaitu dari tanggal 26 Maret 2024 sampai dengan 31 Maret 2024 pada pukul 09:00 sampai dengan pukul 15:00 sedangkan untuk pengambilan data sistem pemanfaatan energi surya pada pompa akuaponik menggunakan beban dilakukan selama satu hari pada tanggal 03 Mei 2024.

• Pengujian dan Pengambilan Data Panel Surya

Pengujian yang dilakukan pada hari pertama yaitu Selasa, 26 Maret 2024, dilakukan tepat pada pukul 09:00 WITA. Terdapat kendala pada proses pengambilan data, dikarenakan peletakan panel surya nya berpindah-pindah tempat agar mendapatkan sinar matahari secara sempurna. Untuk pengambilan data di pukul 09:00 sinar mataharinya terhalang oleh bangunan gedung dan cuaca berawan.

Pada Gambar 4. (a) proses pemasangan alat multimeter digital untuk pengambilan data sedangkan bagian (b) pengambilan data tegangan panel surya dan (c) pengambilan data arus panel.



Gambar 4. Proses Pengambilan Data Panel Surya

Berikut data yang diperoleh pada hari pertama disajikan pada Tabel I

Tabel I  
Data Panel Surya Hari Pertama

No	Waktu	Intensitas Cahaya Matahari (W/m <sup>2</sup> )	Tegangan (Volt)	Arus (A)
1	09:00	778.3	13.52	0.416
2	10:00	1269.1	20.03	4.843
3	11:00	1317.6	19.78	4.432
4	12:00	1337.6	19.70	5.492
5	13:00	1350.0	19.66	5.316
6	14:00	1204.9	20.08	4.279
7	15:00	1210.2	19.97	4.113
Rata-rata		1209.6	18.96	4.127

Untuk pengujian pada hari ke dua rabu 27 Maret 2024 sampai hari ke enam minggu 31 Maret 2024 panel surya ditempatkan disamping kolam dan tidak dipindah-pindahkan untuk mencari posisi yang terkena sinar matahari seperti hari pertama. Berikut data yang diperoleh pada hari ke Dua 27 Maret 2024 sampai hari ke enam 31 Maret 2024, sebagaimana disajikan pada Tabel II.

Untuk pengambilan data pada hari ke dua di pukul 09:00 sinar mataharinya terhalang oleh bangunan gedung dan cuaca berawan sedangkan di pukul 14:00 dan pukul 15:00 sinar mataharinya terhalang pepohonan di samping kolam dan gedung.

Tabel II  
Data Panel Surya Hari ke Dua

No	Waktu	Intensitas Cahaya Matahari ( $W/m^2$ )	Tegangan (Volt)	Arus (A)
1	09:00	230.1	20.29	1.127
2	10:00	1026.8	20.38	4.416
3	11:00	1111.8	19.81	1.434
4	12:00	1352.2	19.89	2.292
5	13:00	1172.3	19.79	4.206
6	14:00	602.2	19.63	1.141
7	15:00	931.0	14.37	1.088
Rata-rata		912.7	19.16	2.243

Tabel III  
Data Panel Surya Hari ke Tiga

No	Waktu	Intensitas Cahaya Matahari ( $W/m^2$ )	Tegangan (Volt)	Arus (A)
1	09:00	585.3	20.41	0.906
2	10:00	1281.7	20.33	5.008
3	11:00	1318.0	19.95	5.352
4	12:00	1335.9	19.90	5.217
5	13:00	1340.1	19.79	5.071
6	14:00	1009.9	19.70	1.508
7	15:00	620.6	14.48	1.058
Rata-rata		1070.2	19.22	3.445

Untuk pengambilan data hari ke tiga di pukul 09:00 sinar matahari terhalang oleh bangunan gedung dan cuaca berawan sedangkan di pukul 14:00 dan pukul 15:00 sinar matahari terhalang pepohonan disamping kolam dan gedung.

Tabel IV  
Data Panel Surya Hari ke Empat

No	Waktu	Intensitas Cahaya Matahari ( $W/m^2$ )	Tegangan (Volt)	Arus (A)
1	09:00	0	0	0
2	10:00	1280.6	20.22	4.980
3	11:00	1325.8	19.83	5.512
4	12:00	1425.9	20.33	5.746
5	13:00	1201.9	20.65	3.232

No	Waktu	Intensitas Cahaya Matahari ( $W/m^2$ )	Tegangan (Volt)	Arus (A)
6	14:00	1224.8	19.92	2.495
7	15:00	1020.9	13.73	1.414
Rata-rata		1068.5	16.38	3.395

Untuk pengambilan data di hari ke empat pukul 09:00 hujan sedangkan di pukul 14:00 dan pukul 15:00 sinar matahari terhalang pepohonan disamping kolam dan gedung.

Tabel V  
Data Panel Surya Hari ke Lima

No	Waktu	Intensitas Cahaya Matahari ( $W/m^2$ )	Tegangan (Volt)	Arus (A)
1	09:00	889.6	20.08	1.865
2	10:00	1254.0	20.07	4.544
3	11:00	1331.6	19.78	5.653
4	12:00	1401.0	19.72	5.578
5	13:00	1233.1	20.28	3.121
6	14:00	847.5	20.29	1.969
7	15:00	955.6	20.08	1.834
Rata-rata		1130.2	20.04	3.509

Untuk pengambilan data hari ke lima di pukul 09:00 sinar matahari terhalang oleh bangunan gedung sedangkan di pukul 14:00 dan pukul 15:00 sinar matahari terhalang pepohonan disamping kolam dan gedung dan cuaca berawan.

Tabel VI  
Data Panel Surya Hari ke Enam

No	Waktu	Intensitas Cahaya Matahari ( $W/m^2$ )	Tegangan (Volt)	Arus (A)
1	09:00	1101.0	21.01	2.632
2	10:00	1125.5	20.20	4.510
3	11:00	1237.2	20.18	4.978
4	12:00	766.8	19.76	3.070
5	13:00	961.7	20.17	3.584
6	14:00	892.4	20.26	1.088
7	15:00	853.6	20.22	1.023
Rata-rata		991.1	20.25	2.983

Untuk pengambilan data hari ke enam di pukul 09:00 sinar matahari terhalang oleh bangunan gedung dan di pukul 12:00,13:00 cuaca berawan dan sedikit mendung

sedangkan di pukul 14:00 dan pukul 15:00 sinar matahari terhalang pepohonan disamping kolam dan gedung dan cuaca berawan.

Setelah pengambilan data selama enam hari maka dilakukan perhitungan untuk mendapatkan hasil daya input ( $P_{in}$ ), daya Output ( $P_{out}$ ) dan Efisiensi Panel Surya ( $\eta$ ).

- Perhitungan Daya Input Dan Output Panel Surya

Diketahui :

Dimensi Panel Surya = 100 Wp

Panjang Panel Surya = 126 cm

Lebar Panel Surya = 47,4 cm

Intensitas Cahaya Matahari Rata-Rata (S) = 1209,6  $W/m^2$

Tegangan Rata-Rata = 18,96 V

Arus Rata-Rata = 4,127 A

Ditanya : Daya Input ( $P_{in}$ ) = ....?

Daya Output ( $P_{out}$ ) = ....?

Efisiensi Panel Surya ( $\eta$ ) = ...?

Penyelesaian :

Untuk mengetahui besar efisiensi panel surya terlebih dahulu dihitung daya masuk ( $P_{in}$ ) pada panel surya berupa energi surya yang diserap oleh panel surya maka yang pertama sebagai berikut:

$$P_{in} = I_r \times A$$

$$P_{in} = I_r \times (P \times L)$$

$$= 1209,6 \text{ W/m}^2 \times (1,26 \text{ m} \times 0,474 \text{ m})$$

$$= 1209,6 \text{ W/m}^2 \times 0,597 \text{ m}^2$$

$$= 722 \text{ Watt}$$

Kemudian dilanjut perhitungan daya keluar panel surya berupa energi listrik. Daya keluar dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P_{out} = V \times I$$

$$= 18,96 \text{ V} \times 4,127 \text{ A}$$

$$= 78,2 \text{ Watt}$$

Setelah mengetahui daya masuk dan daya keluar panel surya maka efisiensi dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$= \frac{78,2 \text{ Watt}}{722 \text{ Watt}} \times 100\%$$

$$= 10,8 \%$$

Perhitungan yang telah dilakukan merupakan perhitungan daya masuk ( $P_{in}$ ), daya keluar ( $P_{out}$ ) dan efisiensi panel surya ( $\eta$ ) pada Tabel 3.1 pada tanggal 26 Maret 2024. Perhitungan yang sama dilakukan pada Tabel 3.2 sampai dengan 6 dan tersaji pada Tabel VII.

Tabel VII  
Hasil Pengolahan Data Panel Surya

No	Tanggal	$P_{in}$ (Watt)	$P_{out}$ (Watt)	Efisiensi (%)
1	26-03-2024	722	78,2	10,8
2	27-03-2024	544	42,9	7,8

No	Tanggal	$P_{in}$ (Watt)	$P_{out}$ (Watt)	Efisiensi (%)
3	28-03-2024	638	66,2	10,3
4	29-03-2024	637	54,6	8,5
5	30-03-2024	674	70,3	10,4
6	31-03-2024	591	60,4	10,2

- Pengujian dan Pengambilan Data Sistem Pemanfaatan Energi Surya pada Pompa Akuaponik

Pengujian yang dilakukan di hari Jum'at 03 Mei 2024 tepat pada jam 09:00 sampai dengan jam 15:00. Terdapat kendala pada proses pengambilan data, dikarenakan cuaca pada saat pengambilan data pada jam 09:00 cahaya matahari terhalang bangunan gedung dan cuaca mendung, jam 10:00 gerimis, jam 11:00 gerimis, jam 12:00 gerimis setelah hujan deras, jam 13:00 mendung, jam 14:00 dan 15:00 cahaya matahari terhalang pepohonan disamping gedung dan cuaca mendung.



Gambar 5. Proses Pengambilan Data Sistem Pemanfaatan Energi Surya Pada Pompa Akuaponik

Pada Gambar 5. (a) Proses pemasangan alat voltmeter indikator, analog, dan penyambungan kabel pada baterai sedangkan bagian (b) adalah proses pengambilan data menggunakan voltmeter indikator dan (c) pengambilan data arus pompa.

Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel pada lampiran maka didapatkan daya dari panel surya, daya baterai, dan daya pompa dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan rumus (4), sebagaimana disajikan pada Tabel 8 sebagai berikut.

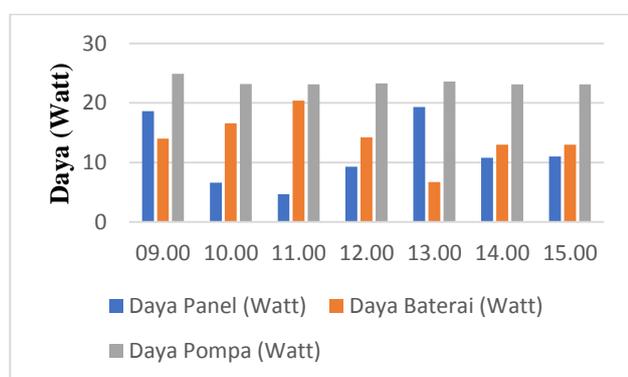
Tabel VIII  
Data Aktual Daya Panel Surya, Daya Baterai, dan Daya Pompa Pada Sistem Akuaponik.

No	Waktu	Daya Panel (Watt)	Daya Baterai (Watt)	Daya Pompa (Watt)
1	09.00	18,6	14,0	24,9
2	10.00	6,6	16,6	23,2
3	11.00	4,7	20,4	23,1
4	12.00	9,3	14,2	23,3
5	13.00	19,3	6,7	23,6
6	14.00	10,8	13,0	23,1
7	15.00	11,0	13,0	23,1
Rata-Rata		11,4	14,0	23,5

Pada Tabel VIII merupakan data aktual yang dihitung menggunakan rumus (4) sehingga didapatkan hasil daya panel, daya baterai, daya pompa. Dimana pada tabel hasil pengambilan data yang ada di lampiran merupakan data yang diperoleh pada proses pengambilan data, dimana pada pukul 13:00 intensitas cahaya matahari paling tinggi  $390,1 \text{ W/m}^2$  sehingga daya panel pada pukul 13:00 adalah 19,3 Watt sedangkan daya baterai 6,7 Watt sehingga daya panel menyuplai energi ke pompa lebih besar dari baterai dan pada pukul 11:00 intensitas cahaya matahari paling rendah  $68,9 \text{ W/m}^2$  sehingga daya panel pada pukul 13:00 adalah 4,7 Watt sedangkan daya baterai 20,4 Watt sehingga daya panel menyuplai energi ke pompa lebih rendah dibandingkan dengan daya baterai.

- Analisa Data

Setelah menyelesaikan pengujian dan pengambilan data sistem pemanfaatan energi surya pada pompa akuaponik, maka didapatkan daya dari panel surya, daya baterai, dan daya pompa. Langkah selanjutnya memasukkan data aktual daya dari panel surya, daya baterai, dan daya pompa ke dalam grafik untuk melihat perbandingan yang terjadi mulai dari pukul 09.00 WITA sampai dengan 15.00 WITA.



Gambar 6. Grafik Perbandingan Data Aktual Daya Panel Surya, Daya Baterai, dan Daya Pompa pada Sistem Akuaponik

Berdasarkan gambar 6. bahwa daya masuk energi surya rata-rata yang diterima panel surya pada sistem akuaponik sekitar 18,6 Watt pada pukul 09.00 WITA, kemudian pada pukul 10.00 WITA daya masuk energi surya rata-rata yang diterima panel surya pada sistem akuaponik sekitar 6,6 Watt, pukul 11.00 WITA daya masuk energi surya rata-rata yang diterima panel surya pada sistem akuaponik sekitar 4,7 Watt, pukul 12.00 WITA daya masuk energi surya rata-rata yang diterima panel surya pada sistem akuaponik sekitar 9,3 Watt, pukul 13.00 WITA daya masuk energi surya rata-rata yang diterima panel surya pada sistem akuaponik sekitar 19,3 Watt, pukul 14.00 WITA daya masuk energi surya rata-rata yang diterima panel surya pada sistem akuaponik sekitar 10,8 Watt, terakhir pada pukul 15.00 WITA daya masuk energi surya rata-rata yang diterima panel surya pada sistem akuaponik sekitar 11,0 Watt.

Dari hasil data aktual daya panel surya pada sistem akuaponik dapat disimpulkan bahwa daya masuk energi surya yang tertinggi pada pukul 13.00 WITA, pada pukul 09.00 WITA, 10.00 WITA, 12.00 WITA, 14.00 WITA, 15.00 WITA daya masuk energi surya yang sedang, kemudian daya masuk energi surya yang terendah pada pukul 11.00 WITA. Hasil daya energi surya berbeda-beda karena dipengaruhi beberapa faktor eksternal dan internal salah satunya yang paling mempengaruhi yaitu faktor cuaca yang tidak stabil. Hal ini sesuai dengan penelitian Putro (2000) yang menyatakan bahwa, ada beberapa hal yang mempengaruhi daya sel surya diantaranya: pengaruh penyinaran, pengaruh temperatur, pengaruh luas sel surya, pengaruh kepekaan spektrum, dan pengaruh umur sel surya.

Berdasarkan gambar 6. tersebut dapat dilihat bahwa pengujian pada pukul 09.00 WITA daya masuk energi surya rata-rata yang diterima baterai pada sistem akuaponik sebesar 14,0 Watt, pukul 10.00 WITA daya masuk energi surya rata-rata yang diterima baterai pada sistem akuaponik sebesar 16,6 Watt, pukul 11.00 WITA daya masuk energi surya rata-rata yang diterima baterai pada sistem akuaponik sebesar 20,4 Watt, pukul 12.00 WITA daya masuk energi surya rata-rata yang diterima baterai pada sistem akuaponik sebesar 14,2 Watt, pukul 13.00 WITA daya masuk energi surya rata-rata yang diterima baterai pada sistem akuaponik sebesar 6,7 Watt, pukul 14.00 WITA daya masuk energi surya rata-rata yang diterima baterai pada sistem akuaponik sebesar 13,0 Watt, pengujian terakhir pada pukul 15.00 WITA daya masuk energi surya rata-rata yang diterima baterai pada sistem akuaponik sebesar 13,0 Watt. Dapat disimpulkan bahwa grafik menunjukkan terjadinya penurunan dan kenaikan energi listrik yang diterima oleh baterai pada sistem akuaponik. Hal tersebut sama dengan daya masuk energi surya pada panel surya bahwa hasilnya dipengaruhi oleh faktor cuaca yang tidak stabil.

Dari hasil data aktual daya baterai pada sistem akuaponik dapat disimpulkan bahwa daya masuk energi surya yang tertinggi pada pukul 11.00 WITA, pada pukul 09.00 WITA, 10.00 WITA, 12.00 WITA, 14.00 WITA, 15.00 WITA daya masuk energi surya yang sedang, kemudian daya masuk energi surya yang terendah pada pukul 13.00 WITA. Hasil tersebut terlihat mengalami

penurunan dan peningkatan yang disebabkan faktor lingkungan sekitar dan faktor cuaca.

Berdasarkan gambar 6. tersebut terlihat bahwa daya pompa pada sistem akuaponik pada pukul 09.00 WITA yang dihasilkan sebesar 24,9 Watt, pukul 10.00 WITA daya pompa yang dihasilkan pada sistem akuaponik sebesar 23,2 Watt, pukul 11.00 WITA daya pompa yang dihasilkan pada sistem akuaponik sebesar 23,1 Watt, pukul 12.00 WITA daya pompa yang dihasilkan pada sistem akuaponik sebesar 23,3 Watt, pukul 13.00 WITA daya pompa yang dihasilkan pada sistem akuaponik sebesar 23,6 Watt, pukul 14.00 WITA daya pompa yang dihasilkan pada sistem akuaponik sebesar 23,1 Watt, pengujian terakhir pada pukul 15.00 WITA daya pompa yang dihasilkan pada sistem akuaponik sebesar 23,1 Watt. Dapat disimpulkan bahwa grafik menunjukkan terjadinya penurunan dan kenaikan daya pompa yang dihasilkan pada sistem akuaponik. Besaran daya pompa pada sistem akuaponik dipengaruhi oleh energi listrik yang diterima. Hal ini sesuai dengan Andansari (2022) yang menyatakan bahwa, sistem akuaponik membutuhkan listrik sebagai penggerak pompa untuk proses resirkulasi.

Dari hasil data aktual daya pompa yang dihasilkan pada sistem akuaponik dapat disimpulkan bahwa daya pompa tertinggi pada pukul 09.00 WITA, pada pukul 10.00 WITA, 12.00 WITA, 13.00 WITA daya pompa yang dihasilkan pada sistem akuaponik sedang, kemudian daya pompa yang terendah pada pukul 11.00 WITA, 14.00 WITA, dan 15.00 WITA. Hasil tersebut terlihat mengalami penurunan dan peningkatan yang disebabkan energi listrik yang diterima tidak stabil.

Penelitian yang dilakukan terlihat bahwa setiap pengisian baterai dari sel surya belum memenuhi kebutuhan. Hal ini dikarenakan pompa aktif selama 24 jam dengan daya listrik 456 Wh. Kapasitas baterai yang digunakan 12 Volt 40 Ah yaitu sebesar 480 Wh. Sehingga untuk mengisi baterai dari kosong sampai penuh dengan waktu penyinaran efektif yang dilakukan 7 jam/hari hanya mampu mengisi baterai sebesar 280 Wh. Maka waktu pengisian baterai berkapasitas 480 Wh dibutuhkan waktu 1,7 hari. Hasil pengujian energi listrik yang keluar dari panel surya hari pertama sebesar 78,2 Watt, hari kedua pengujian energi listrik yang keluar dari panel surya sebesar 42,9 Watt, hari ketiga pengujian energi listrik yang keluar dari panel surya sebesar 66,2 Watt, hari keempat pengujian energi listrik yang keluar dari panel surya sebesar 54,6 Watt, hari kelima pengujian energi listrik yang keluar dari panel surya sebesar 70,3 Watt, hari keenam pengujian energi listrik yang keluar dari panel surya sebesar 60,4 Watt.

Sel surya yang digunakan pada penelitian ini masih kurang mampu untuk menyuplai energi pada baterai untuk kebutuhan pompa akuaponik selama 24 jam dikarenakan sel surya berkapasitas kecil sehingga energi yang diterima baterai tidak maksimal. Hasil ini dipengaruhi beberapa faktor pada saat penelitian seperti bangunan gedung dan pepohonan yang menghalangi sinar matahari, serta kondisi cuaca yang mendung dan tidak menentu. Faktor tersebut berkaitan dengan intensitas cahaya matahari, maka disimpulkan bahwa intensitas cahaya matahari berpengaruh besar terhadap hasil penelitian.

#### IV. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pemanfaatan energi surya pada pompa akuaponik telah terbukti efektif dalam menyediakan energi yang dibutuhkan untuk menjalankan sistem tersebut.
2. Tingkat efisiensi penggunaan energi surya sebesar 10,8% dalam sistem pompa akuaponik cukup baik, menunjukkan potensi untuk pengembangan lebih lanjut dalam hal keberlanjutan energi. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan dari panel surya mampu memenuhi kebutuhan daya pompa akuaponik dengan baik.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Saya ucapkan terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah banyak membantu berlangsungnya penelitian ini dari awal hingga berakhirnya penelitian. Terima kasih kepada dosen pembimbing saya karena bimbingannya saya mampu menyelesaikan penelitian ini dengan sebaik-baiknya. Serta tak lupa saya ucapkan terima kasih kepada rekan-rekan yang telah memberikan masukan demi meningkatkan kualitas jurnal ini. Terakhir terima kasih buat kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan dan dorongan sehingga memotivasi penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

#### REFERENSI

- [1] Alfari, M.F., & Sariman, S. (2022). Analisa Pemanfaatan *Solar Cell Polycrystalline* Sebagai Sumber Energi Listrik pada Kompur Listrik Induksi Arus Searah (DC) Berdaya 300 Watt. *Jurnal Syntax Admiration*, 3(10), 1333–1340.
- [2] Andansari, T.F., Aripriharta., Muhammad, A.H., Imam, A., Satia, N.M., Muhammad, Y., Arif, W. (2022). Instalasi PLTS Hybrid untuk Akuaponik Sengkaling. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 5(2).
- [3] Anggara, I., Kumara, I., Giriantari, I. (2014). Studi terhadap Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1,9 Kw. *E-Journal Spektrum*, 1(1).
- [4] Bahari S, Laka A, Rosmiati. 2012. Tentang Pengembangan Model Penyimpanan Energi Matahari Sebagai Energi Alternatif Menunjang Proses Pembuatan Garam Laut. Seminar Nasional Sains dan Teknik 2012 (SAINSTEK 2012) Kupang tanggal 13 Nopember 2012.
- [5] Chandra, Y. 2022. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Sumber Energi Listrik untuk Akuaponik. *ENTRIES (Journal of Electrical Network Systems and Sources)*, 1(1).
- [6] Darno., M, Yohanes., Simanjuntak., M, Taufiqurrahman. 2019. Studi Perencanaan Modul Praktikum Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)
- [7] Fajar, B.P. (2017). Pemanfaatan Energi Surya Sebagai Sumber Energi Listrik Pada Coolbox Thermoelectric Untuk Penyimpanan Jamur Tiram (*Pleurotus Ostreatus*). Skripsi, Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya.
- [8] Fatmawati. (2018). Sistem Budidaya Akuaponik. Diakses Pada Tanggal 12 Desember 2023, dari 2018.
- [9] Hindarti, F. 2018. *Otomatisasi Sirkulasi Air Pada Instalasi Akuaponik Dengan Panel Surya (Solar Cell) Sebagai Sumber Energi Alternatif*. 11(1), 2018.
- [10] Kadir, M., Andi, C., Wiwiek, H., Kafrawi. (2023). Implementasi Akuaponik dengan Pompa Tenaga Surya

- untuk Efisiensi Usaha Budidaya Ikan Nila pada Kelompok Tani “Mandiri” Kabupaten Sidrap Sulawesi Selatan. *Jurnal GEMBIRA (Pengabdian Kepada Masyarakat)*, 1(4), 1002-1009.
- [11] Karaagac, M.O., Hasan, O., Fatih, B. (2021). *Evaluation of Monocrystalline and Polycrystalline Photovoltaic Panels in Sinop Province Conditions. Turkish Journal of Nature and Science*, 10(1), 176-181.
- [12] Manan, S. 2016. Energi Matahari, Sumber Energi Alternatif yang Effisien, Handal dan Ramah Lingkungan di Indonesia. *Jurnal Universitas Diponegoro*.
- [13] Monika, D., Muchlishah., Murie, D. (2022). Pemanfaatan PLTS Sebagai Sumber Energi Akuaponik di Desa Leuwi Karet, Kampung Guha Kulon, Klapa Nunggal Kabupaten Bogor. *Jurnal Aplikasi Ipteks untuk Masyarakat*, 11(1), 73-77
- [14] Muharomah, R., Budi, I.S., Yanuar., Purwanto. 2017. Konsumsi dan Kebutuhan Air Selada pada Teknik Hidroponik Sistem Terapung. *Jurnal Irigasi*, 12(1).
- [15] Nugroho, E. dan Sutrisno. 2008. Budidaya ikan dan Sayuran dengan Sistem Akuaponik. Penebar Swadaya. Jakarta
- [16] Pido, R. Dera,S,N, & Rival M. 2019. Analisa Pengaruh Kenaikan Temperatur Permukaan Solar Cell Terhadap Daya Output. Vol 2-No.2
- [17] Prayogi, S., Cahyono, Y., Hamdani, D., Darminto. (2022). *Effect of Active Layer Thickness on The Performance of Amorphous Hydrogenated Silicon Solar Cells. Engineering and Applied Science Research*, 49(2).
- [18] Putro, S.C. (2000). Upaya Peningkatan Efisiensi Sel Surya Fotovoltaik Sebagai Konverter Cahaya Matahari Menjadi Energi Listrik. *Jurnal teknologi, kejuruan dan pengajarannya*, 23(2).
- [19] Ristiyan, S., Tri, W.S., Ika, P., Yagus, W. (2023). Penerapan Teknologi Akuaponik di Desa Sumberpakem Kecamatan Sumberjambe Kabupaten Jember. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 6(4), 1366-1370.
- [20] Rumbajan, G.C.E., Glanny, C.M., Meyta, R. 2021. Rancang Bangun Penggerak Pompa Air Menggunakan Solar Panel untuk Hidroponik. UNSRAT, Manado.
- [21] Samsundari, S., & Wirawan GA. (2013). Analisis Penerapan Biofilter dalam Sistem Resirkulasi terhadap Mutu Kualitas Air Budidaya Ikan Sidat (*Anguilla bicolor*). *Jurnal Gamma*, 8(2), 86-97.
- [22] Sinaga, Y. (2018). Analisa Pemanfaatan Energi Surya Sebagai Sumber Energi pada Mesin Pengeruk Sampah Otomatis. Medan: Universitas Medan Area.
- [23] Subandi., Slamet, H., Satrio, Y.R., Suyanto. (2021). Optimalisasi Daya Keluaran Panel Surya Terhadap Beban Motor Dc Menggunakan Boost Converter pada Sistem Akuaponik. Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta.
- [24] Ulum, M.B., Moch, L., Arif, F. 2022. Otomatisasi Pompa Air Menggunakan Nodemcu ESP8266 Berbasis *Internet of Things* (IOT). JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika). 6(1).
- [25] Widayana, G. 2012. *Pemanfaatan Energi Surya*. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 9(1).

# STUDI PENGISIAN DAN PENGOSONGAN DAYA PADA SUPERKAPASITOR MENGGUNAKAN SIMULASI VIRTUAL LABORATORIUM MULTISIM

Hadi Santoso<sup>1\*</sup>, Abdul Muis Prasetya<sup>2</sup>, Fitriani Said<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

\*hadisantoso@borneo.ac.id

**Abstract**—Supercapacitors are an alternative medium for storing electrical energy besides batteries. They have capacitance values ranging from millifarads to thousands of farads and offer faster charging and discharging times than batteries. The process of charging and discharging electrical power can be performed using a simple electronic circuit that connects a DC voltage source, resistor, supercapacitor, and load. The study of supercapacitor charging and discharging processes can be conducted using electronic simulation software to create a virtual laboratory environment. This study investigates the charging of supercapacitors using NI Multisim software and compares the results with experimental methods from previous research. The Multisim simulation results show significantly longer charging and discharging times compared to real-time experimental measurements. The ratio of real time to simulation time is approximately 100:3 (in seconds), making it less suitable for virtual laboratory simulations that require real-time operation within the range of 5 to 27 hours. Nevertheless, through Multisim simulation, parameter adjustments can be recommended to achieve much shorter charging and discharging times for supercapacitors.

**Keywords**— Charging, Discharging, Supercapacitors, Virtual Laboratory

**Intisari**—Superkapasitor merupakan media alternatif penyimpan energi Listrik. Superkapasitor berkapasitas mili Farad hingga ribuan Farad, dan memiliki kemampuan waktu pengisian dan pengosongan daya yang lebih cepat dibandingkan baterai. Proses pengisian dan pengosongan daya dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian elektronika yang menghubungkan sumber tegangan DC, resistor, superkapasitor dan pembebanan (*load*). Dalam mempelajari pengisian dan pengosongan daya superkapasitor dapat dilakukan dengan pendekatan simulasi elektronika (laboratorium virtual). Telah dilakukan studi pengisian daya superkapasitor menggunakan *software* NI Multisim dengan membandingkan metode eksperimen dari penelitian terdahulu. Hasil simulasi Multisim menyajikan waktu yang relatif jauh lebih panjang dibandingkan *realtime* pengisian dan pengosongan secara eksperimen. Perbandingannya dalam satuan detik mencapai 100:3, sehingga hal ini membuatnya kurang tepat digunakan sebagai virtual laboratorium untuk simulasi eksperimen dalam rentang 5 - 27 jam. Namun melalui simulasi Multisim dapat direkomendasikan perubahan parameter untuk memperoleh waktu pengisian dan pengosongan superkapasitor yang jauh lebih singkat.

**Kata Kunci**— Laboratorium Virtual, Pengisian Daya, Pengosongan Daya, Superkapasitor

## I. PENDAHULUAN

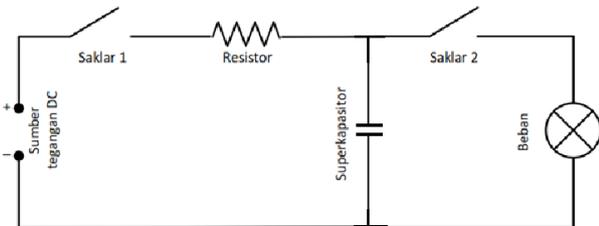
Seiring dengan berkembangnya teknologi, energi listrik menjadi energi utama yang dibutuhkan diberbagai aspek. Kebutuhan energi listrik tak hanya sebatas membahas sumbernya, namun hal penting lainnya adalah penyimpanan energi listrik itu sendiri. Media penyimpanan energi Listrik pada alat elektronik sehari-hari adalah baterai. Baterai adalah alat yang digunakan untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk kimia [1]. Selama ini baterai dianggap penyimpanan listrik yang efektif untuk sumber listrik elektronik yang membutuhkan daya rendah. Namun baterai memiliki kelemahan dimana jika sering digunakan maka baterai akan mengalami *voltage drop* [2]. Selain itu pula baterai sebagai media penyimpanan memiliki kelemahan lainnya yakni pengisian daya yang membutuhkan waktu yang lama dan rapat daya yang kecil [3].

Selain teknologi penyimpanan menggunakan baterai, saat ini teknologi yang menawarkan opsi penyimpanan energi listrik adalah superkapasitor. Superkapasitor dapat mengatasi kelemahan baterai dalam hal penyimpanan. Superkapasitor merupakan terobosan baru di bidang penyimpanan energi, dimana superkapasitor memiliki *power density* yang lebih tinggi dibandingkan baterai dan memiliki energi *density* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kapasitor konvensional [4], selain itu pula keuntungan lain dari superkapasitor yaitu tingkat pengisian yang cepat dan umur siklus pengisian yang Panjang [5].

Superkapasitor merupakan teknologi baru yang dikembangkan dari kapasitor konvensional untuk menyimpan energi yang listrik. Superkapasitor adalah sebuah perangkat baru dari media penyimpanan energi, yang memiliki kapasitas penyimpanan yang jauh berbeda dari kapasitor biasa dan baterai. Superkapasitor memiliki kapasitansi dan kerapatan energi yang lebih tinggi dibanding kapasitor biasa. Superkapasitor juga memiliki waktu pengisian dan pengosongan yang cepat, serta umur yang panjang [6]. Teknologi superkapasitor dapat berkisar dari satuan mili Farad hingga beberapa ribu Farad. Rentang ini memungkinkan penggunaan superkapasitor dalam berbagai aplikasi, mulai dari sensor kecil hingga kendaraan listrik dan sistem penyimpanan energi skala besar [7].

Pengisian dan pengosongan daya pada superkapasitor dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian sederhana yang menghubungkan antara sumber tegangan

DC, resistor, superkapasitor dan beban (*load*). Ketika pengisian daya maka sumber tegangan dihubungkan dengan resistor dan superkapasitor secara seri, sedangkan ketika dilakukan pengosongan daya maka sakelar memutuskan sumber tegangan DC yang terhubung dengan superkapasitor. Sakelar ini menggantikan rangkaian seri superkapasitor untuk memberi daya pada beban (*load*). Rangkaian sederhana ini digunakan oleh V. R. Yandri [8] dalam melakukan proses pengisian dan pengosongan Superkapasitornya, sesuai gambar 1.



Gambar 1. Skema rangkaian pengisian dan pengosongan daya superkapasitor

Pengisian dan pengosongan daya superkapasitor dengan rangkaian sederhana dilakukan dengan metode eksperimen. Namun dalam mempelajari proses pengisian dan pengosongan daya superkapasitor dapat dilakukan dengan pendekatan *software* simulasi elektronika untuk menghadirkan laboratorium virtual.

Laboratorium virtual adalah ruang kerja elektronik untuk kolaborasi yang membuktikan eksperimen antara teori dengan implementasi praktik melalui simulasi tanpa mengenal jarak ataupun waktu dalam kreativitas pembuktian dalam praktikum serta menghasilkan dan memberikan dampak pengetahuan yang nyata dalam pemberian informasi pembelajaran. Di samping itu virtual laboratorium memungkinkan untuk mensimulasikan eksperimen laboratorium sebelum dilakukan pembuktian secara eksperimen [9].

Multisim adalah sebuah aplikasi yang diproduksi oleh *National Instruments Inc* yang mampu menjalankan program spesifik untuk rangkaian listrik maupun elektronika yang dapat dengan mudah mengamati gejala rangkaian listrik yang disimulasikan dan melakukan uji pengukuran yang spesifik data yang lebih akurat serta didukung beberapa komponen rangkaian yang sangat kompleks[10].

Terdapat tiga buah penelitian pengisian dan pengosongan yang dilakukan oleh F. I Pasaribu, dkk [2], V. R. Yandri [8], dan Nurhamsiah, dkk [11]. Ketiga penelitian ini dilakukan secara eksperimen menggunakan. Yang membedakan penelitian-penelitian ini adalah superkapasitor yang digunakan, dimana pada F. I Pasaribu, dkk [2] dan V. R. Yandri [8] menggunakan superkapasitor hasil fabrikasi sendiri dengan material tertentu yang masing-masing berkapasitas 230  $\mu$ Farad atau 0,23 mili Farad dan 1 Farad. Pada penelitian yang dilakukan Nurhamsiah, dkk [11] menggunakan superkapasitor komersil dengan kapasitas 500 Farad.

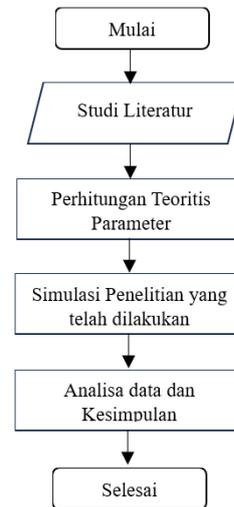
Berdasar hal yang telah dipaparkan maka dilakukan studi pengisian dan pengosongan daya pada superkapasitor, dimana proses studi tersebut menggunakan bantuan simulasi Virtual Laboratorium

yang memanfaatkan *Software* NI Multisim. Hasilnya kemudian akan dibandingkan antara hasil simulasi dengan perhitungan teoritis dan eksperimen pengisian daya superkapasitor yang telah dilakukan pada tiga penelitian superkapasitor.

## II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah validasi metoda analisis, yang merupakan suatu tindakan penilaian terhadap parameter tertentu berdasarkan percobaan laboratorium. Tujuan metode ini adalah untuk membuktikan bahwa parameter-parameter yang ada telah memenuhi persyaratan untuk penggunaannya, serta bertujuan untuk mengkonfirmasi kesesuaian parameter dengan peruntukannya [12]. Secara berurutan langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut;

1. Studi literatur
2. Perhitungan teoritis parameter
3. Simulasi
4. Analisa Data dan Kesimpulan



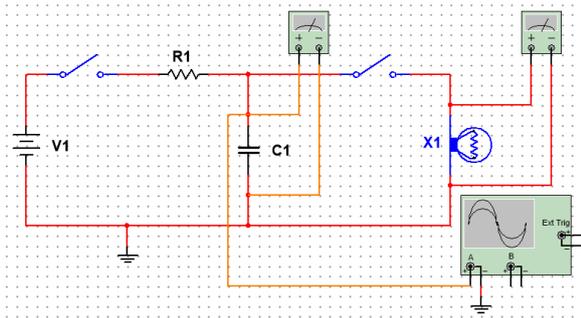
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan gambar 2 maka penelitian ini tidak memiliki diagram kondisional yang memberi intruksi pengulangan langkah penelitian. Hal ini berkenaan dengan tidak ada hubungan yang saling mempengaruhi antara perhitungan teori dengan parameter penelitian-penelitian yang telah dilakukan terhadap hasil simulasi yang akan dilakukan.

Parameter pengujian berasal dari dari tiga buah penelitian, yakni **Penelitian A** oleh F. I Pasaribu, dkk [2] yang menggunakan superkapasitor berkapasitas 0,23 mili Farad, **Penelitian B** oleh V. R. Yandri [8] menggunakan superkapasitor berkapasitas 1 Farad, dan **Penelitian C** oleh Nurhamsiah, dkk [11] menggunakan superkapasitor berkapasitas 500 Farad. Parameter hasil eksperimen penelitian A, B dan C akan kembali divalidasi dengan validasi metoda analisis melalui simulasi laboratorium virtual menggunakan *software* Multisim.

*Software* Multisim tidak memiliki spesifik komponen superkapasitor dalam melakukan proses simulasi, namun komponen kapasitor dapat disesuaikan nilainya pada satuan mikro Farad hingga ribuan farad. Berikut skema

rangkaian gambar 1 yang diaplikasikan pada area kerja Multisim yang dilengkapi dengan simulator alat ukur arus tegangan, arus, dan osiloskop sebagai indikator waktu;



Gambar 3. Skema komponen dan instrumen pada simulasi Multisim

Parameter sumber tegangan, resistor, superkapasitor, dan beban (*load*) dapat disesuaikan nilainya langsung pada komponen yang ada pada *worksheet* simulasi, sedangkan untuk parameter waktu serta daya pada superkapasitor dapat diamati melalui instrumen yang tersedia. Instrumen multimeter digunakan untuk mengukur nilai tegangan dan arus pada superkapasitor dan beban (*load*). Instrumen lainnya adalah osiloskop yang digunakan untuk mengukur parameter waktu pengisian dan pengosongan daya superkapasitor.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan sumber studi literatur maka pengujian parameter teoritis kapasitansi sebuah superkapasitor adalah sama dengan kapasitansi sebuah kapasitor. Perhitungan teoritis dari pengisian dan pengosongan daya kapasitor atau superkapasitor memenuhi persamaan berikut [13];

Rumus pengisian superkapasitor;

$$V_c = \mathcal{E}(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \tag{1}$$

$$I(t) = \frac{\mathcal{E}}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \tag{2}$$

Rumus pengosongan superkapasitor;

$$V_c(t) = V_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \tag{3}$$

Berdasarkan persamaan (1), (2), dan (3) maka parameter-parameter dalam penelitian ini meliputi;

- $\mathcal{E}$  = Nilai Tegangan input (Volt)
- $V_c$  = Nilai Tegangan pada Supercapasitor (Volt)
- $R$  = Nilai Resistor ( $\Omega$ )
- $I$  = Arus listrik (Ampere)
- $C$  = Nilai Supercapasitor (Farad)
- $t$  = Waktu pengisian atau pengosongan (detik)

**Penelitian A** oleh F. I Pasaribu, dkk [2] merupakan superkapasitor hasil fabrikasi menggunakan bahan dasar Graphene. Parameter Pengisian Daya penelitian ini terhadap nilai teori terdiri dari tegangan input sebesar 3 Volt, dengan nilai kapasitansi 0,23 mili Farad. Berikut adalah parameter pengisian daya **Penelitian A**:

Tabel I

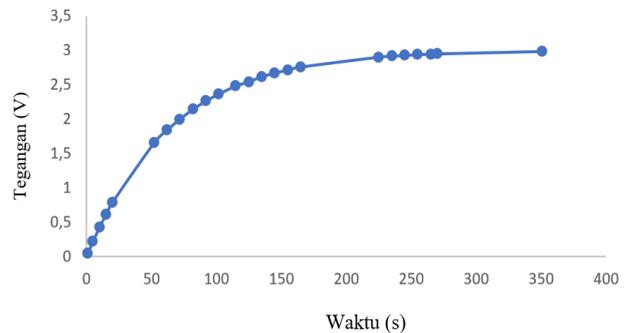
Parameter Pengisian Daya Penelitian A	
Parameter	Nilai
$\mathcal{E}$	3 Volt
$C$	0,23 mili Farad
$t_1$	60 detik
$V_{c1}$	1,8 Volt
$t_2$	3600 detik
$V_{c2}$	2,0 Volt

**Metode penelitian A** adalah metode eksperimen dengan melakukan pengisian langsung superkapasitor dalam waktu 60 detik. Dalam penelitian ini tidak memiliki parameter  $R$  (Resistor), maka dari itu berdasarkan persamaan (1) maka pendekatan untuk menemukan nilai  $R$  dapat diperoleh dengan persamaan;

$$R = -\frac{t}{C \cdot \ln(1 - \frac{V_c(t)}{\mathcal{E}})} \tag{4}$$

Melalui persamaan 4 maka diperoleh bahwa pengisian daya selama 60 detik **penelitian A** menggunakan hambatan dengan nilai 285 k $\Omega$ .

Dengan menggunakan parameter pengisian kapasitor penelitian A dengan asumsi nilai resistor sebesar 285 k $\Omega$ , maka dilakukan simulasi pada *software* NI Multisim sesuai dengan skema gambar 3 dan tabel 1. Hasil simulasi pengisian daya **penelitian A** tampak pada gambar 4;



Gambar 4. Grafik Pengisian Daya Penelitian A

Sesuai gambar 4, proses pengisian superkapasitor dalam keadaan kosong hingga mencapai tegangan 1,8 volt hanya membutuhkan waktu 60 detik, hasil simulasi menunjukkan data yang sama bahwa untuk mencapai pengisian tegangan 1,841 volt dibutuhkan waktu 62 detik. Untuk hasil data selanjutnya sesuai eksperimen pada Penelitian A menunjukkan tercapainya pengisian 2 volt dibutuhkan waktu 3.600 detik. Hal ini berbeda dengan hasil simulasi yang menunjukkan bahwa untuk mencapai tegangan 2 volt hanya dibutuhkan waktu 70 detik. Selanjutnya dalam simulasi diperoleh informasi bahwa untuk mencapai nilai kapasitas mendekati tegangan 3.0 Volt (2,985 Volt) dibutuhkan waktu 350 detik.

Selanjutnya untuk Parameter Pengosongan Daya pada **Penelitian A** terhadap nilai teori dengan nilai 0,23 mili Farad dengan tegangan 1,8 volt dibutuhkan waktu pengosongan selama 3.020 detik, maka berdasarkan persamaan (3) maka beban (*load*)  $R$  yang digunakan adalah 3.520.000  $\Omega$  atau 3,52 M $\Omega$ , sehingga dapat disajikan parameter pengosongan daya **Penelitian A**;

Tabel II  
Parameter Pengosongan Daya Penelitian A

Parameter	Nilai
$V_0$	1,8 Volt
$C$	0,23 mili Farad
$t$	3.020 detik
$V_c$	$\approx 0$ Volt
$R$	3,52 M $\Omega$

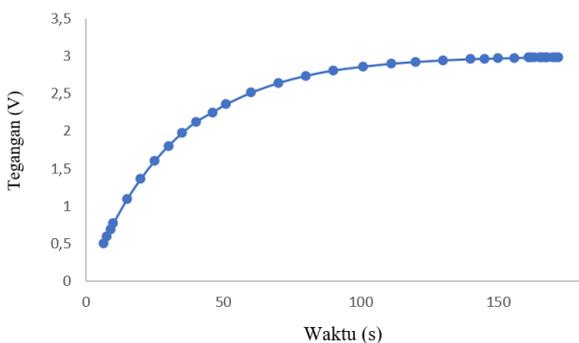
Hasil simulasi pengosongan Penelitian A menunjukkan data yang relatif sama yakni dalam pengosongan 1,8 volt hingga mendekati nilai tegangan 0 volt mencapai waktu 3000 detik. Pola grafik penurunan dengan beban yang diberikan berupa LED 3 Volt ini memiliki penurunan tegangan yang relatif sangat kecil sehingga hal ini menyebabkan waktu pengosongan sangat panjang.

Pada **Penelitian B** oleh V. R. Yandri [8] menggunakan superkapasitor hasil fabrikasi berbahan dasar Sodium Alginat yang memiliki rata-rata kapasitas sebesar 1 Farad. Sumber tegangan yang digunakan tegangan 3 Volt. Pada penelitian ini pendekatan yang dilakukan adalah substitusi persamaan-persamaan superkapasitor dengan asumsi nilai hambatan sebesar 1  $\Omega$ . Data eksperimen menunjukkan variasi nilai tegangan pada kapasitansi terhadap waktu, dengan pengisian mencapai tegangan 3 volt dengan rentang waktu 2,5 menit. **Penelitian B** memiliki parameter pengisian kapasitor sebagai berikut;

Tabel III  
Parameter Pengisian Daya Penelitian B

Parameter	Nilai
$\mathcal{E}$	3 Volt
$C$	1 Farad
$t$	150 detik
$V_c$	3 Volt

Sesuai persamaan 4 maka parameter pengisian kapasitor pada **penelitian B** untuk mencapai nilai tegangan mendekati 3 volt selama 150 detik adalah menggunakan nilai resistor sebesar 32,57  $\Omega \approx 33 \Omega$ . Bila disimulasikan pada *software* NI Multisim maka hasilnya ditunjukkan oleh gambar 5;



Gambar 5. Grafik Pengisian Daya Penelitian B

Gambar 5 menunjukkan bahwa hasil simulasi pengisian daya superkapasitor mendekati dengan hasil eksperimen Penelitian B. Pada eksperimen penelitian B menunjukkan

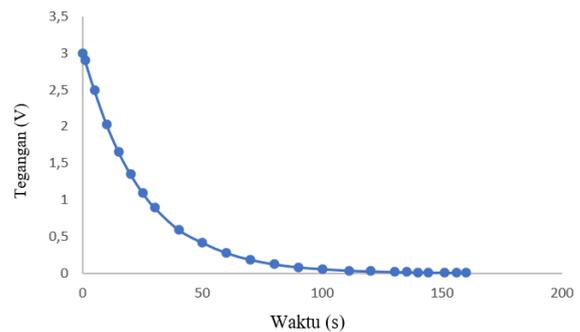
bahwa kapasitor terisi penuh dalam waktu 2,5 menit atau 150 detik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa saat mencapai 150 detik, superkapasitor akan terisi dengan tegangan sebesar 2,967 volt. Hasil simulasi pula menunjukkan bahwa proses pengisian dapat terus dilakukan hingga waktu ke 172 detik dengan capaian tegangan sebesar 2,984 volt.

Untuk data **penelitian B** pada proses pengosongan dimulai dengan tegangan 3 Volt hingga mengami nilai kapasitansi mendekati nol. Pendekatan simulasi yang diambil adalah ketika waktu pengosongan mencapai 5 menit yang menunjukkan nilai kapasitansi antara 0,6 volt – 0,7 volt, atau sekitar 0,65 volt. **Penelitian B** memiliki parameter pengosongan kapasitor sebagai berikut;

Tabel IV  
Parameter Pengosongan Daya Penelitian B

Parameter	Nilai
$\mathcal{E}$	3 Volt
$C$	1 Farad
$t$	300 detik
$V_c$	0,65 Volt

Hasil simulasi dengan parameter pada tabel 4 menunjukkan hasil sesuai gambar 6;



Gambar 6. Grafik Pengosongan Daya Penelitian B

Gambar 6 menunjukkan bahwa simulasi dari proses pengosongan siperkapasitor 1 F hingga memperoleh tegangan relatif 0 Volt membutuhkan waktu 150 detik. Rentang waktu pengosongan ini dua kali lebih cepat dibandingkan dengan hasil eksperimen penelitian B yang membutuhkan waktu 100 menit.

Pada **Penelitian C** oleh Nurhamsiah, dkk [11] menggunakan superkapasitor komersil berkapasitas 500 Farad. Sumber tegangan yang digunakan tegangan 6 Volt dan resistor 1200  $\Omega$ . Pada penelitian ini memiliki variasi perubahan nilai kapasitansi pengisian terhadap waktu, dengan data pengisian selama 30 menit dengan kapasitor terisi mencapai 0,8 volt, dan arus 1,39 mA. **Penelitian C** memiliki parameter pengisian kapasitor sebagai berikut;

Tabel V  
Parameter Pengisian Daya Penelitian C

Parameter	Nilai
$\mathcal{E}$	6 Volt
$C$	500 Farad
$t$	1800 detik
$V_c$	0,8 Volt
$R$	1200 $\Omega$

Untuk data **penelitian C** pada proses pengosongan dimulai dengan tegangan 2,7 Volt hingga mencapai 2,6 volt selama 30 menit dengan arus 5,43 mA menjadi 4,41 mA. **Penelitian C** memiliki parameter pengosongan kapasitor sebagai berikut;

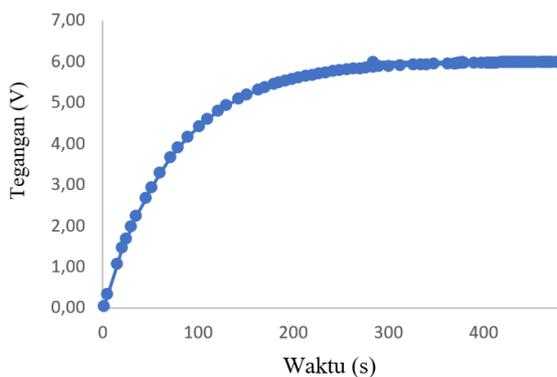
Tabel VI  
Parameter Pengosongan Daya Penelitian C

Parameter	Nilai
$\mathcal{E}$	2,7 Volt
C	500 Farad
t	1800 detik
$V_c$	2,6 Volt
I	4,41 mA

Pada **penelitian C** dibutuhkan waktu pengisian dan pengosongan yang sangat panjang. Dalam simulasi yang dilakukan software NI Multisim waktu yang dibutuhkan sulit disimulasikan dengan baik, hal ini dikarenakan perbandingan waktu yang tercatat pada instrumen osiloskop pada simulasi jauh lebih lambat dibandingkan dengan *realtime*. Perbandingan *realtime* dan waktu simulasi di Multisim dalam satuan detik yakni 100 : 3. Sehingga *software* Multisim kurang tepat digunakan sebagai virtual laboratorium untuk simulasi pengisian superkapasitor yang membutuhkan *realtime* pengisian dan pengosongan dalam rentang 5 - 27 jam.

Keunggulan dari sebuah simulasi untuk tujuan virtual laboratorium adalah menemukan parameter lain untuk diuji sehingga dapat merekomendasikan sebuah parameter lain tersebut untuk mencapai kondisi yang lebih ideal. Keunggulan ini merupakan kelebihan dari virtual laboratorium yang mudah digunakan, fleksibel terhadap waktu dan memuaskan teori pengetahuan [14]. Dalam memuaskan teori pengetahuan terkait waktu pengisian superkapasitor berkaitan dengan tujuan dasar penggunaan superkapasitor sebagai pengganti baterai. Dimana superkapasitor memiliki keunggulan dalam pengisian daya yang lenih cepat dibandingkan baterai [15]. Dalam hal ini dilakukan analisa teori untuk memperoleh waktu pengisian yang jauh lebih singkat tanpa merubah Parameter C dan  $\mathcal{E}$ .

Berdasarkan persamaan 4, maka untuk dapat memperoleh pengisian 150 detik pada kondisi **Penelitian C** maka nilai resistor diganti dengan resistor yang jauh lebih kecil, yakni 0,15  $\Omega$ . Berikut hasil simulasi pengisian superkapasitor 500 Farad hingga mencapai 6 Volt;



Gambar 7. Grafik Pengisian Daya Penelitian B

Pada gambar 7 menunjukkan bahwa pengisian kapasitor 500 Farad hingga mencapai tegangan mendekati 6 volt adalah saat mencapai waktu ke 300 detik. Bila dibandingkan dengan perhitungan teori bahwa resistor 0,15  $\Omega$  dapat mempercepat pengisian hingga waktu ke 150 detik. Hasil simulasi menunjukkan data pengisian waktu hampir dua kali lipat. Namun begitu waktu pengisian ini relatif singkat dibandingkan dengan penggunaan resistor 1200  $\Omega$  yang dilakukan pada eksperimen **penelitian C**.

#### IV. KESIMPULAN

Superkapasitor merupakan salah satu media alternatif penyimpan energi listrik yang memiliki waktu pengisian lebih cepat. Proses pengisian dan pengosongan daya listrik pada sebuah superkapasitor dapat disimulasikan secara virtual laboratorium dengan menggunakan rangkaian elektronika sederhana yang menghubungkan antara sumber tegangan DC, resistor, superkapasitor, dan pembebanan (*load*). Dengan menggunakan *software* NI Multisim menunjukkan bahwa virtual laboratorium Multisim berhasil menunjukkan nilai pengisian dan pengosongan daya superkapasitor sesuai teori dan nilai eksperimen. Hasil simulasi Multisim menyajikan waktu yang relatif jauh lebih panjang dibandingkan *realtime* pengisian dan pengosongan secara eksperimen. Perbandingan *realtime* dan waktu simulasi dalam satuan detik yakni 100:3, sehingga hal ini membuatnya kurang tepat digunakan sebagai virtual laboratorium untuk simulasi yang membutuhkan *realtime* pengisian dan pengosongan dalam rentang 5 - 27 jam. Namun melalui simulasi Multisim dapat direkomendasikan perubahan parameter untuk memperoleh waktu pengisian dan pengosongan superkapasitor yang jauh lebih singkat.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada LPPM Universitas Borneo Tarakan yang telah memberikan hibah penelitian Riset Kompetensi Dosen (RKD) yang bersumber dari Dana DIPA Universitas Borneo Tarakan tahun 2023.

#### REFERENSI

- [1] Muslih, Nasution, "Karakteristik Baterai Sebagai Penyimpan Energi Listrik Secara Spesifik," *Journal of Electrical Technology*, Vol. 6, No.1, Februari 2021
- [2] F. I. Pasaribu, S. A. Lubis, S. I. P. Alam, "Superkapasitor Sebagai Penyimpanan Energi Menggunakan Bahan Graphene," RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro Vol. 2, No. 2, Januari 2020
- [3] D. A. Safitri, "Analisa Pengaruh Doping Nitrogen Terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor Berbahan Graphene," Undergraduate thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [4] Sitohang and Anggia, "Pembuatan Dan Pengujian Elektroda Superkapasitor Berbasis Graphene Dengan Metode Charging-Discharging," *Orphanet J. Rare Dis.*, vol. 21, no. 1, pp. 1–9, 2020.
- [5] Zuleta, Bjornbom, and Lundblad, "Effects of Pore Surface Oxidation on Electrochemical and Mass-Transport Properties of Nanoporous Carbon. *Journal of The Electrochemical Society*, vol. 152, pp. 270-276., 2005.

- [6] Nugroho, “Rancang Bangun System Sumber Daya TAG Aktif RFID Berbasis Tenaga Surya Dengan Superkapasitor Sebagai Media Penyimpan Energi. Fakultas Teknik; Depok
- [7] W. Raza, F. Ali, N. Raza, dkk, “Recent Advancements In Supercapacitor Technology,” *Nano Energy*, Volume 52, October 2018, Pages 441-473
- [8] R. Yandri, “Pengujian Superkapasitor Berbasis Sodium Alginat Saat Pengisian dan Pengosongan Muatan Listrik,” *Jurnal Teknik Elektro ITP*, Vol. 7, No. 1, Januari 2018
- [9] Simbolon, D. H, “Pengaruh model pembelajaran inkuiri terbimbing berbasis eksperimen riil dan laboratorium virtual terhadap hasil belajar fisika siswa,” *Jurnal Pendidikan Dan Kebudayaan*, 21(3), 299–316. 2015
- [10] Ridwan dan D. R. E. Kembuan, “Efektivitas Penggunaan Simulasi dengan Multisim Berbantuan Virtual *Laboratory* untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Mahasiswa Jurusan Pendidikan Teknik Elektro” *Jurnal Kiprah* 9 (1) (2021).
- [11] Nurhasmia, Kadek Subagiada, Adrianus Inu Natalisanto, “Studi Penggunaan Superkapasitor Sebagai Media Penyimpan Energi,” *Progressive Physics Journal*. Volume 2, Nomor 2, Desember 2021.
- [12] Octaria Bulan Kusuma Putri, “Optimasi Eluen Dan Validasi Metode Analisis Pada Uji Kadar Kuersetin Terhadap Ekstrak Kering Daun Kelor (*Moringa Oleifera* L.) UPN Veteran Jakarta, Fakultas Kedokteran, Program Studi Farmasi Program Sarjana, 2024.
- [13] David, Hallyday, 1960. *Fundamentals of Physics Edition* 2. John Wiley & Sons, Inc: New Jersey.
- [14] K. Triatmaja, Muchlas, Y. Wardana, “Virtual Laboratorium Teknik Digital berbasis Mobile Virtual Reality,” *Jurnal Edukasi Elektro*, Volume 05, No. 1, May 2021
- [15] Agus Riyanto, “Superkapasitor Sebagai Piranti Penyimpan Energi Listrik Masa Depan,” *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, Vol 3, No 2, 2014.

# ANALISA PENGARUH FREKUENSI DAN *DUTY CYCLE* TERHADAP RIPPLE TEGANGAN PADA *BUCK-BOOST CONVERTER*

Abil Huda<sup>1</sup>, Zulfadli<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

<sup>1</sup>zulfadlisbtk@gmail.com

<sup>2</sup>abil@borneo.ac.id

**Abstract**— In the field of electronics, the use of voltage sources with stable values and minimal fluctuations is crucial for the optimal functioning of electronic devices. Efficient voltage conversion is essential for the change of DC voltage levels to achieve higher or lower output. One of the most frequently used converter types is the buck boost converter. A buck-boost converter is a type of DC-DC converter that is capable of producing an output voltage that is either higher or lower than the input voltage, depending on the configuration and operational conditions. The effect of frequency and duty cycle on voltage ripple in Buck-Boost Converter is an important research topic to improve the performance of the converter. The test results of the Buck Boost Converter with Duty Cycle exhibited a range of voltage ripple values, varying from 0.04 V to 13.51 V, when an input voltage of 17 V and an output of -12 V were employed. At a Duty Cycle of 100%, the converter demonstrated the smallest voltage ripple, while at a Duty Cycle of 80%, the largest ripple value was observed. At frequencies between 20 kHz and 120 kHz, with the same input and output voltages of 17 V and -12 V, the smallest voltage ripple at 120 kHz is 1.09 V, while the largest is 6.24 V at 20 kHz.

**Keywords:** Buck Boost Converter, Voltage Ripple, Frequency and Duty Cycle

**Intisari**— Dalam dunia elektronik, penggunaan sumber tegangan dengan nilai yang stabil dan minim fluktuasi sangat penting untuk menjaga kinerja dari perangkat elektronik. Konversi tegangan yang efisien diperlukan untuk mengubah tegangan DC dari satu level yang lebih tinggi atau lebih rendah. Salah satu jenis converter yang umum digunakan adalah *Buck Boost Converter*. *Buck Boost Converter* adalah jenis konverter DC-DC yang mampu menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi atau lebih rendah dari pada tegangan masukan, tergantung pada konfigurasi dan kondisi kerja. Pengaruh frekuensi dan *duty cycle* terhadap Ripple tegangan pada *Buck Boost Converter* merupakan topik penelitian yang penting. Untuk meningkatkan kinerja converter tersebut Hasil pengujian *Buck Boost Converter* dengan *Duty Cycle* yang divariasikan dari 20% sampai 100% menggunakan tegangan input sebesar 17 V dan output sebesar -12 V diperoleh ripple tegangan paling kecil pada *Duty Cycle* 100% yaitu 0.04 V dan yang paling besar 13.51 V pada *Duty Cycle* 80 %. Lalu pada Frekuensi yang divariasikan dari 20kHz sampai 120kHz menggunakan tegangan input dan output yang sama sebesar 17 V dan -12 V diperoleh ripple tegangan paling kecil pada frekuensi 120k yaitu 1.09 V dan yang paling besar 6.24 pada frekuensi 20kHz.

**Kata Kunci :** *Buck Boost Converter*, Ripple Tegangan, *Duty Cycle*, Frekuensi.

## I. PENDAHULUAN

Dalam dunia elektronik, penggunaan sumber tegangan dengan nilai yang stabil dan minim fluktuasi sangat penting untuk menjaga kinerja dan pelaporan perangkat elektronik. Namun, dalam beberapa aplikasi, seperti sistem catu daya DC-DC, konversi tegangan yang efisien diperlukan untuk mengubah tegangan yang efisien diperlukan untuk mengubah tegangan dc dari satu level yang lebih tinggi atau lebih rendah. Salah satu jenis converter yang umum digunakan adalah *Buck Boost Converter*.

Pengaruh frekuensi dan *duty cycle* terhadap *Ripple* tegangan pada *Buck-Boost Converter* merupakan topik penelitian yang penting dalam rangka meningkatkan kinerja *converter* tersebut. Frekuensi operasi dan *duty cycle* adalah parameter utama yang dapat diatur pada *Buck-Boost Converter* untuk mengontrol tegangan keluaran. Frekuensi operasi mengacu pada kecepatan dimana *Buck-Boost Converter* beralih antara siklus kerja. Semakin tinggi frekuensi operasi, semakin cepat *converter* beralih dan mampu menghasilkan output yang lebih halus[2].

Dalam penelitian ini, saya akan menganalisis secara mendalam pengaruh frekuensi dan *Duty Cycle* terhadap tegangan *Ripple* pada *Buck-Boost Converter*. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan wawasan yang berharga untuk meningkatkan kinerja *Buck-Boost Converter* dan penggunaannya dalam berbagai aplikasi yang membutuhkan konversi tegangan DC yang efisien dan stabil.

## II. LANDASAN TEORI

Dalam penelitian [1] *Buck-Boost Converter* adalah alat catu daya listrik untuk menaikkan dan menurunkan tegangan DC (Direct Current) peralatan catu daya sesuai dengan kebutuhan beban listrik, penelitian ini dirancang untuk *Buck-Boost Converter* dan Konverter pada Tegangan 12 Volt catu daya, desain catu daya *Buck Converter* diturunkan dari desain 5 Volt, 6Volt, dan 6 Volt sedangkan catu daya *Boost Converter* 12 Volt ditawarkan hingga 16 Volt, 19 Volt, dan 22 Volt dengan cara mengatur *duty cycle* pengaturan frekuensi PWM dalam 1,7 Khz dan 3,3 Khz. Hasil penelitian menunjukkan keadaan perbedaan tiap frekuensi pada rangkain keluaran tegangan bentuk *Ripple* yang diperoleh berbeda-beda.

Dalam penelitian [3] Tujuan penelitian ini penulis menggunakan rangkaian elektronika daya DC chopper tipe

*Buck-Boost Converter* dengan tegangan keluaran variabel. Tegangan Output yang dihasilkan bervariasi dengan output maksimal 228 volt dan output minimal 0,6 volt dengan input konstan 12 volt. Untuk mengetahui rancangan yang dibuat sudah sesuai dengan perhitungan, maka pada penelitian ini penulis melakukan simulasi rangkaian *Buck-Boost Converter* dengan beban tetap, dan beban bervariasi.

**A. Duty Cycle dan Frekuensi**

*Duty Cycle* adalah perbandingan antara waktu ketika sinyal mencapai kondisi *ON* dan ketika mencapai kondisi *OFF* dalam satu periode sinyal. *Duty Cycle* adalah proporsi waktu dimana komponen, perangkat, atau sistem dioperasikan. Siklus tugas dapat dinyatakan sebagai rasio atau persentase [2].

Sedangkan frekuensi merupakan jumlah gelombang yang terbentuk dalam satu detik. Jadi bisa disimpulkan dibagi waktu yang dibutuhkan. Sinyal PWM pada umumnya mempunyai amplitudo dan frekuensi dasar tetap, namun memiliki lebar pulsa yang bervariasi. Maksudnya adalah sinyal PWM memiliki frekuensi gelombang yang tetap namun *Duty Cycle* bervariasi (antara %) hingga 100%) [2].

$$T_{total} = T_{on} + T_{off} \tag{1}$$

$$D = \frac{T_{on}}{T_{total}} \tag{2}$$

$$V_{out} = D \times V_{in} \tag{3}$$

$$D = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_{in} \tag{4}$$

Keterangan :

$T_{on}$  = waktu pulsa “High”

$T_{off}$  = waktu pulsa “Low”

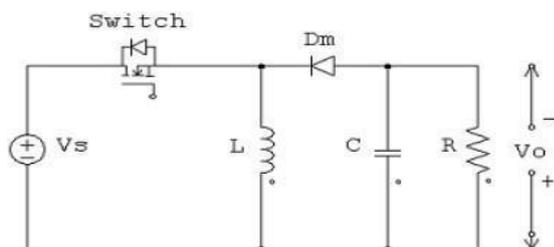
$D$  = *Duty Cycle* adalah lamanya pulsa dalam satu periode

**B. Ripple Tegangan**

*Ripple* Tegangan adalah gelombang dengan puncak dan lembah, atau biasa disebut dengan *Ripples*. *Ripple* idealnya dibagi menjadi *Ripple* tinggi, dan *Ripple* rendah [2].

**C. Buck-Boost Converter**

*Buck-Boost Converter* adalah merupakan alat yang dapat mengubah tegangan DC ke DC menjadi lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan inputannya. Sehingga pengguna dapat memilih sendiri tegangan yang akan diaplikasikan ke beban yaitu lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan output. *Buck-Boost Converter* adalah sebuah rangkaian DC-DC Converter yang memiliki kelebihan yaitu tegangan keluaran yang dapat diatur lebih besar atau lebih kecil dari sumber[3].

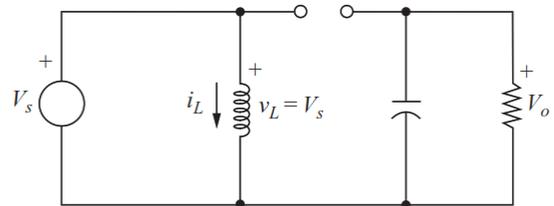


Gambar 1. Rangkaian Buck-Boost Converter

**D. Prinsip Kerja Buck-Boost Converter**

*Buck Boost Converter* merupakan salah satu jenis konverter DC-DC yang mampu menghasilkan variasi tegangan DC yang lebih kecil atau lebih rendah dari tegangan masukannya sesuai dengan *switching* frekuensinya. Komponen penyusun konverter *Buck Boost Converter* terdiri dari beberapa komponen penyusun yaitu transistor, inductor (L), diode (D), dan kapasitor (C) yang tersusun

Prinsip kerja rangkaian *Buck Boost Converter* dibagi menjadi 2 mode operasi yaitu pada saat switch *ON* dan pada saat switch *OFF*. Selama switch *ON*, dioda dalam keadaan *reverse* bias seperti pada gambar1 sehingga tidak adanya arus yang mengalir ke diode, pada kondisi ini tegangan diode (VD) sama dengan  $-(V_s + V_o)$ . Dalam kondisi tertutup switch mendapatkan tegangan sebesar Vs, Sehingga induktor mendapat tegangan dari input dan arus mengalir melewati induktor selama switch dalam keadaan *ON* dan secara bersamaan kapasitor dalam kondisi *discharge* yang mengalirkan tegangan dan arus pada beban.



Gambar 2. Rangkaian ekivalen Buck Boost Converter saat switch ON

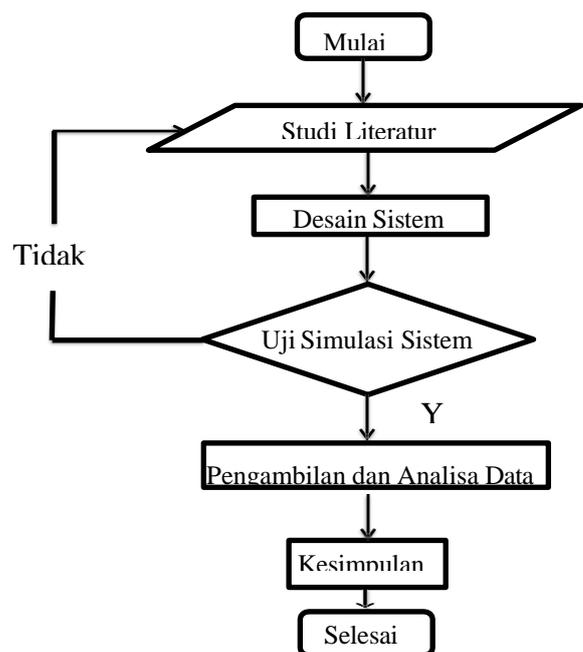
Didapatkan persamaan  $\Delta i_L$  pada saat switch on adalah:

$$(\Delta i_L)_{ON} = \frac{V_s D T}{L} \tag{5}$$

Didapatkan persamaan  $\Delta i_L$  pada saat switch off adalah:

$$(\Delta i_L)_{OFF} = \frac{V_o(1-D)T}{L} \tag{5}$$

**III. METODE PENELITIAN**



Gambar 3. Flowchart Penelitian

Jenis penelitian yang saya gunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan jenis kuantitatif. Yang mana kuantitatif ini untuk melihat pengaruh terhadap frekuensi dan *duty cycle* ketika *Ripple* tegangan *Buck-Boost Converter* dimainkan.

Penelitian yang saya lakukan ini menggunakan Alat dan bahan yang digunakan antara lain:

A. Laptop

laptop akan di gunakan untuk penelitian ini sebagai alat untuk membuat sebuah simulasi dalam penelitian.

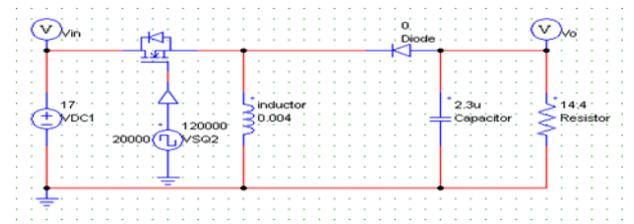
B. Software PSIM

Software PSIM di gunakan untuk mensimulasikan dan mendesain *Ripple* tegangan

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

A. Hasil simulasi Buck Boost Converter

Pengujian ini dilakukan dengan membuat perancangan Buck Boost Converter pada aplikasi PSIM 11.1.1.3. Dengan rangkaian pada gambar 3.2. Dalam pengujian ini menggunakan 2 tahapan yaitu, pertama dengan nilai *duty cycle* yang berubah-ubah dan juga merubah nilai frekuensi yang diinginkan. Pada pengujian Buck Boost Converter ini perlu disimulasikan untuk melihat batas maksimum dengan kemampuan rangkaian ini dalam menaikkan dan menurunkan tegangan Rangkain Buck Boost Converter digunakan untuk menstabilkan tegangan, pada perancangan ini dijelaskan mengenai perhitungan komponen-komponen pada rangkaian Buck Boost Converter seperti, *Duty Cycle*, Resistor, Induktor dan Kapasitor secara keseluruhan. Adapun Parameter yang digunakan dalam perancangan Buck Boost Converter.



Gambar 4. Desain Rangkaian Buck-Boost Converter

Tabel I  
Parameter *Buck Boost Converter*

Parameter	Nilai
V1	17
V0	-12
F	120 kHz
p	10 W
%IL	1%
%V <sub>o</sub>	1%

1. Menentukan nilai *Duty Cycle*

$$D = \frac{V_0}{T_{\text{total}}(V_0 - V_1)} = \frac{-12}{17} = 0.143$$

2. Menentukan nilai Resistor

$$R = \frac{V_0^2}{P} = \frac{-12^2}{10} = 14.4 \text{ Ohm}$$

3. Menentukan nilai Induktor

$$IL = \frac{V_1 x D}{R x (1-D)^2} = \frac{17 x 0.143}{14.4 x (1-0.143)^2} = 1.415$$

$$\Delta IL = \%IL \times IL = 1\% \times 1,415 = 1,415$$

$$L = \frac{(V_1 x D)}{\Delta IL x F} = \frac{17 x 0.413}{0.014 x 120K} = 0.004A$$

4. Menentukan nilai Kapasitor

$$\Delta v_o = \%v_o - v_o = 1\% \times -12 = -0.12$$

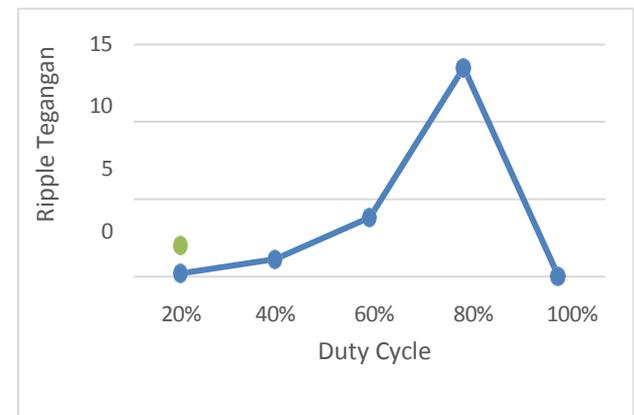
$$C = \frac{(V_0 x D)}{\Delta V_0 x D x F} = \frac{-12 x 0.413}{-12 x 14.4 x 120K} = 0.0000023F$$

B. Pengujian *Duty Cycle*

Pada tahap ini dilakukan pengujian dengan menaikkan dan menurunkan *Duty Cycle* secara berkala pada rangkain Buck Boost Converter. *Duty cycle* berfungsi sebagai proporsi waktu yang dimana komponen, perangkat, atau sistem yang dioperasikan. Tujuan pengujian *Duty Cycle* ini untuk mengetahui pengaruh terhadap rippel tegangan yang dihasilkan.

Tabel II  
Hasil pengujian *Duty Cycle*

<i>Duty Cycle</i> (%)	Vout	Vmax	Vmin	<i>Ripple</i> Tegangan
20%	-4.24	-4.13	-4.35	0.22
40%	-11.31	-10.75	-11.88	1.13
60%	-25.40	-23.51	-27.33	3.82
80%	-66.98	-60.60	-74.11	13.51
100%	-1.88	-1.86	-1.90	0.04



Gambar 5. Grafik pengaruh *Duty Cycle* terhadap *Ripple* tegangan

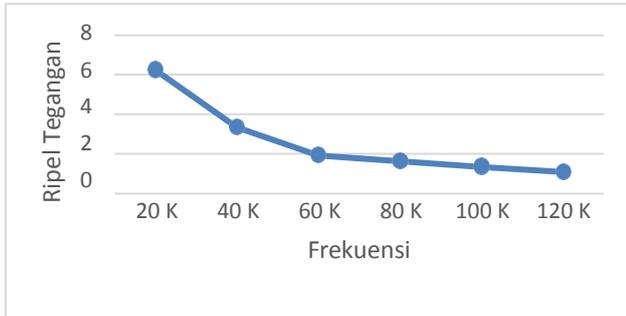
Pada Grafik diatas menunjukkan bahwa pada pengujian *Duty Cycle* dapat mempengaruhi *Ripple* dari tegangan keluaran yang dapat dilihat pada Gambar 4.2 sampai 4.6, yaitu semakin besar nilai *Duty Cycle* maka *Ripple* tegangannya semakin besar, namun dalam kondisi tertentu perubahan pada *Ripple* tegangan semakin kecil. Oleh karena itu untuk menentukan nilai *Duty Cycle* dapat dilihat dari nilai *Ripple* tegangan yang kecil agar lebih efisien dan sesuai dengan yang diinginkan.

C. Pengujian Frekuensi

Perhitungan Pada tahap ini sama seperti dengan pengujian *Duty Cycle*, Tahap ini dilakukan pengujian dengan menaikkan dan menurunkan frekuensi secara bertahap. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui frekuensi terhadap rippel tegangan.

Tabel III  
Hasil pengujian Frekuensi

Frekuensi (kHz)	Vout	Vmax	Vmin	Ripple Tegangan
20 kHz	-11.13	-7.66	-13.90	6.24
40 kHz	-11.27	-9.51	-12.85	3.34
60 kHz	-11.30	-10.18	-12.34	1.93
80 kHz	-11.31	-10.49	-12.11	1.62
100 kHz	-11.31	-10.62	-11.95	1.33
120 kHz	-11.31	-10.76	-11.85	1.09



Gambar 6. Grafik pengaruh frekuensi terhadap *Ripple* tegangan

Berdasarkan hasil data pengujian dapat dilihat pada Gambar 6. diatas bahwa perubahan frekuensi yang semakin besar menghasilkan *Ripple* tegangan keluaran yang semakin kecil, hal ini dapat menentukan nilai frekuensi yang optimal berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh adalah frekuensi yang kecil atau rendah.

## V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan tentang analisa pengaruh frekuensi dan *Duty Cycle* terhadap ripple tegangan pada *Buck-Boost Converter* dapat disimpulkan:

1. Pengujian *Buck Boost Converter* pada *software* PSIM dengan nilai tegangan input 17V dan nilai tegangan keluaran -12V hal ini dapat dibuktikan bahwa pengujian berjalan dengan baik
2. Pada pengujian *Duty Cycle*, dengan nilai 20% menghasilkan *Ripple* tegangan yang kecil yaitu sebesar 0,22 lalu dengan nilai 80% menghasilkan *Ripple* tegangan yang besar yaitu 13,51 hal ini dikarenakan pada *Duty Cycle* 20% sampai 80% tegangan keluaran dalam keadaan *Boost* sehingga *Ripple* tegangan yang dihasilkan besar. Namun Pada *Duty Cycle* 100% terjadi penurunan pada *Ripple* tegangan yaitu sebesar 0.04, karena pada kondisi *Duty Cycle* maksimal terjadi kondisi *Buck* sehingga terjadi penurunan pada *Ripple* tegangan. Dapat disimpulkan Nilai *Duty Cycle* mempengaruhi tegangan keluaran, semakin tinggi *Ripple* tegangan yang dihasilkan. Ini menunjukkan bahwa perubahan *Duty Cycle* berpengaruh signifikan terhadap besarnya *Ripple* tegangan, tapi dalam kondisi tertentu dapat merubah hasil dari *Ripple* tegangannya.
3. Pada pengujian Frekuensi, dengan nilai sebesar 20K menghasilkan *Ripple* tegangan yang tinggi yaitu sebesar 6.24, lalu dengan nilai 120K menghasilkan *Ripple* tegangan yang kecil yaitu sebesar 1.09. Perubahan frekuensi mempengaruhi *Ripple* tegangan, semakin

rendah frekuensi, semakin besar *Ripple* yang dihasilkan, dan semakin tinggi frekuensi, semakin kecil *Ripple* tegangan. Namun, perubahan frekuensi tidak mempengaruhi tegangan keluaran secara langsung, berbeda dengan perubahan *duty cycle* yang dapat mengubah tegangan keluaran.

## REFERENSI

- [1] [1]. Hendi Matalata, Leily W Johar.(2018). Analisa Buck Converter dan Boost Converter Pada Perubahan *Duty Cycle* PWM Dengan Membandingkan Frekuensi PWM 1,7 Khz dan 3,3 Khz. Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi Vol.18 No.1.
- [2] [2]. Fina Farhan, Bambang Sujanarko.(2020). Pengaruh Frekuensi dan *Duty Cycle* pada *Ripple* Tegangan Buck Converter. Dielektrika
- [3] – Department of Electrical Engineering University of Mataram 52 Vol. 9, No. 1,
- [4] February 2022, pp. 51-61.
- [5] [3]. Rika Nurul Huda, (2022). Desain dan Simulasi Non-Inverting Buck-Boost Converter. Jurnal MSI Transaction on Education ISSN: 2716 - 4713 (p) ISSN: 2721 – 4893.
- [6]
- [7]
- [8] [4]. Waesal Karni1, Nyoman Wahyu Satiawan, Ida Bagus Fery Citarsa. (2018). Rancang Bangun Buck-Boost Converter Sebagai Regulator Tegangan Keluaran Pada Panel Surya.
- [9] [5]. Waesal Karni1, Nyoman Wahyu Satiawan, Ida Bagus Fery Citarsa. (2018). Rancang Bangun Buck-Boost Converter Sebagai Regulator Tegangan Keluaran Pada Panel Surya.
- [10] [6]. Murhaban Hushaini, Hafidh Hasan, dan Mansur Gapy (2019). Stabilisasi Tegangan DC Menggunakan Boost Converter.
- [11] [7] Ali Basrah Pulungan, Sukardi2, Taslim Ramadhani. (2018). Buck Converter Sebagai Regulator Aliran Daya Pada Pengereman Regeneratif. Jurnal EECCIS Vol. 12, No. 2.
- [12] [8]. Fifi Hesty Sholihah1, Ketut Trisma Cadu Palguna2, Mochammad Fauzril Joelfansyah Athalla. (2021). Analisis Pemilihan Converter Daya DC-DC pada Pembangkit Listrik EBT. Jurnal ELKOLIND, VOL.04, N0. 3.
- [13] [9]. Roudlotul Jannah, Ari Murtono, Siswoko. (2017). Desain dan Analisis *Ripple* Tegangan dan Arus Luaran Peralatan Baterai Lead Acid.
- [14] [10]. Sheren Diusti Dwi Putri, Aswardi.(2020). Rancang Bangun Buck-Boost Converter menggunakan Kendali PID. JTEV (JURNAL TEKNIK ELEKTRO DAN VOKASIONAL) Volume 06 Number 02 2020 ISSN: 2302-3309.
- [15] Wibowo & A. Huda. (2024) Rancang Bangun Buck-Boost Converter Sebagai Charger Baterai Controller Berbasis PWM dengan Sumber Photovoltaic. Jurnal Elekrika Borneo Vol. 10 No. 1

# ANALISA EFISIENSI DAN TORSI MOTOR INDUKSI 3 FASA PADA POMPA BOOSTER AIR KARANG BALIK PDAM TIRTA ALAM KOTA TARAKAN

Linda Sartika<sup>1</sup>, Abdul Muis Prasetya<sup>2</sup>, Salmansyah<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

<sup>1</sup>salmansyah0123@gmail.com

<sup>2</sup>lindasartika75@gmail.com

<sup>3</sup>prasetya.electric@gmail.com

**Abstract**—Booster pump is a machine that will increase the pressure to distribute water with a wide range, called a booster pump because it functions as a booster pump or increases pressure. In this study, data collection and calculations were carried out from the data obtained. From the calculation results, the efficiency of the 3-phase induction motor will be analyzed as a booster pump driver in Karang Balik Tarakan, North Kalimantan. On the first day, the 3-phase induction motor 1 after the calculation was carried out, the input value was 4924 Watts, the output was 4922 Watts, the speed (Nr) was 2995.2 Rpm, the current was 8.6 Ampere, the torque was 15.70 Newton meters, the efficiency was 99%. On the second day, the 3-phase induction motor 2 after the calculation was carried out, the input value was 4995 Watts, the output was 4992 Watts, the speed (Nr) was 3000 Rpm, the current was 8.5 Ampere, the torque was 15.90 Newton meters, the efficiency was 99%. On the third day of the 3-phase 3 induction motor, after calculations were carried out, the input value was obtained as 3902 Watts, output 3900, speed (Nr) 2754 Rpm, current 7 Ampere, torque 13.53 Newton meters, efficiency 99%

**Keywords**— Booster Pump, Efficiency, 3 phase induction motor, PDAM.

**Intisari**—Pompa Booster merupakan mesin yang akan meningkatkan tekanan untuk mendistribusikan air dengan jangkauan yang luas, disebut pompa booster sebab berfungsi menjadi pompa pendorong atau menaikkan tekanan. Pada penelitian ini dilakukan pengumpulan data dan perhitungan dari data yang didapatkan. Dari hasil perhitungan akan dianalisa efisiensi motor induksi 3 fasa tersebut sebagai penggerak pompa Booster yang ada di Karang Balik Tarakan, Kalimantan Utara. Pada hari pertama motor 1 induksi 3 fasa setelah di lakukan perhitungan di dapatkan nilai dari  $P_{input}$  sebesar 4924 Watt,  $P_{output}$  4922 Watt, kecepatan (Nr) 2995,2 Rpm, arus 8,6 Ampere, torsi 15,70 Newton meter, efisiensi 99 %. Pada hari ke dua motor 2 induksi 3 fasa setelah di lakukan perhitungan di dapatkan nilai  $P_{input}$  sebesar 4995 Watt,  $P_{output}$  4992 Watt, kecepatan (Nr) 3000 Rpm, arus 8,5 Ampere, torsi 15,90 Newton meter, efisiensi 99 %. Pada hari ke tiga motor 3 induksi 3 fasa setelah di lakukan perhitungan di dapatkan nilai  $P_{input}$  sebesar 3902 Watt,  $P_{output}$  3900, kecepatan (Nr) 2754 Rpm, arus 7 Ampere, torsi 13,53 Newton meter, efisiensi 99 %.

**Kata Kunci** : Pompa Booster, Efisiensi, Motor induksi 3 fasa, PDAM.

## I. PENDAHULUAN

Distribusi air bersih yang merata merupakan kebutuhan fundamental bagi masyarakat modern, terlebih di wilayah urban dengan kepadatan penduduk tinggi. Permasalahan yang kerap terjadi adalah ketidakseimbangan tekanan air yang menyebabkan distribusi tidak optimal, terutama pada daerah yang berada di elevasi tinggi. Untuk mengatasi persoalan tersebut, banyak perusahaan daerah air minum (PDAM) mengimplementasikan sistem pompa booster, yakni pompa pendorong yang berfungsi meningkatkan tekanan air agar mampu menjangkau wilayah distribusi yang lebih luas [1].

Pompa booster umumnya digerakkan oleh motor listrik, dan jenis motor yang paling banyak digunakan adalah motor induksi tiga fasa. Motor ini dikenal memiliki keunggulan dari sisi teknis dan ekonomi, seperti konstruksi yang sederhana, ketahanan yang tinggi, serta efisiensi yang baik dalam mengubah energi listrik menjadi energi mekanik [2]. Dalam lingkungan industri, motor induksi tiga fasa tidak hanya menjadi tulang punggung sistem pompa, namun juga digunakan secara luas dalam mesin-mesin produksi karena kestabilan operasional dan kemudahan perawatan.

Efisiensi dari motor induksi tiga fasa menjadi salah satu indikator utama dalam menilai kinerja sistem distribusi air. Penelitian menunjukkan bahwa perubahan tegangan input dapat mempengaruhi efisiensi motor secara signifikan, terutama saat motor bekerja pada kondisi beban penuh [3]. Menurut Saputra [4], efisiensi motor AC tiga fasa dalam aplikasi sebagai penggerak pompa menunjukkan variasi yang cukup besar tergantung pada beban kerja dan kondisi kelistrikan.

Sementara itu, penelitian yang dilakukan oleh Prasetya [5] di lingkungan Universitas Borneo Tarakan menunjukkan bahwa pendekatan pengendalian berbasis scalar control pada motor induksi tiga fasa dapat mempertahankan efisiensi sistem meskipun terdapat fluktuasi beban. Selain itu, studi oleh Evalina et al. [6] menjaga kestabilan torsi dan memperpanjang umur operasional motor.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi dan torsi dari motor induksi tiga fasa yang digunakan sebagai penggerak pompa booster di PDAM Tirta Alam, Karang Balik, Kota Tarakan. Penelitian dilakukan dengan metode pengumpulan data lapangan dan perhitungan nilai

efisiensi serta torsi dari tiga motor berbeda yang diuji selama tiga hari berturut-turut. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan teknis bagi PDAM serta sebagai referensi pengembangan sistem distribusi air berbasis teknologi motor induksi yang efisien dan handal.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Motor Induksi

Motor induksi tiga fasa merupakan motor *Alternating Current* (AC) yang paling banyak di gunakan dan dapat di temui pada setiap industry rumah tangga di manapun. Berdasarkan namanya dari cara kerja motor tersebut adalah arus motor ini bukan di peroleh dari sumber tegangan, namun yaitu arus yang terinduksi sehingga terjadi adanya perbedaan relative antara putaran rotor dengan medan putar yang di hasilkan arus stator. Motor induksi tiga fasa memiliki kecepatan putar yang pada dasarnya adalah konstan. Tenaga gerak yang dihasilkan dari sebuah motor induksi di sebut torsi. Kecepatan yang di hasilkan putaran motor ini di tentukan oleh frekuensi, oleh karenanya untuk mengatur kecepatan pada motor tidak lah muda.

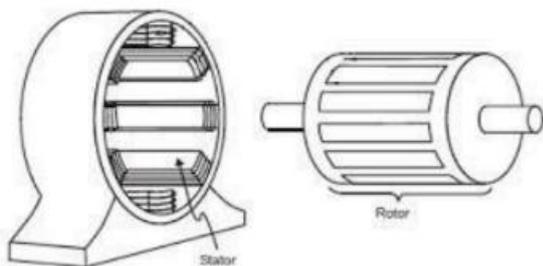
Terdapat beberapa keuntungan dari Induksi motor tiga fasa, yaitu bentuk yang sederhana, daya tahan kokoh, harganya terbilang murah, mudah pada melakukan perawatan, serta dapat di gunakan dengan karakteristik yang sinkron dengan kebutuhan industri [1].



Gambar 1. Motor induksi 3 fasa

### B. Konstruksi Motor Induksi 3 Fasa

Pada umumnya motor induksi terdiri dari rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang bergerak, sedangkan stator adalah yang diam. Diantara stator dan rotor terdapat celah udara yang jaraknya sangat kecil [3].



Gambar 2. Kontruksi motor induksi 3 fasa

### 1. Stator

Komponen utama dari motor listrik adalah stator. Karena komponen ini akan bekerja langsung dengan kinerja motor. Stator merupakan lilitan tembaga statis yang terletak mengelilingi poros utama. Fungsi dari stator untuk membangkitkan medan magnet pada di sekitar rotor. Tersusun dari lempengan besi yang di lilit dari tembaga. Tembaga ini di hubungkan dengan sumber arus. Sehingga ketika lilitan ini di aliri arus listrik, maka akan menyebabkan daya magnet di stator. Motor biasanya memiliki tiga butir kumparan stator [1].

### 2. Rotor

Rotor pada motor induksi tiga fasa terbagi dua jenis yaitu rotor sangkar (*wound squirrel cage rotor*) serta rotor belitan (*wound rotor*). Rotor sangkar terdiri dari susunan batang besi yang di bentangkan kepada slot-slot yang terdapat di bagian atas rotor serta tiap dari ujungnya di hubungkan singkat menggunakan cincin tembak. Rotor belitan terdiri dari lilitan-lilitan yang menyerupai lilitan asal statornya. Jumlah kutub antara kumparan stator dan kumparan di motor induksi rotor belitan artinya sama.

### C. Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa

Efisiensi motor induksi merupakan nilai sebagai ukuran efisiensi motor induksi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, yang telah diartikan sebagai rasio daya keluaran terhadap daya masukan. Definisi efisiensi energi NEMA adalah bahwa efisiensi adalah rasio atau rasio daya keluaran yang berguna terhadap daya masukan total, yang dinyatakan sebagai persentase. Untuk menghitung daya input pada motor induksi 3 fasa dapat menggunakan persamaan rumus, sebagai berikut :

$$P_{in} = \sqrt{3} VI \cos \phi \quad (1)$$

Untuk menghitung daya input pada motor induksi 3 fasa dapat menggunakan persamaan rumus, sebagai berikut :

$$P_{out} = \frac{T 2 \pi Nr}{60} \quad (2)$$

Efisiensi Motor Induksi :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100 \% \quad (3)$$

Untuk mencari kecepatan putar rotor ( $N_r$ ) dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$N_r = \frac{120 \cdot F}{P} \quad (4)$$

### D. Pompa Booster

Pompa Booster artinya mesin mendorong dengan tekanan udara yang sangat tinggi. Pompa Booster mampu di fungsikan dengan cairan atau gas, tapi detail bentuk konstruksinya akan beragam tergantung pada cairan yang di gunakan. Untuk memperkuat cairan dapat dengan menggunakan gas kompresor namun, umumnya mekanisme sederhana yang seringkali hanya memiliki satu tahap kompresi saja, serta di gunakan untuk menaikkan tekanan cairan yang berada di atas tekanan ambien. Disebut pompa *Booster* karena

fungsi utama menjadi pompa *Booster* atau meningkatkan tekanan. Aneka macam merek pompa dapat dirakit sebagai pompa *Booster*, pada umumnya jumlah pompa yang di gunakan dua atau lebih. Pompa *Booster* beroperasi secara otomatis dengan sensor tekanan air dan ada juga yang menggunakan penampungan air seperti bak air. Pompa *booster* yang menggunakan bak air juga memiliki sensor pada bak tersebut. Pompa dapat beroperasi secara *paralel* dan *alternate*.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Motor Induksi 3 Fasa Penggerak Pompa Booster

PDAM Tirta Alam karang balik Kota Tarakan memiliki pompa booster sebagai alat untuk memompakan air untuk memenuhi kebutuhan air bersih di kota Tarakan. Pada pompa booster terdapat motor induksi 3 fasa sebagai penggerak dari pompa booster tersebut.

Pada penelitian ini motor induksi 3 fasa sebagai penggerak pompa booster mejadi objek penelitian.

#### 1. Data Motor Induksi 3 Fasa

Tabel I  
Data nameplate Motor induksi 3 fasa

N0	Data nameplate motor induksi 3 fasa	
1	Daya output	4 KW
2	Tegangan	380 V
3	Arus	8,1 A
4	Kecepatan	2917 Rpm
5	Frekuensi	50 Hz
6	Cos $\phi$	0,92

Hasil pada Tabel I di dapatkan berdasarkan nameplate pada motor insudusi 3 fasa yang berapa di PDAM Tirta Alam karang balik kota Tarakan.

Tabel II  
Data hasil pengukuran motor induksi 3 fasa

No	Hari	Motor								
		Motor 1			Motor 2			Motor 3		
		F (Hz)	V (Volt)	I (A)	F (Hz)	V (Volt)	I (A)	F (Hz)	V (Volt)	I (A)
1	Pertama	49,92	380	86	4989	380	85	4989	380	84
2	Kedua	49,91	380	81	50	390	85	50	390	84
3	Ketiga	45,15	370	67	4565	370	69	4590	370	7

#### B. Analisa Perhitungan Motor Induksi 3 Fasa

##### 1. Perhitungan data pada nameplate motor induksi 3 fasa

a. Menghitung daya input :

$$P_{input} = \sqrt{3} VI \cos \phi$$

$$= \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 8,1 \cdot 0,92$$

$$= 4904 \text{ Watt} \approx 4,9 \text{ KW}$$

b. Menghitung nilai torsi :

$$T = \frac{P_{in}}{\frac{2 \pi N r}{60}} \quad (N_r = \frac{120 \cdot 50}{2} = 3000 \text{ Rpm})$$

$$= \frac{4904}{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3000}{60}}$$

$$= 15,61 \text{ Nm}$$

c. Menghitung daya output :

$$P_{out} = \frac{T 2 \pi N r}{60}$$

Nilai daya output di dapatkan pada nameplate sebesar 4 KW

d. Menghitung nilai efisiensi :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100 \%$$

$$= \frac{4000}{4904} 100 \%$$

$$= 81,5 \%$$

Tabel III

Hasil perhitungan daya, arus, torsi dan efisiensi motor induksi 3 fasa Berdasarkan name plate.

No	Data Motor	P <sub>Input</sub>	P <sub>Output</sub>	N <sub>r</sub> (RPM)	Arus (A)	Torsi (Nm)	Efisiensi (%)	Cos ( $\theta$ )	Frekuensi (Hz)
1	Name plate	4904	4000	3000	8,1	15,61	81,5	0,92	50

##### 2. Perhitungan motor 1 induksi 3 fasa berdasarkan data hasil pengukuran hari pertama :

a. Menghitung daya input :

$$P_{input} = \sqrt{3} VI \cos \phi$$

$$= \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 8,6 \cdot 0,87$$

$$= 4924 \text{ Watt} \approx 4,924 \text{ KW}$$

b. Menghitung nilai torsi :

$$T = \frac{P_{in}}{\frac{2 \pi N r}{60}} \quad (N_r = \frac{120 \cdot 49,92}{2} = 2995,2 \text{ Rpm})$$

$$= \frac{4924}{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2995,2}{60}}$$

$$= 15,70 \text{ Nm}$$

c. Menghitung daya output :

$$P_{out} = \frac{T 2 \pi N r}{60}$$

$$= \frac{15,70 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 2995,2}{60}$$

$$= 4922 \text{ Watt} \approx 4,92 \text{ KW}$$

d. Menghitung nilai efisiensi :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100 \%$$

$$= \frac{4922}{4924} 100 \%$$

$$= 99 \%$$

Tabel IV  
Hasil perhitungan daya, arus, torsi dan efisiensi motor 1 induksi 3 fasa hari pertama.

No	Data Motor	P <sub>Input</sub>	P <sub>Output</sub>	N <sub>r</sub> (RPM)	Arus (A)	Torsi (Nm)	Efisiensi (%)	Cos (θ)	Frekuensi (Hz)
1	Motor 1	4924	4922	2995,2	8,6	15,70	99	0,87	49,92

Pada Tabel IV merupakan hasil perhitungan dari pengujian motor 1 hari pertama dan di dapatkan nilai efisiensi yang di hasilkan 99 %.

Tabel V  
Hasil perhitungan daya, arus, torsi dan efisiensi motor 2 induksi 3 fasa hari ke dua.

No	Data Motor	P <sub>Input</sub>	P <sub>Output</sub>	N <sub>r</sub> (RPM)	Arus (A)	Torsi (Nm)	Efisiensi (%)	Cos (θ)	Frekuensi (Hz)
1	Motor 2	4995	4992	3000	8,5	15,90	99	0,87	50

Pada Tabel V merupakan hasil perhitungan dari pengujian motor 2 hari ke dua dan di dapatkan nilai efisiensi yang di hasilkan 99 %.

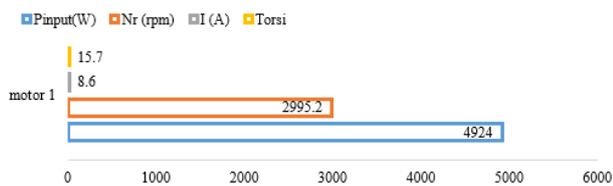
Tabel VI  
Hasil perhitungan daya, arus, torsi dan efisiensi motor 3 induksi 3 fasa hari ke tiga.

No	Data Motor	P <sub>Input</sub>	P <sub>Output</sub>	N <sub>r</sub> (RPM)	Arus (A)	Torsi (Nm)	Efisiensi (%)	Cos (θ)	Frekuensi (Hz)
1	Motor 3	3902	3900	2754	7	13,53	99	0,87	45,9

Pada Tabel VI merupakan hasil perhitungan dari pengujian motor 3 hari ke tiga dan di dapatkan nilai efisiensi yang di hasilkan 99 %.

### C. Grafik hasil perbandingan motor induksi 3 fasa

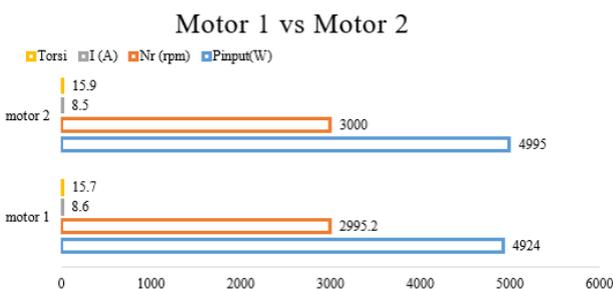
#### 1. Grafik data perhitungan motor 1 hari pertama



Gambar 3. Grafik perhitungan motor 1 hari pertama

Pada Gambar 3 merupakan grafik hasil perhitungan motor 1 pada hari pertama, daya input pada motor 1 lebih besar di bandingkan daya input pada perhitungan menggunakan data dari nameplate. Kecepatan motor 1 juga mengalami penurunan dan arus yang di hasilkan motor 1 lebih besar, untuk nilai torsi yang di hasilkan motor 1 lebih besar di bandingkan torsi pada nameplate, karena kecepatan berbanding terbalik dengan torsi.

#### 2. Grafik Motor 1 dan Motor 2



Gambar 4. Grafik motor 1 vs motor 2

Hasil perhitungan efisiensi yang di dapatkan dari pengujian 3 motor berbeda yang di teliti dalam masing-

masing hari berbeda didapatkan nilai efisiensi yang di dapatkan rata-rata 99 %, yang berarti dari ketiga motor tersebut bisa di katakan sangat baik. Hasil pengujian motor memenuhi tujuan penelitian yang membahas tentang nilai efisiensi dari motor yang bekerja dalam 1 harinya.

## IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang di dapatkan dari perhitungan dan grafik perbandingan dapat di tarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada hari pertama motor 1 induksi 3 fasa setelah di lakukan perhitungan di dapatkan nilai dari Pinput sebesar 4924 Watt, Poutput 4922 Watt, kecepatan (Nr) 2995,2 Rpm, arus 8,6 Ampere, torsi 15,70 Newton meter, efisiensi 99 %.
2. Pada hari ke dua motor 2 induksi 3 fasa setelah di lakukan perhitungan di dapatkan nilai Pinput sebesar 4995 Watt, Poutput 4992 Watt, kecepatan (Nr) 3000 Rpm, arus 8,5 Ampere, torsi 15,90 Newton meter, efisiensi 99 %.
3. Pada hari ke tiga motor 3 induksi 3 fasa setelah di lakukan perhitungan di dapatkan nilai Pinput sebesar 3902 Watt, Poutput 3900, kecepatan (Nr) 2754 Rpm, arus 7 Ampere, torsi 13,53 Newton meter, efisiensi 99 %.
4. Pada ketiga motor yang di teliti memiliki nilai efisiensi yang sangat baik yaitu 99 %, di mana nilai efisiensi yang baik dapat memperngaruhi kinerja motor pada pompa booster, sehingga bisa mendorong air agar terdistribusikan pada warga. Faktor lain yang mempengaruhi nilai efisiensi juga dari perawatan yang di lakukan secara berkala oleh tim perawatan.
5. Hasil daya input, kecepatan, arus dan torsi pada motor 1 lebih kecil di bandingkan pada motor 2, sedangkan

pada motor 1 daya input , kecepatan arus, dan torsi lebih besar di bandingkan pada motor 3, dan hasil daya input, kecepatan, arus, dan torsi motor 2 lebih besar di bandingkan motor 3. Faktor yang mempengaruhi hasil pengukuran pada motor 1, motor 2, dan motor 3 adalah kinerja motor pada pompa booster dalam mendorong air dalam per hari, Karena air yang di salurkan per harinya tidaknya lah sama.

### REFERENSI

- [1] A. Saputra, “Analisa Efisiensi Penggunaan Motor AC 3 Fasa Sebagai Penggerak Pompa,” Jurnal Elektriika Borneo (JEB), vol. x, no. x, pp. x–x, 2016.
- [2] K. A. Pratama, et al., “Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Akibat Perubahan Tegangan,” SainETIn, vol. 5, no. 1, 2020.
- [3] S. Salmansyah, L. Sartika, A. M. Prasetia, “Analisa Efisiensi dan Torsi Motor Induksi 3 Fasa pada Pompa Booster Air Karang Balik PDAM Tirta Alam Kota Tarakan,” Jurnal Elektriika Borneo (JEB), vol. x, no. x, pp. x–x.
- [4] N. Evalina, et al., “Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Programmable Logic Controller,” Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, 2016.
- [5] A. Saputra, “Analisa Efisiensi Motor AC 3 Fasa,” Jurnal Elektriika Borneo (JEB), vol. x, no. x, 2016.
- [6] A. M. Prasetia, “Implementation of Scalar Control Method for 3 Phase Induction Motor Speed Control,” Universitas Borneo Tarakan, 2018.
- [7] N. Evalina, et al., “Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa,” Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, 2016.

# KOREKTOR FAKTOR DAYA OTOMATIS PADA LISTRIK RUMAH TANGGA MENGGUNAKAN KOMBINASI KAPASITOR SECARA SERI PARALEL

Linda Sartika<sup>1</sup>, Abdul Muis Prasetya<sup>2</sup>, Sugeng Riyanto<sup>3</sup>, Muhammad Aswan<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

<sup>1</sup>prasetia.electric@gmail.com

<sup>2</sup>sugeng072.sr@gmail.com

<sup>3</sup>lindasartika75@gmail.com

<sup>4</sup>muhammadaswan645@borneo.ac.id

**Abstract**—The increasing electricity consumption in households is often not accompanied by efficient power usage, mainly due to low power factor caused by inductive loads. This study aims to design and implement an Automatic Power Factor Corrector (APFC) system for household electrical installations using a combination of capacitors arranged in series and parallel. The system utilizes a PZEM-004T sensor to monitor electrical parameters such as current, voltage, and power factor, which are then processed by a microcontroller to automatically activate the appropriate capacitor configuration. Test results show that the average power factor increased from 0.85 to 0.89 after the system was activated. However, under certain conditions involving predominantly capacitive loads, the system was less effective in performing corrections, as indicated by a drop in the power factor from 0.77 to 0.47. These findings suggest that the APFC system works optimally for inductive loads but is ineffective for loads with a leading power factor. This study offers a practical solution for improving the efficiency of household electricity consumption automatically..

**Keywords**—Power Factor, Monitoring, Reactive Power, Capacitor

**Intisari**—Peningkatan konsumsi energi listrik pada rumah tangga sering kali tidak disertai dengan efisiensi penggunaan daya, terutama akibat rendahnya faktor daya yang disebabkan oleh beban induktif. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem korektor faktor daya otomatis (Automatic Power Factor Corrector/APFC) pada instalasi listrik rumah tangga menggunakan kombinasi kapasitor yang disusun secara seri dan paralel. Sistem ini menggunakan sensor PZEM-004T untuk memantau parameter kelistrikan seperti arus, tegangan, dan faktor daya, yang kemudian diproses oleh mikrokontroler untuk mengatur aktivasi kapasitor secara otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata faktor daya meningkat dari 0,85 menjadi 0,89 setelah sistem diaktifkan. Namun, pada kondisi tertentu dengan beban dominan kapasitif, sistem kurang efektif dalam melakukan koreksi, ditunjukkan oleh penurunan faktor daya dari 0,77 menjadi 0,47. Temuan ini menunjukkan bahwa sistem APFC bekerja optimal pada beban induktif, namun tidak efektif untuk beban dengan karakteristik leading. Penelitian ini dapat menjadi solusi praktis untuk meningkatkan efisiensi konsumsi energi listrik rumah tangga secara otomatis..

**Kata Kunci**—Faktor Daya, Monitoring, Daya Reaktif, Kapasitor

## I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi listrik dalam kehidupan sehari-hari terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan gaya hidup masyarakat modern. Di lingkungan rumah tangga, berbagai perangkat listrik seperti lampu, kipas angin, mesin parut kelapa, bor listrik, dan peralatan lainnya telah menjadi kebutuhan pokok yang tidak dapat dipisahkan dari aktivitas sehari-hari. Namun demikian, peningkatan penggunaan perangkat listrik ini seringkali tidak diiringi dengan efisiensi penggunaan daya yang optimal. Salah satu penyebab utamanya adalah rendahnya faktor daya pada sistem kelistrikan rumah tangga, yang dapat menyebabkan pemborosan energi dan meningkatnya biaya tagihan listrik [1].

Faktor daya (power factor) adalah rasio antara daya aktif (real power) terhadap daya semu (apparent power), yang menjadi indikator seberapa efisien energi listrik dimanfaatkan dalam sistem. Faktor daya yang rendah menunjukkan bahwa sebagian besar daya yang disuplai ke beban tidak digunakan secara efektif karena terserap dalam bentuk daya reaktif. Kondisi ini sering terjadi pada peralatan yang bersifat induktif, seperti motor listrik dan transformator, yang memerlukan daya reaktif untuk menciptakan medan magnet [2][3].

Dalam sistem kelistrikan rumah tangga, beban-beban seperti lampu pijar, kipas angin, pompa air, dan peralatan dengan motor induksi lainnya berkontribusi besar terhadap rendahnya faktor daya [3]. Untuk mengatasi hal tersebut, salah satu solusi yang umum digunakan adalah penerapan korektor faktor daya atau power factor corrector (PFC) yang dapat menetralkan daya reaktif, umumnya dengan menggunakan kapasitor [4]. Dengan mengompensasi daya reaktif, kapasitor dapat membantu meningkatkan nilai faktor daya, sehingga daya aktif dapat digunakan lebih efisien dan kerugian energi dapat diminimalkan.

Seiring perkembangan teknologi, muncul pendekatan baru dalam bentuk korektor faktor daya otomatis (Automatic Power Factor Corrector/APFC) yang bekerja secara dinamis. Sistem ini dapat secara otomatis mendeteksi nilai faktor daya dan mengatur konfigurasi kapasitor yang sesuai (secara seri dan paralel) untuk menyesuaikan kondisi beban secara real-time. Sistem

semacam ini menawarkan efisiensi lebih baik dibanding metode manual karena mampu merespons fluktuasi beban secara langsung [6].

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hartono dkk. (2014), sistem perbaikan faktor daya berbasis mikrokontroler yang mengatur switching kapasitor dan induktor secara otomatis terbukti mampu meningkatkan faktor daya dari 0,47 menjadi 1,00 [1]. Begitu pula dalam penelitian oleh Noor dan Saputera (2014), penggunaan kapasitor bank pasif dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi sistem tenaga listrik rumah tangga [2].

Melanjutkan penelitian-penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem korektor faktor daya otomatis untuk instalasi listrik rumah tangga dengan menggunakan kombinasi kapasitor secara seri dan paralel. Sistem ini dikendalikan oleh mikrokontroler yang menerima data dari sensor tegangan dan arus (PZEM-004T) untuk menentukan kebutuhan kompensasi daya reaktif. Hasil awal menunjukkan bahwa sistem mampu meningkatkan rata-rata faktor daya dari 0,85 menjadi 0,89, serta menunjukkan efektivitas dalam menangani variasi beban induktif maupun kapasitif.

## II. KAJIAN PUSTAKA

Dalam penelitian Hartono dkk. pada tahun 2014 membahas tentang perbaikan faktor daya pada beban rumah tangga menggunakan kapasitor dan induktor. Beban jenis kapasitif dihasilkan oleh kapasitor itu sendiri. Sebagai solusi digunakan kompensator daya reaktif berupa komponen kapasitor dengan 14 variasi nilai kapasitansi dan komponen induktor dengan 4 variasi nilai induktansi yang terhubung paralel dengan sistem. Mikrokontroler AT Mega16 digunakan sebagai prosesor dalam mengontrol relay yang terletak pada rangkaian kapasitor dan induktor. Didapatkan sebuah alat perbaikan faktor daya rumah tangga secara otomatis dengan koreksi faktor daya tertinggi 1 dari faktor daya awal 0,47, dan koreksi faktor daya terkecil 0,93 dari faktor daya awal 0,81 [6].

Dalam penelitian Noor dan Saputera pada tahun 2014, berbagai solusi teknis untuk koreksi faktor daya dalam jaringan listrik residensial dibahas. Salah satu solusi yang disebutkan adalah penggunaan peralatan koreksi faktor daya pasif seperti kapasitor bank. Koreksi faktor daya pasif dapat membantu mengurangi kerugian daya dan meningkatkan efisiensi penggunaan energi [7].

Berdasarkan penelitian sebelumnya dapat disimpulkan bahwa kapasitor dapat digunakan untuk mengontrol beban listrik di rumah tangga secara efisien. Selain itu, koreksi faktor daya dapat membantu meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik pada rumah tangga. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, akan dikembangkan Sistem optimasi faktor daya pada beban listrik rumah tangga yang lebih bervariasi.

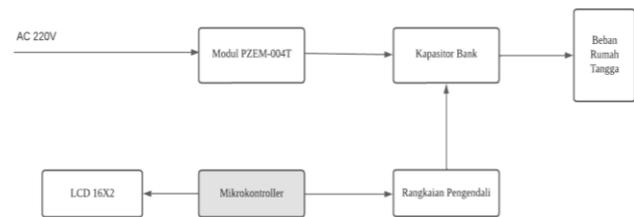
Penelitian ini mengusulkan penggunaan korektor faktor daya otomatis, yang berarti sistem tersebut mampu secara otomatis mendeteksi faktor daya yang buruk dan menyesuaikan penggunaan kapasitor secara seri dan paralel untuk memperbaikinya. Sistem otomatis ini memberikan kemudahan dalam pengoperasian dan

meminimalkan intervensi manusia dalam pemeliharaan dan pengaturan faktor daya.

## III. METODE PENELITIAN

### A. Blog Diagram Sistem

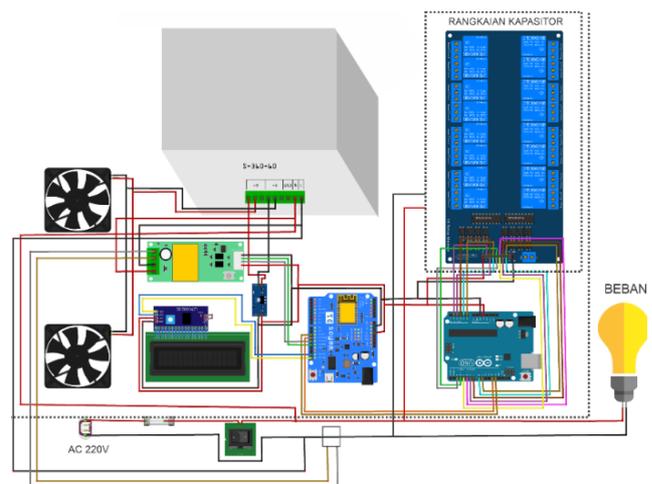
Pada penelitian ini menggunakan Modul PZEM-004T sebagai sensor untuk mengukur arus, tegangan, faktor daya, daya, dan energi sebagai input data. Data yang diperoleh dari sensor diolah oleh mikrokontroler dan dikirimkan sebagai variabel-variabel input untuk diproses sesuai dengan program yang telah dimasukkan ke dalam mikrokontroler. Setelah data diolah, mikrokontroler memberikan perintah pada rangkaian pengendali yang terdiri dari relay-relay untuk mengaktifkan kapasitor-kapasitor dan memberikan beban induktif sesuai dengan kebutuhan daya reaktif pada beban.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

### B. Skema Rangkaian Sistem

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa pada penelitian ini menggunakan Modul PZEM-004T sebagai sensor arus, tegangan, faktor daya, daya dan energi sebagai input data yang kemudian diproses oleh mikrokontroler data yang didapatkan dari sensor. Input yang dikirimkan berupa variable-variabel yang kemudian datanya diolah serta diproses sesuai dengan program yang dimasukkan pada mikrokontroler. Sesudah mikrokontroler mengolah data, data-data kemudian dikirimkan pada rangkaian pengendali dan tampilan aplikasi.



Gambar 2. Skema Rangkaian Sistem

Pada rangkaian pengendali akan aktif apabila terjadi jatuhnya faktor daya dibawah 0,95. Rangkaian pengendali ini berisi 13 relay yang dirangkai dengan 5 buah kapasitor bernilai 20uF. Terdapat 24 variasi di dalam rangkaian pengendali, yang dimana setiap variasinya akan berubah ketika faktor daya dibawah 0,85.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Pengujian Sensor Tegangan dan Arus

Dalam pengujian ini, tujuannya adalah untuk mengidentifikasi perbedaan antara hasil pengukuran dari alat ukur dengan sensor PZEM-004T. Selanjutnya, sensor PZEM-004T akan dikalibrasi untuk mengurangi nilai kesalahan (error) dan meningkatkan akurasi sehingga mendekati tingkat akurasi alat ukur.

Tabel I  
Hasil Pengujian Sensor Tegangan

No.	Tegangan (V)		error %
	Multimeter	PZEM-004T	
1	180.50	180.50	0
2	188.10	188.10	0
3	192.30	192.30	0
4	196.10	196.10	0
5	200.30	200.30	0
6	204.10	204.10	0
7	208.70	208.40	0.14
8	212.20	212.96	0.35
9	214.50	214.20	0.14
10	216.50	216.30	0.09
11	220.70	220.43	0.12
12	224.80	224.41	0.17
	Rata-rata		0.084

Pada Tabel I dapat dilihat bahwa nilai rata-rata error pada pengukuran PZEM-004T dalam membaca tegangan adalah sebesar 0.084%.

Tabel II  
Hasil Pengujian Sensor Arus

No.	Arus (A)		error %
	Tang Ampere	PZEM-004T	
1	0.30	0.35	3.33
2	0.40	0.42	5
3	0.50	0.51	2
4	0.60	0.60	0
5	0.68	0.70	2.85
6	0.77	0.80	3.75
7	0.90	0.90	0
8	1.00	1.00	0
9	1.08	1.10	1.81
10	1.20	1.20	0
11	1.30	1.30	0
12	1.40	1.40	0

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa nilai rata-rata error pada pengukuran PZEM-004T dalam membaca arus adalah sebesar 1.56%.

##### B. Pengujian Varian Kapasitor

Pada pengujian ini dilakukan untuk memastikan hasil nilai variasi kapasitor pada Tabel 3.

Tabel III  
Hasil Pengujian Variasi Kapasitor

No.	Kapasitor ( $\mu\text{F}$ )	
	Pengukuran	Perhitungan
1	3.994	4
2	4.989	5
3	6.644	6.67
4	7.487	7.5
5	7.992	8
6	8.568	8.57
7	10.01	10
8	12.05	12
9	13.38	13.3
10	15.09	15
11	16.11	16
12	20.18	20
13	26.85	26.67
14	28.16	28
15	30.13	30
16	32.14	32
17	33.48	33.3
18	40.11	40
19	46.79	46.67
20	50.12	50
21	59.99	60
22	70.06	70
23	80.13	80
24	100.2	100

##### C. Pengujian Alat Perbaikan Faktor Daya

Dengan menggunakan 4 beban seperti pada Tabel 4 dilakukan beberapa percobaan yang dilakukan agar menghasilkan output yang bervariasi serta dapat menghasilkan faktor daya yang berbeda beda dalam setiap percobaan. Variasi beban dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel IV  
Beban Yang Digunakan

No.	Nama Beban	Merek	Output
1	Kipas Angin Tornado	MIYAKO	50 W
2	Mesin Parut Kelapa	HJS HJ-200A	200 W
3	Gurinda	MAKTEC MT90	540 W
4	Bor Listrik	J.LD TOOLS J10-3	380 W

Tabel V  
Kombinasi Pembebanan

No.	Variasi Beban
1	Kipas Angin Tornado I
2	Kipas Angin Tornado II
3	Kipas Angin Tornado III
4	Mesin Parut Kelapa
5	Mesin Parut Kelapa + Kipas Angin Tornado II
6	Gurinda
7	Gurinda + Mesin Parut Kelapa
8	Bor Listrik
9	Bor Listrik + Gurinda
10	Kipas Angin Tornado I + Gurinda
11	Kipas Angin Tornado II + Bor listrik
12	Kipas Angin Tornado III + Mesin Parut Kelapa + Gurinda
13	Kipas Angin Tornado III + Mesin Parut Kelapa + Gurinda + Bor listrik

Tabel VI  
Hasil Pengujian Pembebanan Tanpa Mengaktifkan Kapasitor

Pengujian Ke-	V (V)	I (A)	P (W)	S (VA)	Q (VAR)	Cos $\phi$
1	199,00	0,24	24,19	49,75	32,90	0,75
2	198,30	0,25	38,43	49,57	31,62	0,77
3	196,30	0,25	38,76	49,07	30,08	0,79
4	196,60	0,51	95,10	99,89	31,19	0,95
5	190,30	0,69	112,10	131,30	48,24	0,93
6	195,60	3,32	519,51	649,39	389,54	0,80
7	192,00	3,50	608,8	672	292,89	0,90
8	194,80	1,17	193,72	227,91	120,03	0,85
9	193,70	5,87	886,86	1137,01	711,37	0,78
10	192,30	3,23	546,58	621,12	294,94	0,88
11	192,10	2,53	403,38	486,01	271,06	0,83
12	188,39	3,56	643,83	670,66	187,78	0,96
13	187,89	5,54	1020,09	1040,91	206,98	0,98
	Rata-rata					0,85

Pada Tabel VI dapat dilihat hasil pengujian tanpa menggunakan alat perbaikan faktor daya, Tegangan (V) berkisar antara 187,89 V hingga 198,30 V Ini

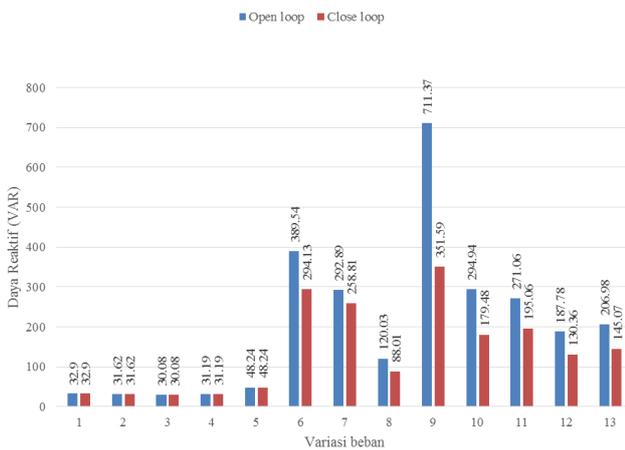
menunjukkan variasi tegangan dalam pengujian, tetapi perbedaannya tidak terlalu besar. Arus (I) berkisar antara 0,24 A hingga 5,87 A Terdapat variasi arus yang signifikan selama pengujian alat. Daya Aktif (P) berkisar antara 24,19 W hingga 1020,09 W Terlihat variasi yang signifikan dalam daya aktif yang dikonsumsi oleh alat perbaikan faktor daya. Daya Semu (S) berkisar antara 49,07 VA hingga 1137,01 VA Daya semu mencerminkan total daya yang digunakan dalam alat perbaikan faktor daya. Daya Reaktif (Q) berkisar antara 31,19 VAR hingga 389,54 VAR Daya reaktif adalah komponen dari daya semu yang tidak diubah menjadi daya aktif dan biasanya terkait dengan peralatan induktif. Faktor Daya (Cos  $\phi$ ) berkisar antara 0,75 hingga 0,98 Faktor daya yang rendah menunjukkan adanya komponen daya reaktif yang signifikan dalam alat perbaikan faktor daya.

Tabel VII  
Hasil Pengujian Pembebanan Dengan Mengaktifkan Kapasitor Secara Otomatis

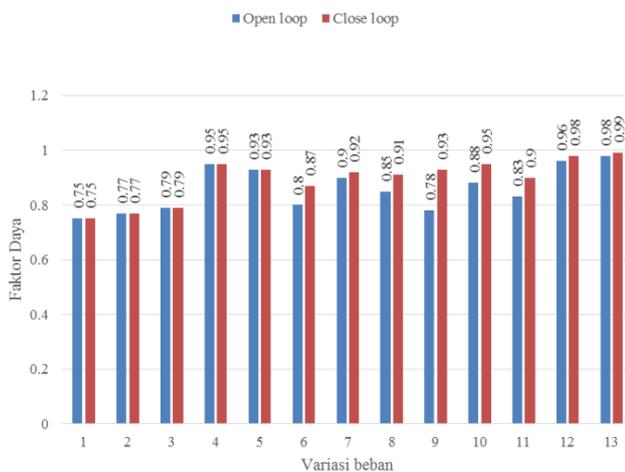
Pengujian Ke-	V (V)	I (A)	P (W)	S (VA)	Q (VAR)	Cos $\phi$
1	199,00	0,24	24,19	49,75	32,90	0,75
2	198,30	0,25	38,43	49,57	31,62	0,77
3	196,30	0,25	38,76	49,07	30,08	0,79
4	196,60	0,51	95,10	99,89	31,19	0,95
5	190,30	0,69	112,10	131,30	48,24	0,93
6	195,60	3,05	519,51	596,58	294,13	0,87
7	192,00	3,44	608,8	660,48	258,81	0,92
8	194,80	1,09	193,72	212,33	88,01	0,91
9	193,70	4,92	886,86	953,00	351,59	0,93
10	192,30	2,99	546,58	574,97	179,48	0,95
11	192,10	2,33	403,38	447,54	195,06	0,90
12	188,39	3,48	643,83	655,59	130,36	0,98
13	187,89	5,48	1020,09	1029,63	145,07	0,99
	Rata-rata					0,89

Pada Tabel VII dapat dilihat hasil pengujian dengan menggunakan alat perbaikan faktor daya, Tegangan (V) berkisar antara 187,89 V hingga 199,00 V ini menunjukkan variasi tegangan dalam pengujian, tetapi perbedaannya tidak terlalu besar. Arus (I) berkisar antara 0,24 A hingga 5,48 A Terdapat variasi arus yang signifikan selama pengujian, dengan nilai maksimum yang jauh lebih tinggi dari nilai minimum. Daya Aktif (P)

berkisar antara 24.19 W hingga 1020.09 W, Terlihat variasi yang sangat besar dalam daya aktif yang dikonsumsi oleh sistem dengan nilai maksimum yang jauh lebih tinggi dari nilai minimum. Daya Semu (S) berkisar antara 49.07 VA hingga 1029.63 VA, Daya semu mencerminkan total daya yang digunakan dalam sistem dan variasi yang signifikan menunjukkan fluktuasi beban yang besar dalam sistem. Daya reaktif (Q) berkisar antara 30.08 VAR hingga 351.59 VAR, Daya reaktif adalah komponen dari daya semu yang tidak diubah menjadi daya aktif dan biasanya terkait dengan peralatan induktif. Terlihat variasi yang signifikan dalam daya reaktif. Faktor Daya ( $\cos \phi$ ) berkisar antara 0.75 hingga 0.99 Faktor daya yang rendah, seperti yang terlihat pada beberapa titik menunjukkan adanya komponen daya reaktif yang signifikan dalam sistem. Penting untuk dipahami dalam mengukur perbaikan faktor daya untuk efisiensi penggunaan energi listrik pada rumah tangga. Variasi besar dalam arus, daya aktif, daya semu, dan daya reaktif dapat mengindikasikan fluktuasi beban yang signifikan dalam sistem. Rata-rata faktor daya adalah 0.89 yang menunjukkan bahwa dalam kondisi umum, sistem memiliki faktor daya yang cukup baik.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Daya Reaktif Beban Sebelum dan Sesudah Pengaktifan Variasi Kapasitor Secara Otomatis



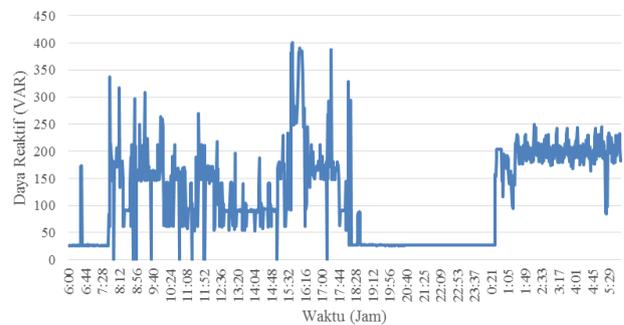
Gambar 4. Grafik Perbandingan Faktor Daya Beban Sebelum dan Sesudah Pengaktifan Variasi Kapasitor Secara Otomatis

Dapat dilihat pada Gambar 3, terlihat bahwa perbedaan dalam daya reaktif sangat nyata setelah perbaikan faktor daya. APFD efektif dalam mengkompensasi daya reaktif. Pada variasi pembebanan 1 hingga 5, terlihat bahwa daya reaktif yang diperlukan untuk mengaktifkan kapasitor tidak dapat terpenuhi dengan variasi kapasitor yang tersedia, bahkan dengan variasi terendah, yaitu variasi 1 atau dengan nilai kapasitansi  $4\mu\text{F}$ .

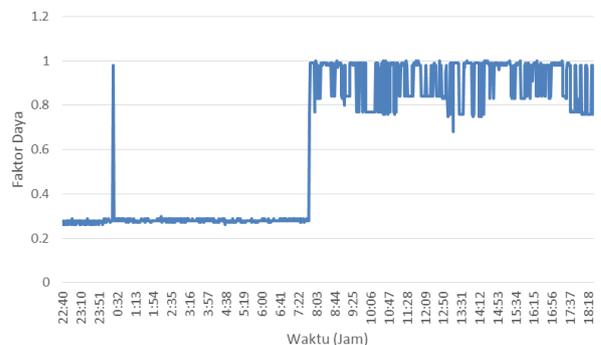
Pada Gambar 4 terlihat bahwa APFD mampu meningkatkan faktor daya berdasarkan perhitungan daya reaktif yang dilakukan selama pengujian APFD. Faktor daya tertinggi terjadi pada variasi pembebanan ke-13 dengan beban gabungan yaitu Kipas angin tornado III + Mesin parut kelapa + Gurinda + Bor listrik, dengan faktor daya sebelum sebesar 0.98 meningkat menjadi 0.99.

#### D. Pengujian Perbaikan Pada Beban Listrik Rumah Tangga Tanpa Variasi Kapasitor

Dalam pengujian ini, peneliti menjalankannya dengan menghubungkan APFD secara tanpa variasi kapasitor dengan sistem kelistrikan di rumah tangga. Dalam pengaturan ini dapat mengukur beban jenis kapasitif, induktif, dan resistif yang tercampur. Selanjutnya, kami melaksanakan pengujian untuk mengevaluasi sejauh mana efektivitas penggunaan daya reaktif setelah pemasangan APFD. Pengujian pertama kami terbatas pada pemantauan konsumsi daya di rumah tangga tanpa melakukan perbaikan faktor daya, yaitu dengan menggunakan variasi 0 atau setara dengan  $0\mu\text{F}$ . Pengujian dan pemasangan alat dilakukan dari pukul 06.00 hingga 05:30, mencerminkan penggunaan beban pada rumah tangga dalam periode waktu tersebut.



Gambar 5. Grafik Pemantauan Daya Reaktif Beban Terhadap Waktu



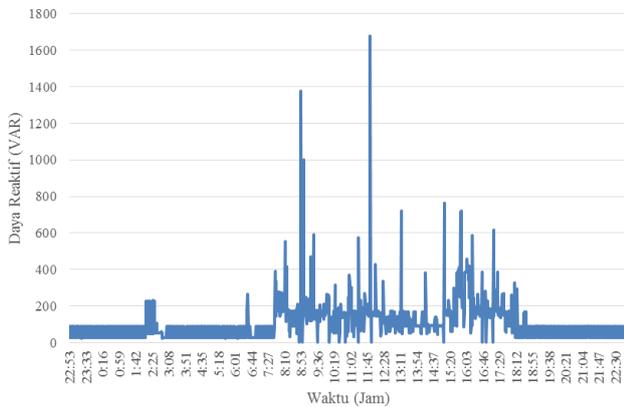
Gambar 6. Grafik Pemantauan Faktor Daya Beban Terhadap Waktu

Pada Gambar 5 dapat terlihat bahwa daya reaktif akan selalu mengikuti pembebanan yang terjadi, tidak peduli jenis pembebanan itu resistif, kapasitif, atau induktif. Gambar 5 juga memperlihatkan bahwa aktivitas pembebanan terjadi sepanjang waktu. Pada pukul 6.00 hingga sekitar pukul 18.30 daya reaktif tetap stabil, berkisar sekitar 25 VAR. Namun, setelah pukul 19.20 hingga pukul 23.31 tidak terjadi pembebanan dan pada saat pukul 00.21 hingga pukul 05.21 kembali terjadi pembebanan sekitar pukul 15.10.

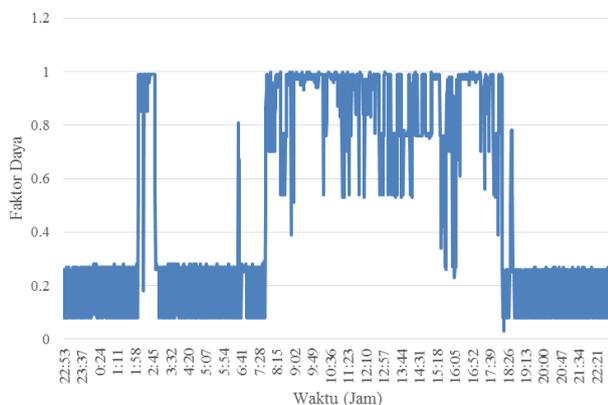
Pada Gambar 6 diketahui bahwa faktor daya akan selalu berubah-ubah setiap waktu yang diakibatkan oleh jenis pembebanan yang bervariasi. Faktor daya kembali stabil pada saat pembebanan aktif yang dilakukan pada siang hari, kemudian pada malam hari faktor daya menjadi rendah, hal ini diakibatkan oleh jenis beban dengan faktor daya rendah.

#### E. Pengujian Perbaikan Pada Beban Listrik Rumah Tangga Dengan Variasi Kapasitor

Dalam pengujian ini, peneliti menjalankannya dengan menghubungkan APFD secara dengan variasi kapasitor sistem kelistrikan di rumah tangga. dilakukan pemantauan serta variasi pada kapasitor digunakan untuk menentukan apakah faktor daya pada saat tersebut berada dalam kondisi faktor daya lagging atau leading. Pemantauan ini dilakukan dengan mengamati apakah terjadi perubahan saat variasi kapasitor ditingkatkan. Penelitian dilakukan pada waktu 22:53 hingga 22:30.



Gambar 7. Grafik Pemantauan Daya Reaktif Terhadap Waktu Ketika Kapasitor Aktif



Gambar 8. Grafik Pemantauan Faktor Daya Terhadap Waktu Ketika Kapasitor Aktif

Pada Gambar 7 terlihat bahwa selama pengujian dengan mengaktifkan variasi berdasarkan daya reaktif, terjadi peningkatan daya reaktif yang dihasilkan dibandingkan dengan sebelumnya, mencapai sekitar 1650 VAR. Ini disebabkan oleh faktor daya leading yang dihasilkan oleh beban yang dominan kapasitif. Ketika kapasitor diaktifkan, terjadi peningkatan daya reaktif. Bahkan pada saat pembebanan berkurang, khususnya sekitar pukul 22:53 hingga pukul 08:00, daya reaktif yang dihasilkan tetap tinggi, dari daya reaktif sebelumnya berkisar antara 70 VAR hingga 100 VAR saat variasi 1 senilai  $4\mu\text{F}$  diaktifkan selama periode tersebut.

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa faktor daya sangat tidak stabil dibandingkan dengan sebelumnya, pengaktifan variasi dilakukan berdasarkan faktor daya yang tersedia, tetap pada saat variasi dinaikkan, faktor daya menurun hingga 0,1 pada waktu 18:28 hal ini menunjukkan bahwa APFD sangat tidak efektif apabila langsung dipasangkan dengan beban listrik rumah tangga dengan beban yang dominan kapasitif.

## V. KESIMPULAN

Pada sensor PZEM-004T didapatkan nilai error rata-rata sebesar 1,56% dan dengan akurasi rata-rata sebesar 98,44% untuk pengukuran arus, dan error rata-rata sebesar 0,08% dan akurasi rata-rata sebesar 99,92% pada pengukuran tegangan. Alat dapat bekerja dengan baik pada pembebanan induktif dengan pengujian sistem secara tanpa variasi kapasitor didapatkan nilai faktor daya rata-rata 0,85 dan pada saat system dilakukan dengan variasi kapasitor didapatkan nilai faktor daya rata-rata sebesar 0,89.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan 5 kapasitor dengan masing-masing memiliki kapasitansi senilai  $20\mu\text{F}$  kemudian dirangkai secara seri dan paralel sehingga membentuk 24 variasi kapasitansi mulai dari  $4\mu\text{F}$  hingga  $100\mu\text{F}$  yang dilakukan untuk mereduksi daya reaktif pada beban induktif. Pada pengujian alat selama 24 jam didapatkan hasil faktor daya yang bervariasi dan pada saat alat melakukan perbaikan faktor daya menggunakan kapasitor, faktor daya awal 0,77 turun menjadi 0,47, hal ini menandakan pada faktor daya tersebut adalah faktor daya leading sehingga apabila dilakukan penambahan kapasitor secara bertahap, maka faktor daya tersebut turun.

## REFERENSI

- [1] Hartono, T.N., Shidiq, M., dan Santoso, H. (2014). Perancangan Alat Perbaikan Faktor Daya Beban Rumah Tangga Dengan Menggunakan Switching Kapasitor Dan Induktor Otomatis. *Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya*, Vol. 2, No.1 : 1-8.
- [2] Hartono, T. N., Shidiq, M., & Santoso, H. (2014). Perancangan Alat Perbaikan Faktor Daya Beban Rumah Tangga dengan Menggunakan Switching Kapasitor dan Induktor Otomatis. *Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya*, 2(1), 1–8.
- [3] Noor, S., & Saputera, N. (2014). Efisiensi Pemakaian Daya Listrik Menggunakan Kapasitor Bank. *Jurnal Poros Teknik*, 6(2), 55–102.

- [4] Amanda, D., & Majid, N. (2016). Studi Analisa Penyebab Kerusakan Kapasitor Bank Substation Welding di PT. Astra Daihatsu Motor. *Resistor (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, 2(1), 7–14.
- [5] Dani, A., & Hasanuddin, M. (2018). Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor sebagai Kompensator Daya Reaktif (Studi Kasus STT Sinar Husni). *Seminar Nasional Royal (SENAR)*, 2018, 673–678. ISSN: 2622-6510.
- [6] Hariyadi, E. B. (2015). Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor Bank pada Peralatan Rumah Tangga. Skripsi. Universitas Negeri Yogyakarta.
- [7] Risdina. (2019). Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Perbaikan Faktor Daya pada Konsumsi Listrik Rumah Tangga Berbasis Mikrokontroler Atmega32. Skripsi. Universitas Islam Negeri Sumatera Utara.

# PENGGUNAAN METODE PULSE WIDTH MODULATION (PWM) UNTUK MENGATUR TORSI MOTOR INDUKSI 3 FASA

Linda Sartika<sup>1</sup>, Abdul Muis Prasetya<sup>2</sup>, Hadi Santoso<sup>3</sup>, Muhammad Akbar<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

<sup>4</sup>MNCTV, Bulungan, Kalimantan Utara, Indonesia

<sup>2</sup>prasetya.electric@gmail.com

**Abstract**—Three-phase induction motors are widely used as energy conversion devices in various industrial applications and daily equipment. Although they offer advantages in durability and efficiency, induction motors exhibit nonlinear characteristics, making speed and torque control complex. To address this challenge, an inverter is required as a controller for the induction motor. The inverter functions to convert direct current (DC) voltage into alternating current (AC) voltage and, in this study, is designed with a Square Wave output. The control system employs the Pulse Width Modulation (PWM) method to regulate the inverter output, enabling the operation of a three-phase induction motor with a torque range of 0.00 to 0.1 kg/s and a duty cycle variation between 100% and 80%. Testing results indicate that this method provides more stable speed control and better responsiveness to load variations. Thus, the implementation of a PWM-based inverter offers an effective solution to enhance the efficiency and reliability of three-phase induction motor control systems.

**Keywords**—Induction motor, inverter, PWM, Square Wave, speed control.

**Intisari**—Motor induksi tiga fasa banyak digunakan sebagai konversi energi dalam berbagai aplikasi industri dan peralatan sehari-hari. Meskipun memiliki keunggulan dalam hal daya tahan dan efisiensi, motor induksi memiliki sifat tidak linier yang membuat pengaturan kecepatan dan torsi menjadi kompleks. Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan penggunaan inverter sebagai pengendali motor induksi. Inverter berfungsi mengubah tegangan searah menjadi tegangan bolak-balik dan dalam penelitian ini dirancang dengan bentuk gelombang *Square Wave*. Sistem pengendali menggunakan metode *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk mengatur keluaran inverter, sehingga mampu mengoperasikan motor induksi tiga fasa dengan rentang torsi 0,00 hingga 0,1 kg/s serta *duty cycle* yang bervariasi antara 100% hingga 80%. Pengujian menunjukkan bahwa metode ini dapat memberikan kendali kecepatan yang lebih stabil dan responsif terhadap perubahan beban. Dengan demikian, implementasi inverter berbasis PWM dapat menjadi solusi efektif untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem kendali motor induksi tiga fasa.

**Kata kunci**—Motor induksi, inverter, PWM, *Square Wave*, kendali kecepatan.

## I. PENDAHULUAN

Motor induksi tiga fasa merupakan salah satu jenis motor listrik arus bolak-balik yang paling banyak digunakan dalam industri. Motor ini mampu mengubah

energi listrik menjadi energi mekanik, sehingga sangat diperlukan dalam berbagai aplikasi produksi. Keunggulan utama motor induksi tiga fasa terletak pada konstruksinya yang sederhana, kuat, dan efisien dalam berbagai kondisi operasional. Karakteristik ini menjadikannya pilihan utama dibandingkan jenis motor lainnya yang mungkin lebih kompleks atau memiliki keterbatasan teknis tertentu [1,2].

Namun, di balik keunggulannya, motor induksi tiga fasa memiliki karakteristik non-linier yang menyebabkan kesulitan dalam pengaturan kecepatan dan torsi secara presisi. Hal ini menjadi tantangan bagi industri yang membutuhkan tingkat kontrol yang tinggi dalam proses produksinya. Karakteristik non-linier ini berarti bahwa hubungan antara arus, tegangan, dan kecepatan motor tidak bersifat langsung, sehingga mempersulit proses pengendalian motor dengan metode konvensional [3,4]. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengendalian yang efektif untuk mengoptimalkan performa motor ini, terutama dalam aplikasi industri yang membutuhkan presisi tinggi dalam pengaturan kecepatan dan torsi.

Salah satu metode yang banyak digunakan dalam pengendalian kecepatan dan torsi motor induksi adalah inverter. Inverter merupakan perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengubah tegangan arus searah (DC) menjadi tegangan arus bolak-balik (AC). Dengan menggunakan inverter, pengguna dapat mengendalikan kecepatan motor dengan lebih fleksibel karena inverter memungkinkan perubahan frekuensi tegangan keluaran. Hal ini sangat penting dalam berbagai aplikasi industri yang membutuhkan pengaturan kecepatan motor yang dinamis, seperti dalam sistem produksi otomatis dan peralatan berbasis servo yang memerlukan putaran dengan tingkat presisi tinggi.

Dalam penerapan inverter, salah satu teknik yang banyak digunakan untuk meningkatkan efisiensi pengendalian adalah *Pulse Width Modulation* (PWM). PWM merupakan teknik modulasi yang merekayasa lebar pulsa sinyal untuk menghasilkan tegangan rata-rata yang diinginkan. Metode ini bekerja dengan mengubah durasi pulsa dari sinyal listrik, sehingga dapat mengontrol daya yang dikirim ke motor tanpa menyebabkan kehilangan energi yang berlebihan. PWM banyak diterapkan dalam berbagai bidang, termasuk dalam telekomunikasi, kontrol daya, serta sistem kendali motor [5-7]. Dengan adanya metode ini, inverter dapat menghasilkan keluaran tegangan yang lebih halus, sehingga pengendalian kecepatan dan torsi motor induksi menjadi lebih akurat dan efisien.

Berdasarkan potensi dan keunggulan metode PWM dalam pengendalian inverter motor induksi tiga fasa, penelitian ini akan merancang dan menganalisis desain inverter berbasis PWM guna mengoptimalkan kendali torsi motor induksi. Penelitian ini akan difokuskan pada dua aspek utama, yaitu merancang inverter yang efektif serta mengembangkan metode PWM yang optimal dalam pengendalian torsi motor.

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa permasalahan yang akan dibahas. Pertama, bagaimana cara merancang inverter yang efektif untuk mengendalikan torsi motor induksi tiga fasa? Kedua, bagaimana merancang metode PWM yang mampu mengoptimalkan pengendalian torsi motor induksi tiga fasa? Kedua pertanyaan ini menjadi dasar dalam penelitian ini, dengan harapan dapat memberikan solusi yang efektif dalam bidang pengendalian motor listrik.

Untuk menjaga fokus penelitian, kajian ini hanya akan membahas aspek perancangan dan implementasi inverter berbasis PWM dalam pengendalian torsi motor induksi tiga fasa. Penelitian ini tidak akan mencakup aspek lain seperti efisiensi energi secara menyeluruh atau optimasi sistem kontrol berbasis kecerdasan buatan. Pembatasan ini bertujuan agar penelitian dapat dilakukan dengan lebih mendalam dan terfokus pada aspek teknis dari inverter dan metode PWM.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah merancang dan mengembangkan inverter tiga fasa yang mampu mengendalikan torsi motor induksi secara optimal. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang metode PWM yang dapat diterapkan secara efektif dalam sistem inverter untuk mengendalikan torsi motor induksi tiga fasa. Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi pengendalian motor listrik.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi pengendalian motor induksi tiga fasa, terutama dalam penerapan metode PWM. Dengan adanya penelitian ini, akademisi dan praktisi industri dapat menggunakan hasil temuan sebagai referensi dalam mengembangkan sistem kendali motor listrik yang lebih efisien dan presisi. Selain itu, penelitian ini juga dapat menjadi dasar bagi pengembangan lebih lanjut dalam bidang pengendalian motor berbasis inverter, baik untuk aplikasi industri maupun akademik.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Peralatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan berbagai peralatan untuk menunjang proses desain dan pembuatan inverter tiga fasa, yaitu:

#### 1. Power Supply

Digunakan untuk menyediakan tegangan sumber sebesar 5V dan 15V arus searah (DC). Tegangan 5V berfungsi untuk mengaktifkan mikrokontroler dan optocoupler, sedangkan tegangan 15V digunakan untuk mengaktifkan MOSFET dalam inverter.

#### 2. Osiloskop

Berfungsi untuk mengamati bentuk gelombang keluaran dari frekuensi dan sinyal PWM yang

dihasilkan oleh mikrokontroler, serta untuk menganalisis kestabilan sinyal.

#### 3. Inverter Tiga Fasa

Perangkat utama dalam penelitian ini yang digunakan untuk mengontrol motor induksi tiga fasa. Inverter akan diuji untuk memastikan bahwa setiap fasa memiliki perbedaan sudut  $120^\circ$ .

#### 4. Motor Induksi Tiga Fasa

Bertindak sebagai sistem uji (plant) dalam penelitian ini. Motor ini akan diuji untuk mengamati bagaimana torsi dapat dikontrol melalui variasi nilai duty cycle pada metode PWM.

Penelitian ini menggabungkan studi literatur dan pengujian laboratorium guna mengevaluasi komunikasi antara inverter tiga fasa dengan motor induksi tiga fasa dalam pengendalian torsi.

### B. Prosedur Penelitian

Proses penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap sebagai berikut:

#### 1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan sebagai landasan dalam penelitian ini, termasuk penelaahan teori mengenai motor induksi tiga fasa, inverter, dan teknik PWM. Referensi yang digunakan meliputi artikel penelitian, buku teks, serta standar industri terkait.

#### 2. Perancangan Sistem

Berdasarkan hasil studi literatur, dilakukan perancangan sistem inverter tiga fasa yang bertujuan untuk menghasilkan keluaran dengan perbedaan sudut  $120^\circ$ . Perancangan ini mencakup pemilihan komponen dan desain skematik rangkaian.

#### 3. Implementasi dan Perakitan

Setelah rancangan sistem disusun, dilakukan proses perakitan perangkat keras, termasuk mikrokontroler, driver MOSFET, serta rangkaian inverter. Setiap komponen diuji secara individual sebelum digabungkan menjadi satu sistem.

#### 4. Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem bekerja sesuai dengan desain. Pengujian metode PWM dilakukan dengan variasi duty cycle untuk mengamati pengaruhnya terhadap tegangan keluaran dan kinerja motor. Pengujian frekuensi dilakukan dengan menggunakan osiloskop untuk memastikan kestabilan frekuensi keluaran inverter pada 50 Hz. Selain itu, pengujian beda fasa dilakukan untuk memastikan bahwa sudut fasa antar keluaran inverter sesuai dengan spesifikasi desain, yaitu  $120^\circ$ . Selanjutnya, dilakukan pengujian kombinasi untuk menguji keluaran gerbang AND pada inverter dalam menggabungkan sinyal PWM dan frekuensi. Pengujian tegangan inverter bertujuan untuk memeriksa tegangan keluaran inverter menggunakan osiloskop dan tang amper. Terakhir, dilakukan pengujian rangkaian inverter berbeban untuk mengevaluasi kinerja inverter saat diberikan beban, meliputi uji tanpa beban, uji dengan beban, serta uji tegangan dan arus.

#### 5. Analisis Hasil dan Evaluasi

Data hasil pengujian dianalisis untuk menilai kinerja inverter dalam mengendalikan torsi motor induksi tiga

fasa. Jika hasil pengujian menunjukkan ketidaksesuaian dengan desain awal, dilakukan modifikasi dan optimasi sistem.

#### 6. Penarikan Kesimpulan

Setelah semua data diperoleh dan dianalisis, kesimpulan dibuat berdasarkan keberhasilan penelitian dalam mencapai tujuan yang telah ditetapkan.

#### 7. Penyusunan Laporan

Semua tahapan penelitian dan hasil pengujian didokumentasikan secara sistematis untuk dijadikan referensi dalam pengembangan lebih lanjut.

### C. Desain Sistem

Penelitian ini berfokus pada desain inverter tiga fasa berbasis metode PWM untuk mengendalikan torsi motor induksi. Sistem yang dirancang terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

1. Mikrokontroler sebagai unit pemrosesan utama yang menghasilkan sinyal PWM dan sinyal frekuensi untuk inverter.
2. Power Supply DC 220V sebagai sumber daya utama untuk inverter.
3. Inverter Tiga Fasa yang menerima sinyal PWM dan mengubah tegangan DC menjadi AC dengan beda fasa  $120^\circ$ .
4. Motor Induksi Tiga Fasa sebagai sistem uji untuk mengamati pengaruh inverter terhadap torsi motor.
5. Brake Controller untuk memberikan beban mekanis guna menguji performa motor dalam kondisi berbeda.

Desain sistem ini memastikan bahwa inverter dapat mengontrol motor dengan stabil dan sesuai dengan kebutuhan industri.

### D. Originalitas Penelitian

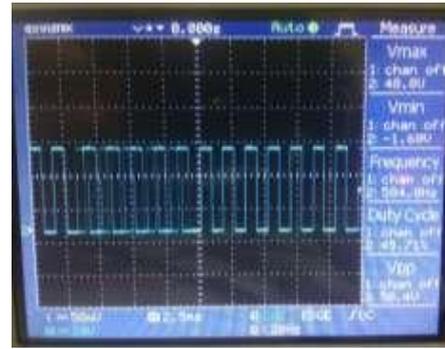
Penelitian ini memiliki nilai orisinalitas yang tinggi karena menggabungkan pendekatan eksperimen dan desain sistem yang dioptimalkan untuk pengendalian torsi motor induksi tiga fasa. Metode PWM yang digunakan dalam inverter dikembangkan dengan mempertimbangkan efisiensi dan stabilitas operasional. Selain itu, penelitian ini menitikberatkan pada pengujian dan validasi eksperimental guna memastikan bahwa sistem yang dirancang memiliki performa yang optimal.

Dengan metode yang sistematis serta analisis berbasis eksperimen, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan teknologi inverter dalam aplikasi industri.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Pengujian PWM

Pengujian Pulse Width Modulation (PWM) bertujuan untuk mengetahui durasi pulsa high dan low dalam satu siklus. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan meningkatkan nilai duty cycle, durasi waktu ON dari sinyal PWM juga meningkat. Perhitungan yang dilakukan berdasarkan pengamatan pada osiloskop menunjukkan bahwa frekuensi tetap konstan, sementara perubahan duty cycle mempengaruhi lebar pulsa.



Gambar 1. PWM duty cycle 50%

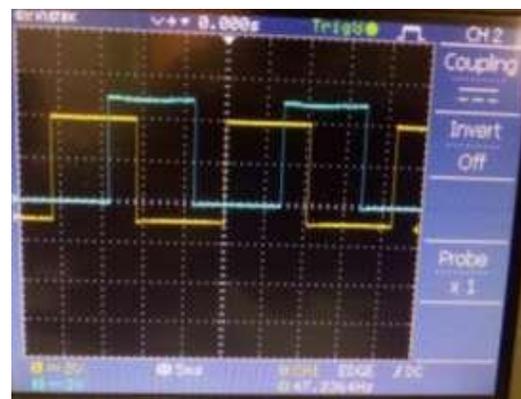
Sebagai contoh, pada duty cycle 50%, waktu ON dan OFF memiliki durasi yang sama yaitu 1.125 ms. Sementara itu, untuk duty cycle 90%, waktu ON meningkat menjadi 2.025 ms dan waktu OFF berkurang menjadi 0.225 ms. Dengan demikian, pengaturan duty cycle berperan penting dalam mengontrol daya yang diberikan kepada inverter dan motor induksi tiga fasa.

### B. Pengujian Frekuensi

Pengujian frekuensi dilakukan untuk memastikan bahwa setiap fasa mendapatkan frekuensi yang sama. Berdasarkan pengukuran menggunakan osiloskop, frekuensi keluaran inverter tercatat sebesar 50 Hz, sesuai dengan nilai yang diharapkan untuk operasi normal motor induksi. Perhitungan frekuensi berdasarkan periode sinyal menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh sudah sesuai dengan spesifikasi sistem. Oleh karena itu, pengujian frekuensi ini menunjukkan bahwa inverter mampu menghasilkan sinyal AC dengan kestabilan frekuensi yang baik.

### C. Pengujian Masing-Masing Fasa

Dalam sistem motor induksi tiga fasa, perbedaan sudut antar fasa harus tetap  $120^\circ$ . Untuk memverifikasi hal ini, dilakukan pengukuran menggunakan osiloskop dengan mengamati keluaran dari inverter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perbedaan sudut antar fasa adalah  $120^\circ$ , sesuai dengan perhitungan teoritis. Jika terjadi penyimpangan dari nilai ini, maka akan muncul ketidakseimbangan dalam sistem, yang dapat menyebabkan gangguan operasi motor.



Gambar 2. Perbedaan sudut antar fasa  $120^\circ$

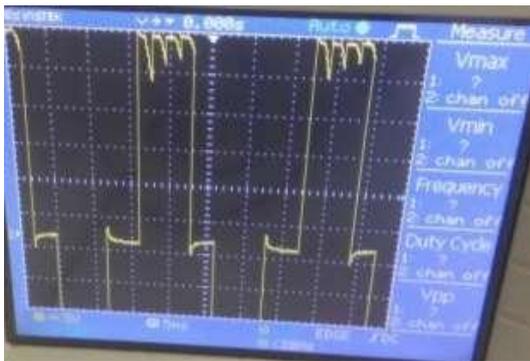
Dari pengamatan pada osiloskop, terlihat bahwa bentuk gelombang tiap fasa memiliki jarak dan amplitudo yang seragam. Hal ini menunjukkan bahwa sistem inverter mampu menghasilkan keluaran yang stabil dan sesuai dengan kebutuhan operasional motor induksi tiga fasa.

#### D. Pengujian Kombinasi

Pengujian kombinasi dilakukan untuk memastikan bahwa sinyal PWM dan frekuensi dapat dikombinasikan dengan benar. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa keluaran gerbang AND memiliki karakteristik yang berbeda dari sinyal PWM atau frekuensi tunggal, menandakan bahwa kombinasi kedua sinyal telah berhasil. Dengan demikian, pengujian ini menunjukkan bahwa sistem kendali inverter bekerja dengan baik dalam mengatur sinyal masukan yang diberikan.

#### E. Pengujian Tegangan Inverter

Pengujian tegangan inverter dilakukan untuk mengukur keluaran tegangan antara fasa ke fasa (line-to-line) dan fasa ke netral (line-to-neutral). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tegangan line-to-line mencapai 219.2 V, sementara tegangan line-to-neutral tercatat sebesar 132.5 V. Perhitungan ini didasarkan pada nilai puncak gelombang yang diukur menggunakan osiloskop.



Gambar 3. Tegangan line-to-line mencapai 219.2 V

Tegangan keluaran ini sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan oleh motor induksi tiga fasa. Manipulasi gelombang dilakukan dengan menggunakan MOSFET yang dikontrol berdasarkan sinyal PWM. Dalam pengoperasiannya, MOSFET diaktifkan dan dinonaktifkan secara bergantian untuk menghasilkan tegangan keluaran yang sesuai dengan kebutuhan sistem.

#### F. Pengujian Torsi Motor Induksi Tiga Fasa

Pengujian torsi merupakan tahap akhir dalam evaluasi kinerja sistem inverter. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi duty cycle dan mengamati perubahan torsi motor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi duty cycle, semakin besar arus yang masuk ke motor, yang berpengaruh terhadap peningkatan torsi dan kecepatan putaran motor.

Pada tabel hasil pengujian inverter, terlihat bahwa dengan duty cycle 100%, kecepatan motor mencapai 1403 RPM dengan arus 0.32 A. Namun, saat duty cycle diturunkan ke 70%, motor mengalami penurunan kinerja akibat keterbatasan arus. Pada nilai duty cycle 60% ke bawah, motor mulai kehilangan daya dan pada duty cycle

50% tidak mampu beroperasi dengan baik. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat batas operasional yang perlu diperhatikan dalam penggunaan inverter.

Dari hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa sistem inverter berbasis PWM mampu mengendalikan motor induksi tiga fasa dengan baik. Namun, terdapat batasan dalam operasionalnya, terutama terkait dengan arus maksimum yang dapat ditoleransi oleh motor. Pada duty cycle 70% dan lebih tinggi, arus yang dihasilkan meningkat hingga melampaui batas aman, yang dapat menyebabkan kegagalan sistem atau kerusakan komponen.

Efisiensi sistem dapat ditingkatkan dengan mengoptimalkan pengaturan duty cycle dan mengimplementasikan proteksi arus berlebih. Selain itu, kestabilan sistem dapat lebih ditingkatkan dengan memperbaiki regulasi sinyal PWM untuk menghindari fluktuasi tegangan yang berpotensi mengganggu operasi motor.

## IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, dapat disimpulkan bahwa sistem inverter berbasis PWM yang dirancang telah bekerja sesuai dengan ekspektasi dalam mengendalikan motor induksi tiga fasa. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan keluaran yang stabil dengan perbedaan sudut fasa 120° antar tiap fasa, sesuai dengan spesifikasi desain. Selain itu, hubungan antara duty cycle dan tegangan keluaran inverter telah terkonfirmasi, di mana peningkatan duty cycle meningkatkan tegangan output dan torsi motor.

Namun, terdapat batasan dalam operasional sistem ini, terutama terkait dengan arus maksimum yang dapat ditoleransi oleh motor. Pada duty cycle di atas 70%, arus yang dihasilkan meningkat hingga melampaui batas aman, menyebabkan potensi kegagalan sistem atau kerusakan komponen. Oleh karena itu, optimasi lebih lanjut terhadap duty cycle dan pengaturan arus diperlukan untuk mencegah overcurrent serta meningkatkan efisiensi sistem.

Pengujian juga menunjukkan bahwa sistem inverter dapat bekerja dengan frekuensi yang stabil di sekitar 50 Hz, sehingga dapat diterapkan dalam berbagai aplikasi industri. Dengan implementasi proteksi arus dan stabilisasi sinyal PWM, sistem ini dapat lebih diandalkan dalam pengoperasian motor induksi tiga fasa secara efisien dan presisi.

Kesimpulan akhir dari penelitian ini adalah bahwa sistem inverter berbasis PWM yang dikembangkan telah memenuhi tujuan utama dalam pengendalian torsi motor induksi tiga fasa. Dengan perbaikan lebih lanjut, seperti penggunaan sensor arus yang lebih presisi dan peningkatan teknik kendali, sistem ini dapat diterapkan dalam industri untuk meningkatkan efisiensi dan stabilitas pengoperasian motor listrik.

## REFERENSI

- [1] N. Emmanuel, *Implementasi Inverter Sebagai Pengendali Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Metode Space Vector Pulse Width Modulation (SVPWM)*, Teknik Mekatronika, Politeknik Enjinerung Indorama, 2016.

- [2] Baharuddin, *Sistem Kendali Kecepatan Motor DC Berbasis PWM (Pulse Width Modulation)*, Informatika, Universitas Hasanuddin, 2012.
- [3] R. I. Dwi, *Analisa Kestabilan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Berbasis Field Oriented Control (FOC)*, Teknik Elektro-FT, UNSRAT, Manado, 2011.
- [4] Suhariningsih, *Pengaturan Motor Induksi Menggunakan Observer Self Constructing Fuzzy Neural Network dengan Metode Algoritma Pelatihan Levenberg Marquardt*, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, 2009.
- [5] M. W. Fatih, *Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Kontroler PID Berbasis Genetic Algorithm*, Universitas Muhammadiyah Malang, 2016.
- [6] Sofwan and R. S. Baqo, "Sistem Pengendali Kecepatan Putaran Motor AC Fasa Satu Menggunakan Mikrokontroler AT89S825," *Jurnal Penelitian*, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta, 2004.
- [7] Muis, R. Aidil, and R. Faizal, "Analisis Kinerja Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Inverter Berbasis Pulse Width Modulation," *BORNEO ENGINEERING: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 2, no. 2, pp. 45-52, 2019.

# RANCANG BANGUN SISTEM PLTS SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF HYDROFARM BERBASIS IoT

Fitriani Said<sup>1</sup>, Abil Huda<sup>2</sup>, Abdul Hafiz<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

<sup>1</sup>fitrianiubt22@gmail.com

<sup>2</sup>abyl6666@gmail.com

<sup>3</sup>hafizabdul152@gmail.com

**Abstract**—Hydrofarm can be utilized in limited areas. This hydrofarm system uses a pump load to flow water as a planting medium. Thus, a sufficient electricity source is needed. Some farmers who want to reduce the use of electricity costs will use renewable energy. Therefore, this study applies PLTS as the main power supply source and will be combined with a power supply from PLN. Where the electricity produced by this PLTS can be monitored with the PZEM004T sensor and can be monitored from the blynk application with the help of IoT. This research method is quantitative. The results of the PLTS system design managed to supply the highest load at a value of 91.61 W. This design also applies ATS to move between supplies from PLN and PLTS. The PZEM004T sensor reading error for voltage output is 0.27% and current is 1.35%. For the distance of ESP32 as a data sender with a hotspot source without obstacles as far as 70 m and for the distance of data that can be received by users is unlimited as long as ESP32 and users are accessed by the internet.

**Keywords**—PLTS, Hydrofarm, IoT, PZEM004T, blynk

**Intisari**—Hydrofarm dapat dimanfaatkan di wilayah yang terbatas. Sistem hydrofarm ini menggunakan beban pompa untuk mengalirkan air sebagai media tanam. Sehingga, diperlukan sumber listrik yang cukup. Beberapa petani yang ingin mengurangi penggunaan biaya listrik akan menggunakan energi terbarukan. Oleh karena itu penelitian ini menerapkan PLTS sebagai sumber catu daya utama dan akan dikombinasikan dengan catu daya yang berasal dari PLN. Dimana hasil listrik yang dihasilkan PLTS ini dapat dimonitoring dengan sensor PZEM004T dan dapat dipantau dari aplikasi blynk dengan bantuan IoT. Metode penelitian ini bersifat kuantitatif. Hasil rancang bangun sistem PLTS ini berhasil menyuplai beban tertinggi di nilai 91,61 W. Rancang bangun ini juga menerapkan ATS untuk memindahkan antara suplai dari PLN maupun PLTS. Kesalahan pembacaan sensor PZEM004T untuk keluaran tegangan sebesar 0,27% dan arus sebesar 1,35%. Untuk jarak ESP32 sebagai pengirim data dengan sumber hotspot tanpa halangan sejauh 70 m dan untuk jarak data yang dapat diterima pengguna tak terbatas asalkan ESP32 dan pengguna terakses oleh internet.

**Kata Kunci**—PLTS, Hydrofarm, IoT, PZEM004T, blynk

## I. PENDAHULUAN

Di zaman modern ini banyak masyarakat yang gemar akan sistem pertanian *hydrofarm*. sistem pertanian ini dinilai tidak memerlukan banyak lahan. *Hydrofarm* sendiri membutuhkan pompa listrik untuk proses mengalirkan air sebagai media tanamnya.

*Hydrofarm* ialah salah satu cara dalam melakukan budidaya tanaman, aneka macam jenis sayuran dan buah-buahan bisa dibudidayakan dengan menggunakan metode ini. Teknik ini bekerja dengan tidak ditanam di atas tanah mirip cara tanam umumnya, melainkan memakai bantuan dari air [20]. Dengan penggunaan air sebagai media tanamnya maka akan memerlukan pompa sebagai alat penunjang utama. Pompa akan disambungkan ke catu daya listrik, sehingga beberapa petani yang ingin mengkombinasikan antara PLTS dan PLN. Potensi tenaga surya di negara kita sendiri sangat besar yakni kurang lebih 4,8 kWh/m<sup>2</sup> atau setara dengan 112.000 GWp, tetapi yang telah dimanfaatkan kurang lebih 10 MWp [15].

Petani *hydrofarm* yang ingin memantau besaran listrik terpakai dapat dimonitoring secara *real time*. Dengan bantuan IoT yang telah berkembang di zaman sekarang sehingga petani bisa memantau dari jauh hanya dengan *smartphone* saja.

Solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut maka dibuat penelitian “Rancang Bangun PLTS Sebagai Energi Alternatif *Hydrofarm* Berbasis IoT”. Diharapkan dengan adanya alat ini dapat membantu masyarakat yang gemar berkebun terutama dengan konsep *hydrofarm* dapat bekerja dengan suplai energi terbarukan dan juga ramah lingkungan, dimana arus dan tegangan yang masuk ke beban dapat dimonitoring melalui *smartphone*. Sistem ini akan dipasang *mikrokontroler* yang terhubung ke *internet* dan akan mengirim data mengenai beberapa parameter tersebut ke aplikasi yang dapat dimonitoring di *smartphone*.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dapat memenuhi kebutuhan listrik untuk beban *hydrofarm*, serta untuk memonitor keluaran listrik yang digunakan oleh beban tersebut. Manfaat penelitian ini meliputi pemanfaatan energi PLTS untuk memenuhi kebutuhan listrik, kontribusi ekologis dalam mengatasi masalah lingkungan, dan kemampuan untuk memantau pemakaian listrik dari jarak jauh.

## II. LANDASAN TEORI

### A. ATS

ATS adalah singkatan dari *Automatic Transfer Switch*. Dari kata tersebut dapat diartikan bahwa saklar yang berfungsi secara otomatis. Akan tetapi saklar tersebut bekerja secara otomatis berdasarkan kemungkinan jika sumber listrik [4].

**B. Sistem Pertanian *Hydrofarm***

Indonesia adalah negara yang dijuluki negara agraris dikarenakan kebanyakan penduduknya memilih mata pencarian di sektor pertanian. Dengan jumlah penduduk yang semakin meningkat. Sehingga beberapa masyarakat menggunakan sistem *hydrofarm* untuk mengatasi permasalahan kurangnya lahan tersebut. Dapat dilihat pada Gambar 1 dapat dilihat penggunaan *hydrofarm* pada sistem pertanian.



Gambar 1. *Hydrofarm*.

**C. *Internet of things***

IoT merupakan istilah yang mengacu pada jaringan kolektif yang terhubung dan juga merupakan penghubung komunikasi antara *cloud* dan perangkat, maupun antar perangkat itu sendiri.

**D. Energi Matahari**

Energi panas merupakan energi yang dihasilkan oleh matahari. Energi yang dipancarkan berupa radiasi cahaya dengan bentuk elektromagnetik pendek dan tidak semua dari radiasinya yang dapat ditangkap oleh mata telanjang.

**E. PLTS**

Pembangkit listrik ini merupakan pembangkit yang merubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Perubahan energi ini terjadi pada sel-sel yang berada pada panel surya. PLTS dapat dilihat pada Gambar 2 [2].



Gambar 2. Panel Surya [16].

**F. Faktor yang berpengaruh pada daya Sel Surya**

1. Intensitas radiasi panas matahari  
Jika semakin intensitas dari radiasi matahari yang diterima oleh panel maka akan lebih banyak menghasilkan daya listrik pula.
2. Efisiensi pada beban  
Efisiensi itu terjadi ketika *photovoltaic* (PV) bekerja di dekat MPPT. Aki/baterai juga harus mendekati pada voltase  $V_{mp}$ . Jika diketahui voltase baterai berada di bawah atau di atas  $V_{mp}$ , maka akan menghasilkan ketidakefisienan.
3. Bayangan  
Bayangan/*shading* merupakan penghalang dimana satu sampai lebih *silicon* dari panel surya yang tidak mendapatkan radiasi matahari yang akan

mengurangi keluaran arus maupun voltase dari panel surya.

**G. Rumus Perhitungan**

1. Perhitungan daya listrik AC

$$P = V \times I \times \cos\theta \tag{1}$$

Keterangan;

$V$  : Tegangan (V)

$I$  : Arus (A)

$\cos\theta$  : faktor daya

2. Perhitungan daya keluaran panel surya

$$P = V \times I \tag{2}$$

3. Perhitungan nilai rata-rata

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \tag{3}$$

4. % ketepatan

$$\%ketepatan = \left| 1 - \left| \frac{y_n - x_n}{x_n} \right| \right| \times 100 \tag{4}$$

Keterangan :

$y_n$  : Hasil pengukuran dengan sensor

$x_n$  : Hasil pengukuran dengan alat standar

**H. Jenis Modul Sel PV**

Sel PV merupakan salah satu teknologi yang menghasilkan listrik yang ramai digunakan pada akhir-akhir ini. Solar sel memiliki beberapa jenis yang dimana memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing. Jenis-jenis dari sel surya adalah sebagai berikut:

1. *Monocrystalline Silicon*



Gambar 3. PV *Monocrystalline Silicon* [16]

Dapat dilihat pada Gambar 3 jenis sel surya ini memiliki bahan dasar dari *silicon* yang di iris tipis-tipis dengan menggunakan mesin. Jenis sel ini dikatakan sebagai jenis sel surya yang paling efisien untuk digunakan. Hal ini disebabkan oleh penampangnya yang dapat menerima dan menyerap cahaya lebih baik dari jenis sel surya yang lain.

2. *Polycrystalline Silikon*



Gambar 4. PV *Polycrystalline Silikon* [16]

Pada Gambar 4. jenis sel surya ini merupakan panel dari batang *silicon* yang dilelehkan. Teknologi panel ini memiliki tampilan yang unik karena seperti ada retakan-retakan dalam sel surya miliknya [5].

### 3. Thin Film Solar Cell



Gambar 5. PV Thin Film Solar Cell [16]

Pada Gambar 5. di atas merupakan jenis sel surya ini menggunakan sel surya yang tipis yang kemudian dipasangkan pada sebuah lapisan dasar. Jika dilihat dengan kasat mata akan terlihat memiliki dua lapisan. Kelebihan dari sel surya ini sesuai dengan kondisi fisiknya yang tipis [6].

### 4. Compound Thin Film Triple Junction Photovoltaic



Gambar 6. PV Compound Thin Film Triple Junction Photovoltaic [16]

Sel surya yang disebutkan sebelumnya memiliki hanya dua lapisan, maka sesuai dengan namanya teknologi solar panel satu ini memiliki 3 lapisan. Untuk solar panel ini tidak dapat digunakan untuk kebutuhan sehari-hari. Sesungguhnya panel surya pada Gambar 6 ini digunakan untuk perangkat yang digunakan ke luar angkasa [11].

#### I. Cara Kerja Sel PV

Prinsipnya energi yang dipancarkan oleh matahari akan dirubah melalui sel PV (*photovoltaic*) yang terbuat dari bahan-bahan semikonduktor. Bahan dari semikonduktor ini mempunyai partikel yaitu *proton* dan *electron*.

#### J. Sensor Tegangan DC

Sensor tegangan DC merupakan sensor tegangan yang mengukur tegangan dari 0-25 VDC. Sensor ini bekerja dengan tegangan masukan Vcc 5 volt. Sensor ini dapat dilihat pada Gambar 2.7. Cara kerja sensor ini yaitu mengukur arus pada rangkaian paralel melalui *block* terminal. Kemudian pin pada sensor ini dihubungkan dengan arduino [3].



Gambar 7. Sensor Tegangan DC [19]

#### K. SCC (*Solar Charge Controller*)

Proses pengecasan dengan sel surya ke aki/baterai tidak sama dengan pengecasan baterai konvensional (*battery charger*) yang menggunakan listrik PLN. Hal ini dikarenakan karena arus listrik yang dihasilkan daya panel surya bisa tinggi, bisa juga rendah tergantung dari panasnya radiasi matahari. Proses pengecasan akan berlangsung selama ada radiasi matahari. *Solar charge controller* juga disebut dengan *Battery Charge Regulator* (BCR) merupakan sistem elektronika pada sistem PABS untuk mengontrol pengecasan baterai dari tangkapan sinar matahari melalui modul PV [12].

##### 1. PWM (*Pulse Wide Modulation*)



Gambar 8. SCC tipe PWM [10]

Pada Gambar 8 *solar charge controller* (SCC) model ini menggunakan lebar *pulse* dari *on* dan *off* elektrik, sehingga tercipta *sinewave electrical form*. SCC jenis ini bisa melakukan penyesuaian dengan voltase pada aki maupun baterai.

##### 2. MPPT (*Maximum Power Point Tracker*)

Pada Gambar 9 SCC tipe ini memiliki kemampuan pengisian atau pengecasan yang lebih besar. Maka dari itu MPPT lebih cenderung mahal dibandingkan jenis PWM.



Gambar 9. SCC tipe MPPT [10]

Diantara 2 jenis SCC ini yang lebih sering dipakai untuk sistem PLTS adalah SCC tipe MPPT. Dikarenakan kualitas pada proses pengecasan pada beban. Terdapat keunggulan dari SCC tipe MPPT dari jenis PWM, karena MPPT dapat mendeteksi daya rendah keluaran dari modul PV sekecil apapun dan sangat lebih efisien dibandingkan SCC jenis PWM [7].

L. Aki(accumulator)

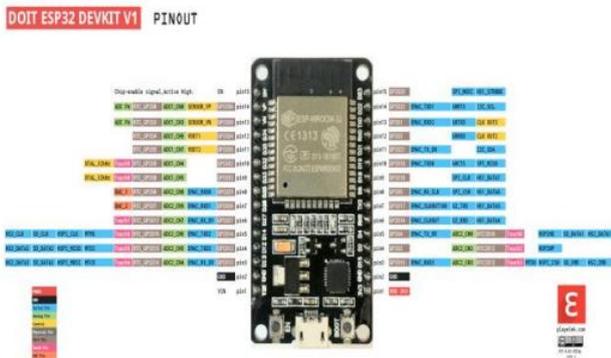
Aki(accumulator) adalah penyimpanan energi listrik yang terdiri dari bahan-bahan kimia yang dapat mengubah bahan kimia menjadi energi listrik. Aki tergolong elemen elektrokimia yang dapat mempengaruhi zat pereaksinya. Dapat dilihat pada Gambar 10 bahwa setiap baterai mempunyai kutub positif (katode) dan negatif (anode) sebagai penghantar arus listrik.



Gambar 10. Aki(accumulator) [14]

M. NodeMCU ESP32

ESP32 dikenalkan oleh Espressif System sebagai mikrokontroler yang meneruskan dari mikrokontroler sebelumnya yaitu ESP8266. Pada mikrokontroler ini sudah dilengkapi dengan modul bluetooth dan modul Wi-Fi sehingga sangat mendukung dalam membuat sistem aplikasi Internet of Things. ESP32 memiliki fitur yang cukup lengkap karena mendukung input/output analog maupun digital, PWM, SPI, I2C, dll. [18].



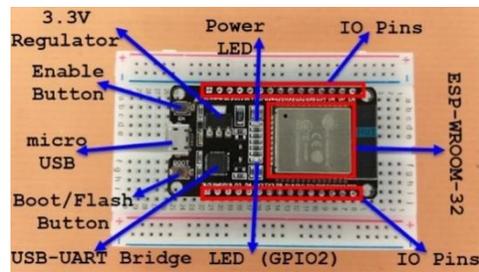
Gambar 11. ESP32 [8]

ESP32 adalah komponen RF terintegrasi seperti Power Amplifier, Low-Noise Receive Amplifier, Antenna Switch dan Filter. Hal ini yang membuat perancangan hardware pada ESP32 menjadi sangatlah mudah karena hanya sedikit memerlukan komponen eksternal. ESP32 memiliki lebih banyak fitur dari pada generasi sebelumnya esp8266.

Tabel I  
Spesifikasi NodeMCU ESP32 [18]

Spesifikasi NodeMCU ESP32	
Tegangan input	5 volt
Tegangan operasi	5 volt
ADC pin	18 buah
DAC pin	2 buah
Flash memory	128 KB
SRAM	320 KB
Clock Speed	240MHz
Berat	25 gr
PXL	58,6 x 29 mm
Komunikasi	WiFi, Bluetooth, I2C, SPI, Seial

Pada board ESP32 memiliki 30 pin (15 pin disetiap sisi) dapat dilihat pada Gambar 12 ada beberapa board yang memiliki 36 pin dan ada juga beberapa yang memiliki pin lebih sedikit. Jadi, periksa kembali pin sebelum membuat koneksi.



Gambar 12. Layout ESP32 [18]

N. Layar OLED

Organic Light-Emitting Diode (OLED) merupakan layar yang terbuat dari semikonduktor yang berfungsi sebagai pemancar cahaya yang terbuat dari lapisan organik [21].



Gambar 13. Layar OLED [9]

Cara kerja OLED berdasarkan medan listrik yang diterapkan pada elektroda. Jika medan listrik mengalir maka fungsi kerja katoda berkurang memungkinkan elektron berpindah dari katoda ke pita konduksi di lapisan organik yang menghasilkan lubang pada pita valensi. Anoda akan mendorong lubang menuju pita valensi organik dan menyebabkan terjadinya proses rekombinasinya elektron dan lubang pada lapisan organik, yang menyebabkan elektron akan turun dan bergabung dengan lubang (hole), kemudian memberikan energi berlebih berupa foton cahaya dengan panjang gelombang tertentu. Akhirnya, emisi cahaya pada panjang gelombang tertentu akan diperoleh tergantung pada jenis bahan pancaran cahaya yang digunakan [21].

O. Sensor PZEM004T

Sensor PZEM004T pada Gambar 14 merupakan sensor yang dapat mengukur tegangan, arus, daya dan energi dari listrik AC. Sensor ini mengeluarkan *output* dengan komunikasi serial. Jika ingin dihubungkan ke ESP32 maka komunikasi yang dipakai adalah komunikasi serial.



Gambar 14. Sensor PZEM004T [17]

Sensor ini dapat mengukur tegangan AC hingga 250 VAC dan memiliki maksimal pengukuran arus dinilai 10/100 A.

P. Inverter

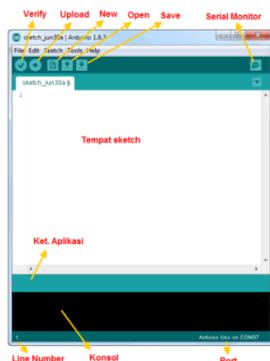
Seperti pada Gambar 15 dibawah ini, *inverter* merupakan rangkaian elektronika daya yang memiliki fungsi untuk mengkonversi listrik DC menjadi listrik AC satu fasa maupun hingga tiga fasa dengan frekuensi dan tegangan yang dapat diatur. Peralatan ini banyak digunakan baik di rumah tangga maupun industri untuk konversi energi listrik.



Gambar 15. Gambar Produk Inverter [1]

Q. Program Arduino

Jika dalam suatu *project* akan dieksekusi maka akan membutuhkan aplikasi Arduino IDE/*Intergrated Development Environment*. Secara fungsional perangkat lunak ini untuk mengkode, *open*, dan editing pada *source code* yang kemudian akan diprogram oleh penggunanya.



Gambar 16. Bagian-bagian *software* Arduino IDE [10]

R. Aplikasi Blynk

Merupakan aplikasi yang dibutuhkan penggunanya untuk membuat proyek kontrol maupun monitoring pada

sistem yang telah dibuat. Pengguna sangat mudah menggunakannya karena telah terhubung lewat internet.

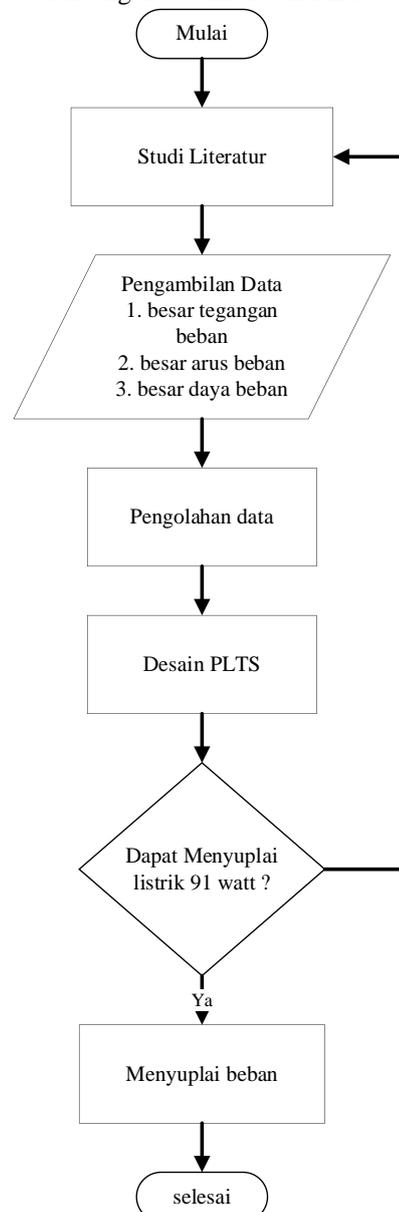
Aplikasi ini dapat dilihat pada Gambar 17, dimana berfungsi untuk kontrol yang jaraknya jauh, bisa juga memonitoring dari nilai yang terbaca oleh sensor.



Gambar 17. Blynk [13]

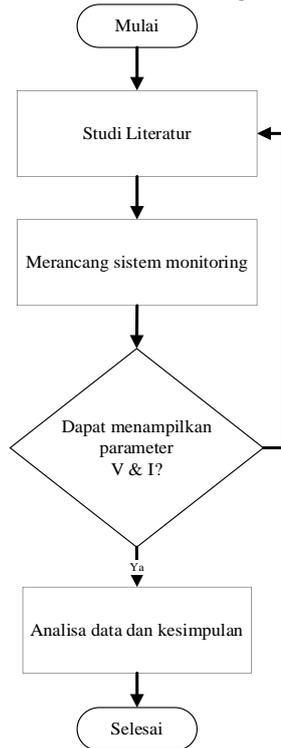
III. METODE PENELITIAN

A. Flowchart rancangan desain sistem PLTS



Gambar 18. Flowchart rancangan desain sistem PLTS

B. Flowchart desain sistem monitoring



Gambar 19. Flowchart perancangan desain monitoring

C. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif, yang bertujuan untuk menjawab masalah penelitian melalui data numerik dan analisis statistik, serta melakukan observasi untuk mengumpulkan data pendukung terkait sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Penelitian dilaksanakan dari bulan Oktober 2023 hingga Februari 2024 di Lab. EBT, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan. Parameter data yang diambil meliputi tegangan dan arus yang dihasilkan oleh panel surya serta listrik yang masuk ke beban, yang kemudian dikirim ke smartphone pengguna melalui sistem IoT. Alat yang digunakan dalam penelitian ini mencakup tang kombinasi, obeng, multimeter, smartphone, laptop, dan beberapa alat lainnya, sedangkan bahan yang digunakan terdiri dari panel surya, solar charger controller, baterai, NodeMCU ESP32, sensor PZEM004T, dan berbagai komponen listrik lainnya.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perancangan Sistem PLTS

Perancangan sistem PLTS ini dilakukan dengan cara menentukan beban yang akan digunakan untuk *hydrofarm*. Setelah itu membangun sistem PLTS dengan *backup* PLN yang memungkinkan perpindahan suplai daya dari PLTS ke PLN ketika baterai mengalami penurunan kapasitas. Dari perancangan ini telah berhasil membangun sistem PLTS sebagai energi alternatif yang dapat menyuplai beban *hydrofarm*. Kemampuan sistem PLTS ini dapat menyuplai beban hingga 440 W sesuai dengan kapasitas maksimal dari *circuit breaker* 2 A sebagai pengaman sistem dan kemampuan maksimal dari *inverter* yang hanya berkapasitas 500 W. Perancangan sistem ini dikatakan berhasil karena dapat menghasilkan tegangan

AC dengan nilai dikisaran 223-235 VAC masih aman untuk alat beroperasi. Dalam pengambilan data dalam waktu 30 hari beban tertinggi yang sempat terukur adalah 91,61 W.

Tabel II  
Daftar Beban yang Disuplai oleh Sistem PLTS

No	Nama Beban	Jumlah Beban
1	Pompa <i>submarine</i>	36 W
2	Pompa <i>aquarium</i>	25 W
3	Beban <i>monitoring hydrofarm</i> (ESP32, relai 8-channels, sensor TDS, sensor jarak, sensor pH dan LCD 16x2 I2C)	5,2 W
4	Pompa DC 4 x 0,5 A	24
Total		90,2 W

B. Pengujian Pada Sistem Perangkat Lunak (Software)

Pengujian pada perangkat lunak menggunakan software Arduino IDE. *Coding* program meliputi sensor tegangan yang berfungsi untuk membaca nilai tegangan DC pada baterai aki beserta sensor PZEM004T yang berfungsi untuk memonitoring hasil listrik yang dihasilkan. Setelah diproses pembacaan arus dan tegangan dapat ditampilkan pada OLED 128x64 I2C dan aplikasi *Blynk*.

```

    #include <BlynkSimpleEsp32.h>
    #include <PZEM004TV30.h>
    #include <Adafruit_GFX.h>
    #include <Adafruit_SSD1306.h>
    #include <WiFi.h>
    #include <WiFiClient.h>
    #include <Wire.h>

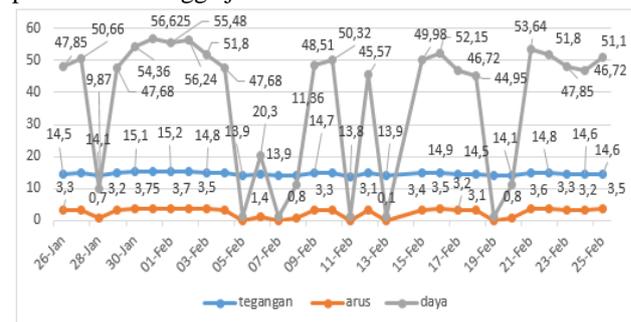
    #define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL6ijRmcsgy"
    #define BLYNK_TEMPLATE_NAME "tugas akhir"
    #define BLYNK_AUTH_TOKEN "P63n25CMLet9FeONEo2wC2APr2QRmI5a"

    #define BLYNK_PRINT Serial
    #define DISPLAY_ADDRESS 0x3C // or 0x3D
    #define DISPLAY_SCL_PIN 22
    #define DISPLAY_SDA_PIN 21
    #define DISPLAY_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
    #define DISPLAY_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels
    #define DISPLAY_RESET_PIN -1 // Reset pin # (or -1 if shari
    #define sensor_pin 36
  
```

Gambar 20. Coding Program Keseluruhan

C. Perancangan Sistem PLTS

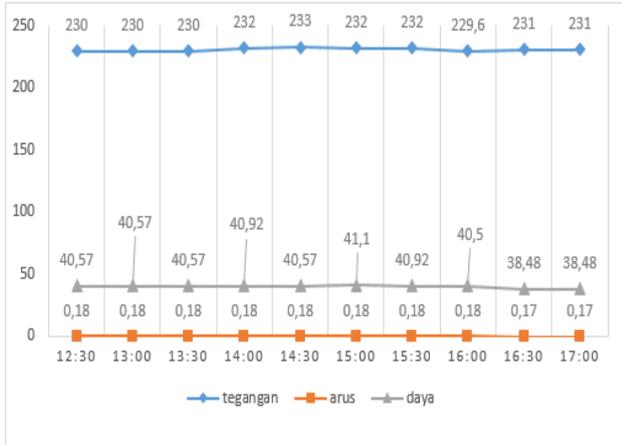
Langkah yang pertama dilakukan adalah melakukan pengukuran pada saat matahari telah sedikit terang yaitu pukul 08.00 hingga jam 17.00.



Gambar 21. Grafik waktu beserta keluaran tegangan dan arus tanpa beban pada modul PV

Pada Grafik 21 diketahui bahwa dilakukan bahwa dilakukan pengujian pada tanggal 26 Januari sampai tanggal 24 Februari. Pada pengukuran *output* modul PV saat cerah maka menghasilkan tegangan dan arus yang tinggi. Hal ini sangat dibutuhkan oleh sistem PLTS agar dapat terus menyuplai ke SCC untuk terus mengisi baterai. Jika cuaca berawan dan mendung besaran tegangan dan arus yang dihasilkan cukup turun besarnya.

D. Pengujian Sistem ATS



Gambar 22. Grafik Pengukuran Keluaran PLTS

Pada Gambar 22 Pada grafik tersebut didapatkan data keluaran listrik yang terpakai oleh beban. Dimana PLTS mulai menyulai daya pada pukul 12.30 dikarenakan baterai terisi ketika cuaca mulai cerah sehingga PLTS dapat menyulai daya ke beban *hydrofarm*. PLTS akan mulai menyulai beban ketika tegangan aki >11 VDC.

E. Pengujian Sensor PZEM004T

Tabel III

Pengujian sensor PZEM004T untuk pengukuran tegangan

Uji coba ke-n	Sensor PZEM004T (V)	Voltmeter (V)
1	229,17	229
2	229,29	230
3	229,2	230
4	229,24	230
5	229,22	230
6	229,17	230,08
7	228,18	229
8	228,16	229
9	228,41	229
10	228,56	229
11	227,44	228,69
12	226,025	226,87
13	227,03	227,38
14	229,17	229
15	231,66	232,26
16	231,34	232,57
17	232,1	232,63
18	231,05	231,89
19	231,22	229,31
20	226,41	226,77
21	229,21	230

Uji coba ke-n	Sensor PZEM004T (V)	Voltmeter (V)
22	233,94	235
23	226,37	226,64
24	225,81	226,57
25	226,13	227
26	225,39	226,2
27	228,18	229
28	228,17	229
29	228,17	229
30	228,17	229
Rata-rata	228,72	229,32

Berdasarkan pengujian yang dilakukan selama 30 hari, pengukuran keluaran tegangan dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) ke beban menunjukkan bahwa sensor PZEM004T memiliki akurasi sebesar 99,73%, yang hampir setara dengan alat standar voltmeter. Rata-rata tegangan yang diukur oleh sensor PZEM004T adalah 228,72 V, sedangkan rata-rata tegangan yang diukur oleh alat standar adalah 229,32 V. Persentase ketepatan dihitung dengan rumus %ketepatan =  $|1 - |(y_n - x_n)/x_n|| \times 100$ , yang menghasilkan nilai 99,73%, menunjukkan bahwa sensor PZEM004T dapat diandalkan untuk monitoring keluaran tegangan.

Tabel IV

Pengujian sensor PZEM004T untuk Pengukuran Arus

Uji Coba Ke-n	Sensor PZEM004T(A)	Amperemeter (A)
1	0,116	0,115
2	0,116	0,114
3	0,116	0,114
4	0,116	0,113
5	0,116	0,113
6	0,116	0,113
7	0,18	0,178
8	0,195	0,19
9	0,225	0,22
10	0,189	0,184
11	0,188	0,184
12	0,196	0,19
13	0,186	0,183
14	0,191	0,187
15	0,2	0,19
16	0,2	0,19
17	0,178	0,17
18	0,184	0,18
19	0,186	0,182
20	0,186	0,18
21	0,35	0,34
22	0,355	0,35
23	0,34	0,33
24	0,34	0,33
25	0,33	0,32
26	0,35	0,34
27	0,34	0,33
28	0,35	0,34
29	0,346	0,34
30	0,347	0,34
Rata-rata	0,223	0,22

Berdasarkan pengujian yang dilakukan selama 30 hari, pengukuran keluaran arus beban hydrofarm menunjukkan bahwa sensor PZEM004T memiliki tingkat akurasi sebesar 98,65%, dengan error pembacaan sebesar 1,35% dibandingkan dengan amperemeter standar. Rata-rata arus yang diukur oleh sensor PZEM004T adalah 0,223 A, sedangkan rata-rata arus yang diukur oleh alat standar adalah 0,226 A. Persentase ketepatan dihitung menggunakan rumus %ketepatan =  $|1 - |(y_n - x_n)/x_n|| \times 100$ , yang menghasilkan nilai 98,65%, menunjukkan bahwa sensor PZEM004T dapat diandalkan untuk monitoring keluaran arus.

Tabel V  
Hasil uji coba pengukuran sensor tegangan DC

Uji ke-	Sensor tegangan DC(V)	Voltmeter(V)
1	12,05	12,04
2	12,05	12,04
3	12,05	12,04
4	12,06	12,04
5	12,06	12,09
6	12,06	12,09
7	12,03	12,09
8	12,03	12,09
9	12,03	12,09
10	12,03	12,03
11	12,03	12,03
12	12,03	12,06
13	12,03	12,07
14	12,03	12,09
15	12,05	12,09
16	11,99	12,01
17	12,03	12,01
18	12,08	12,01
19	12,1	12,03
20	12,11	12,09
21	12,04	12,09
22	12,05	12,09
23	12,06	12,09
24	12,04	12,09
25	12,03	12,09
26	12,11	12,09
27	12,06	12,06
28	12,05	12,1
29	12,08	12,06
30	12,01	12,07
Rata-rata	12,05	12,06

Berdasarkan pengujian yang dilakukan pada sensor tegangan DC, perhitungan rata-rata menunjukkan bahwa sensor memiliki nilai rata-rata tegangan sebesar 12,05 V, sedangkan alat standar mencatat rata-rata 12,06 V. Persentase ketepatan dihitung menggunakan rumus %ketepatan yang menghasilkan nilai 99,91%. Pengambilan data dilakukan sebanyak 30 kali untuk menentukan nilai rata-rata, standar deviasi, dan keakuratan, di mana standar deviasi untuk sensor adalah 0,005 dan untuk alat ukur adalah 0,006. Hasil ini

menunjukkan bahwa sensor tegangan DC memiliki keakuratan yang sangat tinggi dalam pengukuran.

## F. Pengujian Sistem Monitoring

Tabel VI

Hasil pengukuran uji jarak ESP32

Uji ke-n	Uji jarak ESP32 dengan Hotspot	
	Jarak	Status
1	2 m	Terhubung
2	4 m	Terhubung
3	6 m	Terhubung
4	8 m	Terhubung
5	10 m	Terhubung
6	12 m	Terhubung

Berdasarkan Tabel 6. diatas telah dilakukan pengujian jarak antara ESP32 dengan sumber jaringan dan dapat disimpulkan bahwa untuk jarak 1-12 m ESP32 tetap dapat terhubung dengan sumber *hotspot* dari *smartphone*. Pengujian ini dilakukan tanpa halangan untuk jarak maksimal yang pernah diuji tanpa ada penghalang mampu tetap tersambung sejauh 70 m.

## V. KESIMPULAN

Kesimpulan pada penelitian tugas akhir ini terfokus pada rancang bangun sistem PLTS sebagai energi alternatif *hydrofarm* berbasis IoT. Dari penelitian tersebut dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini berhasil merancang dan membangun sistem PLTS yang dapat menyuplai listrik ke beban *hydrofarm*. Perancangan ini dikatakan berhasil karena dapat menghasilkan keluaran listrik sesuai dengan standar alat dan PLN dimana listrik yang dihasilkan bertegangan 224-235 V yang masih masuk toleransi tegangan yang dibutuhkan untuk kebutuhan suplai beban *hydrofarm*. Hasil perancangan ini juga berhasil menyuplai beban tertinggi ketika semua beban aktif pada 91,61 W.
2. Pada penelitian ini juga berhasil merancang sistem IoT untuk memonitoring hasil keluaran listrik berupa tegangan dan arus terpakai oleh beban *hydrofarm*. Monitoring ini berhasil dilakukan dengan melihat data yang ditampilkan oleh layar OLED maupun aplikasi *blynk*. Untuk nilai akurasi tegangan yang dibaca oleh sensor setelah dibandingkan dengan alat standar adalah 99,73%, sedangkan nilai akurasi yang dihasilkan oleh arus adalah 98,65%. Untuk monitoring dengan IoT jarak ESP32 dengan sumber *hotspot* tanpa halangan terukur terjauh 70 m.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis kepada Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan yang medanai penelitian ini. Serta kepada Bapak Kasnanto yang ikut andil menyupport penelitian ini.

## REFERENSI

- [1] Ali. (2018). Aplikasi Elektronika Daya Pada Sistem Tenaga Listrik. Yogyakarta: UNY Press.

- [2] Anjarani Wiwi, H. A. (2023). Desain PLTS Menggunakan Helioscope Berbasis Web Pada SMA Negeri 3 Malinau. *POLEKTRO*, 109.
- [3] Budi, W. S., Indrasari, W., & Fahdiran, R. (2020, December). KARAKTERISASI SENSOR ARUS DAN TEGANGAN UNTUK APLIKASI MAXIMUM POWER POINT TRACKER PADA SISTEM PENYIMPANAN ENERGI LISTRIK PANEL SURYA. In *PROSIDING SEMINAR NASIONAL FISIKA (E-JOURNAL)* (Vol. 9, pp. SNF2020FA-77).
- [4] Ginting, P. H., & Sinuraya, E. W. (2014). Perancangan Automatic Transfer Switch (Ats) Parameter Transisi Berupa Tegangan Dan Frekuensi Dengan Mikrokontroler Atmega 16. *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 16(3), 128-134.
- [5] Haryudo Isnur Subuh, W. T. (2022). Rancang Bangun Monitoring Arus dan Tegangan Pada PLTS Sistem On Grid Berbasis Internet of Thing (IOT) Menggunakan Aplikasi Telegram. *Teknik Elektro*, 447-452.
- [6] Hidayat Taufal, F. D. (2019). Rancang Bangun Smart Meter Berbasis. *JURNAL TEKNIK ELEKTRO ITP*, 87-92.
- [7] Lee, D. K., In, J., & Lee, S. (2015). Standard deviation and standard error of the mean. *Korean journal of anesthesiology*, 68(3), 220.
- [8] Muliadi, M., Imran, A., & Rasul, M. (2020). Pengembangan tempat sampah pintar menggunakan ESP32. *Jurnal Media Elektrik*, 17(2), 73-79.
- [9] Nugroho, G. W., & Effendi, R. (2022). Rancang Bangun Sistem Pengukuran Luas Permukaan Kulit Menggunakan Konveyor dan Sensor Optik Berbasis Arduino. *Jurnal Teknik ITS*, 11(1), F1-F7.
- [10] Nugroho Indriarto, d. (2021). Sistem Ats Hybrid Dengan Daya Plts Dan Pln Untuk Pompa Hidroponik Berbasis IoT. *SENASAINS*, 1-8.
- [11] Saptadi, A. H. (2014). Perbandingan akurasi pengukuran suhu dan kelembaban antara sensor DHT11 dan DHT22. *Jurnal infotel*, 6(2), 49-56.
- [12] Sinaga, R., & Ratu, M. F. M. (2019). Simulasi Pengujian Karakteristik Pompa Air Menggunakan Catu Daya Modul Surya Dan Baterai Siklus Dalam
- [13] Rostini, A. N., & Junfithrana, A. P. (2020). Aplikasi smart home node mcu iot untuk blynk. *Jurnal Rekayasa Teknologi Nusa Putra*, 7(1), 1-7.
- [14] astramotor. (2019, october 30). *Aki Motor Dan Cara Merawatnya Agar Tidak Soak*. Retrieved from astramotor: <https://www.astramotor.co.id/aki-motor-dan-cara-merawatnya-agar-tidak-soak/>
- [15] ESDM. (2012, juni 19). *Matahari Untuk PLTS di Indonesia*. Retrieved from kementerian energi dan sumber daya mineral: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/matahari-untuk-plts-di-indonesia>
- [16] Hexanasemstaid. (2022, April 7). *Jenis-jenis Panel Surya dan Kelebihannya*. Retrieved from HEXANASEMSTA: <https://www.hexana.co.id/post/jenis-jenis-panel-surya-dan-kelebihannya-1>
- [17] Jimmi, S. (2020, November 16). *Membaca Sensor PZEM-004t dengan nodemcu Arduino*. Retrieved from mikroavr: <https://mikroavr.com/sensor-pzem-004t-arduino/>
- [18] MIQ. (2022, Maret 11). *Mikrokontroler ESP32*. Retrieved from Muhammad Iqbal: <https://miqbal.staff.telkomuniversity.ac.id/mikrokontroler-esp32/>
- [19] Pambudi.G, W. (2020, mei 17). *Cara Mengakses Sensor Tegangan DC menggunakan Arduino*. Retrieved from Cronyos.com: <https://www.cronyos.com/cara-mengakses-sensor-tegangan-dc-menggunakan-arduino/>
- [20] Rully, P. D. (2022, November 18). *Hidroponik Adalah: Manfaat, Metode, Jenis Tanaman, dan Cara Membuat*. Retrieved from detikbali: <https://www.detik.com/bali/berita/d-6412997/hidroponik-adalah-manfaat-metode-jenis-tanaman-dan-cara-membuat>
- [21] Saptaji. (2022, Maret 3). *MENAMPILKAN KARAKTER DI OLED 128x64 SSD1306 MENGGUNAKAN ARDUINO UNO*. Retrieved from SAPTAJI.COM: <http://saptaji.com/2022/03/03/menampilkan-karakter-di-oled-128x64-ssd1306-menggunakan-arduino-uno/>

# ANALISIS RUGI-RUGI DAYA DAN JATUH TEGANGAN PADA SISTEM DISTRIBUSI PT. PERTAMINA HULU INDONESIA REGIONAL 3 ZONA 10 TARAKAN FIELD

Patria Julianto<sup>1</sup>, Nur Fadila<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

<sup>1</sup>patria@borneo.ac.id  
<sup>2</sup>nurfadila.dl25@gmail.com

**Abstract**—To determine the condition of an electrical power system, power flow simulations are commonly conducted. Through power flow analysis, various parameters within the electrical power system, including power losses and voltage drops, can be identified. This study utilizes ETAP 19.0.1 software to simulate the electrical distribution system at PT. Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zone 10 Tarakan Field. The simulation results indicate that during daytime load conditions, the total active and reactive power losses are 49 kW and 50 kVAr, respectively, whereas, during nighttime load conditions, the values are 47 kW and 54 kVAr. The highest voltage occurs at bus f11b to bus f11c at 13.69 kV (13.71%), while the lowest voltage is recorded at bus 2 to the night bus at 10.09 kV (10.02%). The lowest voltage drop is found at station 8 from bus station 7 to bus station 8 at 0.09 kV (0.07%). Based on the analysis results, the power losses and voltage drops remain within the permissible tolerance limits.

**Keywords**—Distribution system, power losses, voltage drop, ETAP

**Intisari**—Untuk mengetahui kondisi suatu sistem tenaga listrik, umumnya dilakukan simulasi aliran daya. Melalui aliran daya dapat diketahui parameter-parameter dalam sistem tenaga listrik, termasuk rugi-rugi daya dan jatuh tegangan. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak ETAP 19.0.1 untuk mensimulasikan sistem distribusi listrik di PT. Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada beban siang, total rugi-rugi daya aktif dan reaktif sebesar 49 kW dan 50 kVAr, sedangkan pada beban malam sebesar 47 kW dan 54 kVAr. Tegangan terbesar terjadi pada bus f11b ke bus f11c sebesar 13,69 kV (13,71%) dan tegangan terendah terjadi pada bus 2 ke bus malam sebesar 10,09 kV (10,02%). Jatuh tegangan terendah terdapat di stasiun 8 dari bus stasiun 7 ke bus stasiun 8 sebesar 0,09 kV (0,07%). Berdasarkan hasil analisa, nilai rugi-rugi daya dan jatuh tegangan masih dalam batas toleransi yang diizinkan.

**Kata Kunci**—Sistem distribusi, rugi-rugi daya, jatuh tegangan, ETAP

## I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan kebutuhan dasar yang esensial bagi kehidupan manusia saat ini. Seiring dengan meningkatnya aktivitas di berbagai sektor (mulai dari rumah tangga, sosial, industri hingga pemerintahan), kebutuhan pasokan listrik yang andal, terjangkau, dan berkualitas juga semakin mendesak. Agar kebutuhan ini terpenuhi, distribusi energi listrik harus terjaga kontinuitasnya,

dengan kualitas yang mendukung efisiensi dan keandalan sistem.

Perkembangan teknologi di berbagai sektor menuntut penyediaan listrik yang optimal melalui pasokan yang memadai dan sistem distribusi yang berkualitas. Hal ini menjadi tantangan tersendiri bagi penyedia tenaga listrik untuk terus meningkatkan kualitas pelayanan dan kontinuitas pasokan energi kepada konsumen. Salah satu indikator kualitas pelayanan energi listrik adalah nilai rugi-rugi daya dan jatuh tegangan. Semakin kecil nilai kedua parameter tersebut, maka semakin baik pula kualitas sistem tenaga listrik. Nilai rugi-rugi daya dan jatuh tegangan ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jenis dan panjang penghantar, tipe jaringan distribusi, kapasitas trafo, faktor daya, serta besaran daya terpasang dan intensitas penggunaan listrik di titik beban. Penelitian pada [1] menekankan bahwa optimasi jaringan distribusi juga harus mempertimbangkan aspek keamanan dan efisiensi operasional untuk menjamin stabilitas sistem tenaga listrik.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji analisis rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada sistem distribusi listrik. Sebagai contoh, penelitian di [2] menganalisis rugi-rugi daya pada jaringan distribusi 20 kV di Kabupaten Kepulauan Sangehe dan menemukan bahwa panjang penghantar serta jenis kawat memiliki pengaruh signifikan terhadap rugi daya. Sementara itu, penelitian di [3] menggunakan ETAP untuk menganalisis rugi daya pada jaringan distribusi penyulang Ahuru dan menyimpulkan bahwa simulasi tersebut dapat dijadikan dasar perbaikan sistem distribusi agar lebih efisien. Penelitian lain di [4] membandingkan perhitungan rugi daya secara manual dan dengan ETAP pada jaringan distribusi Penyulang Jentak di GI Punagaya, yang menunjukkan bahwa pergantian konduktor dapat secara signifikan mengurangi rugi daya. Selain itu, studi di [5] mengenai sistem kelistrikan PT. Pertamina Ledok menekankan pentingnya analisis aliran daya dalam meningkatkan keandalan sistem distribusi listrik. Penelitian tambahan dalam [6] juga menyoroti peran penting pemeliharaan berkala pada infrastruktur listrik dalam mengurangi rugi-rugi energi dan menjaga kestabilan sistem distribusi secara keseluruhan.

PT. Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field memiliki sejumlah peralatan listrik untuk mendukung proses produksi dan kebutuhan operasional lainnya dengan daya listrik yang cukup besar. Mengingat rugi-rugi daya dan jatuh tegangan merupakan fenomena

yang tidak dapat dihindari, penting untuk mengetahui apakah nilai-nilai tersebut masih berada dalam batas yang diizinkan atau telah melampaui standar yang ditetapkan. Selain itu, evaluasi secara berkala terhadap sistem distribusi juga menjadi kunci dalam mendeteksi potensi masalah serta mengoptimalkan performa jaringan listrik. Hal ini sejalan dengan temuan beberapa penelitian terbaru yang menyarankan integrasi sistem monitoring cerdas untuk meningkatkan respon dan pemeliharaan sistem distribusi secara real time [6]. Sedangkan beberapa penelitian telah dilakukan sebelumnya untuk mereduksi rugi-rugi daya aktif dan meningkatkan nilai tegangan pada sistem distribusi dengan menggunakan beberapa metode seperti rekonfigurasi jaringan pada [7] dan [8] dan dengan menggunakan kapasitor [9] dan [10].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada sistem tenaga listrik, khususnya pada sistem distribusi di PT. Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai performa sistem distribusi saat ini serta rekomendasi perbaikan yang dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan pasokan listrik.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan bagian integral dari sistem tenaga listrik yang bertugas menyalurkan energi dari pembangkit hingga ke konsumen akhir. Perannya sangat penting untuk memastikan pasokan listrik yang andal, efisien, dan memenuhi standar kualitas. Secara umum, jaringan distribusi dapat dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu jaringan primer dan jaringan sekunder.

Jaringan primer, atau yang dikenal sebagai jaringan tegangan menengah (JTM), menyalurkan listrik dengan tegangan relatif tinggi, seperti 6 kV, 12 kV, atau 20 kV. Tegangan yang tinggi ini digunakan untuk mengoptimalkan transfer daya jarak jauh dan meminimalkan rugi-rugi daya selama proses transmisi. Di sisi lain, jaringan sekunder, atau jaringan tegangan rendah (JTR), mendistribusikan listrik dengan tegangan yang lebih rendah, yaitu 220 V dan 380 V, yang umumnya digunakan untuk keperluan konsumsi rumah tangga dan industri kecil [11].

### B. Rugi-rugi Daya

Rugi-rugi daya adalah perbedaan antara daya yang dikirim dari sumber dengan daya yang diterima oleh beban (konsumen) [12]. Dalam proses penyaluran energi listrik melalui jaringan distribusi, terjadi penurunan nilai daya karena adanya kehilangan energi di sepanjang saluran, yang disebabkan oleh arus yang mengalir melalui konduktor. Arus ini menghasilkan efek pemanasan pada penghantar akibat sifat resistif material, sehingga sebagian energi listrik diubah menjadi energi panas dan tidak dapat dimanfaatkan oleh konsumen [13].

Secara umum, rugi-rugi daya dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama, yaitu rugi-rugi teknis dan rugi-rugi non-teknis. Rugi-rugi teknis muncul akibat karakteristik fisik material dan peralatan jaringan, seperti

resistansi penghantar, induktansi, dan reaktansi komponen-komponen sistem tenaga listrik. Faktor-faktor tersebut merupakan bagian inheren dari desain dan material yang digunakan dalam jaringan distribusi, sehingga pengurangan rugi-rugi teknis memerlukan perbaikan pada aspek teknis seperti pemilihan material penghantar yang berkualitas dan perancangan sistem yang optimal [13].

Di sisi lain, rugi-rugi non-teknis timbul dari faktor-faktor operasional dan administratif, misalnya kesalahan pemasangan, perawatan yang tidak memadai, maupun kehilangan energi akibat pencurian atau pembacaan meter yang tidak akurat. Pengelolaan rugi-rugi non-teknis memerlukan pendekatan manajerial yang baik, termasuk sistem monitoring dan pengawasan yang efektif untuk mengidentifikasi serta mengatasi masalah secepatnya [14]. Persamaan rugi-rugi daya aktif dan reaktif adalah sebagai berikut:

$$P_{losses} = 3 \times I^2 \times R \times l \quad (1)$$

$$Q_{losses} = 3 \times I^2 \times X \times l \quad (2)$$

Keterangan :

$P_{losses}$  : Rugi-rugi Daya Aktif (Watt);

$Q_{losses}$  : Rugi-rugi Daya Reaktif (VAr);

$I$  : Arus (Ampere);

$R$  : Tahanan Rangkaian ( $\Omega$ );

$l$  : Panjang Penghantar (m);

$X$  : Reaktansi Penghantar ( $\Omega$ ).

### C. Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan adalah penurunan tegangan yang terjadi pada penghantar selama proses penyaluran energi listrik dari sumber ke beban. Penurunan ini timbul akibat hambatan ( $R$ ) dan reaktansi ( $X$ ) pada konduktor, yang menyebabkan adanya perbedaan antara tegangan pada sisi pengiriman dan sisi penerima [15]. Fenomena ini tidak hanya terjadi pada sisi pelanggan, tetapi juga pada jaringan milik perusahaan listrik, sehingga sangat memengaruhi kualitas energi yang diterima oleh konsumen.

Dalam perancangan sistem distribusi, standar seperti yang tercantum dalam SPLN tegangan dan IEEE Std. 141-1993 menyarankan agar jatuh tegangan di ujung penerima tidak melebihi 10% dari tegangan nominal [13]. Batasan ini penting untuk menjaga agar peralatan listrik di sisi konsumen dapat beroperasi secara optimal tanpa mengalami kerusakan akibat tegangan yang tidak stabil. Untuk mencapai batas tersebut, desain jaringan harus mengakomodasi karakteristik konduktor termasuk nilai  $R$  dan  $X$  serta mempertimbangkan faktor-faktor lain seperti jarak penyaluran dan kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhi performa penghantar baik pada saluran transmisi maupun distribusi.

Selain aspek perancangan teknis, implementasi sistem monitoring dan proteksi cerdas juga menjadi solusi strategis untuk mendeteksi serta mengatasi masalah jatuh tegangan secara real time. Teknologi ini memungkinkan identifikasi dini terhadap anomali dalam jaringan, sehingga perbaikan dapat segera dilakukan untuk meminimalkan dampak negatif terhadap distribusi energi [16]. Dengan demikian, pengendalian jatuh tegangan melalui perbaikan desain dan teknologi monitoring

menjadi kunci dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem distribusi listrik.

Persamaan jatuh tegangan pada saluran adalah sebagai berikut:

$$\Delta V = |V_k - V_t| \quad (3)$$

Keterangan :

$\Delta V$  : Jatuh tegangan (Volt);

$V_k$  : Tegangan kirim (Volt);

$V_t$  : Tegangan terima (Volt).

#### D. Studi Aliran Daya

Studi aliran daya merupakan analisis operasional yang sangat penting untuk mengetahui informasi mengenai distribusi dan pergerakan daya dalam sistem tenaga listrik. Analisis ini diperlukan guna mengevaluasi kinerja sistem, baik dari sisi pembebanan maupun pembangkitan, serta memastikan bahwa sistem beroperasi pada kondisi yang optimal. Analisis aliran daya memungkinkan perhitungan parameter-parameter penting seperti tegangan bus, faktor daya penyulang, arus, dan aliran daya pada setiap saluran dalam sistem [12].

Hasil analisis aliran daya tidak hanya memberikan gambaran kondisi operasi sistem secara steady state, tetapi juga menjadi dasar untuk melakukan evaluasi lebih lanjut terhadap stabilitas sistem. Misalnya, apabila terdapat komponen yang tidak terhubung dengan baik atau terdapat ketidaksesuaian antara daya yang tersedia dan daya yang dibutuhkan, kondisi tersebut dapat disimulasikan dalam konteks analisis stabilitas transien dan analisis kontingensi. Proses ini sangat penting untuk mengidentifikasi potensi masalah dan merancang strategi penanganan yang efektif agar sistem tetap handal dan aman [17].

Berbagai metode numerik seperti metode Newton-Raphson dan Gauss-Seidel umum diterapkan dalam studi aliran daya untuk mencapai solusi yang akurat dan efisien. Dengan demikian, load flow analysis tidak hanya berperan sebagai alat diagnostik, tetapi juga sebagai dasar perencanaan pengembangan dan peningkatan sistem tenaga di masa depan, guna mengoptimalkan distribusi energi dan meminimalkan rugi-rugi dalam jaringan [12], [18].

#### E. Perhitungan Aliran Daya

Pada setiap gardu distribusi, perhitungan aliran daya menjadi kunci untuk mengetahui besaran tegangan dan sudut fasanya. Proses ini disebut analisis aliran daya, yang kemudian hasilnya digunakan untuk menentukan besarnya aliran daya aktif (real power) dan daya reaktif (reactive power) pada setiap peralatan transmisi [12]. Parameter utama dalam perhitungan aliran daya meliputi:

- 1) Daya aktif (P), dinyatakan dalam satuan megawatt (MW);
- 2) Daya reaktif (Q), dinyatakan dalam satuan megavolt-ampere reaktif (MVAR);
- 3) Besar (magnitude) tegangan (V), dinyatakan dalam kilovolt (kV);
- 4) Sudut fasa tegangan ( $\delta$ ) – dinyatakan dalam radian.

Penentuan kondisi operasi suatu sistem tenaga juga melibatkan analisis sudut fasa ( $\delta$ ) dari setiap mesin. Sudut

fasa ini merupakan parameter penting yang menunjukkan perbedaan antara tegangan pada sisi pengiriman dan sisi penerima, serta dapat dikonversikan antara derajat dan radian sesuai dengan bentuk persamaan yang digunakan. Apabila persamaan aliran daya dapat diselesaikan, diperoleh fungsi waktu dari sudut fasa tersebut. Grafik yang dihasilkan, yang dikenal dengan kurva ayunan (swing curve), menggambarkan dinamika respons mesin terhadap gangguan; analisis ini menunjukkan bahwa meskipun terjadi gangguan, mesin cenderung mempertahankan sinkronisasi dalam sistem [18].

Selain itu, dalam studi aliran daya, bus (titik sambungan pada jaringan) diklasifikasikan berdasarkan parameter yang diketahui dan yang dicari, yaitu:

- 1) Load Bus (bus beban): Diketahui daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), sedangkan variabel tegangan (V) dan sudut fasa ( $\delta$ ) merupakan variabel yang harus dihitung.
- 2) Voltage Controlled Bus (bus generator): Diketahui daya aktif (P) dan besaran tegangan (V), sementara daya reaktif (Q) dan sudut fasa ( $\delta$ ) dihitung berdasarkan kondisi sistem.
- 3) Slack Bus/Reference Bus (bus acuan): Besaran tegangan (V) dan sudut fasa ( $\delta$ ) ditetapkan sebagai acuan. Bus ini digunakan untuk menyeimbangkan kelebihan atau kekurangan daya (baik beban maupun rugi jaringan), karena nilai kerugian jaringan baru dapat dihitung setelah perhitungan load flow selesai [12], [19].

Analisis aliran daya dan klasifikasi bus ini merupakan fondasi penting dalam perencanaan dan pengoperasian sistem tenaga listrik. Dengan pemodelan yang tepat, engineer dapat mengidentifikasi potensi masalah dan mengoptimalkan performa sistem, sehingga distribusi energi berjalan dengan efisien dan andal.

Pada setiap gardu distribusi dapat menghitung besaran pada tegangan dan sudut fasanya atau biasa disebut dengan perhitungan aliran daya. Kemudian hasilnya akan digunakan untuk menghitung setiap peralatan transmisi yaitu besarnya aliran daya aktif dan daya reaktif. Adapun parameter dalam perhitungan aliran daya ini yaitu sebagai berikut:

- 1) Daya aktif (*real power*), dengan simbol P dalam satuan MW
- 2) Daya reaktif (*reactive power*), dengan simbol Q dalam satuan MVAR
- 3) Besar (*magnitude*) tegangan, dengan simbol V dalam satuan kV
- 4) Sudut fasa tegangan, dengan *symbol*  $\delta$  dalam satuan Radian

Untuk menentukan sebuah mesin dalam keadaan sistem daya digunakan simbol sudut fasa tegangan ( $\delta$ ) yang terkait dengan derajat dan radian listrik diberbagai bentuk ekuivalen dari persamaan yang dipakai. Ketika persamaan ini mampu diselesaikan, maka didapatkan rumus untuk ( $\delta$ ) sebagai fungsi waktu. Grafik dalam penyelesaian persamaan ini disebut kurva ayunan (*swing curve*) mesin. Meneliti kurva 30 ayunan pada semua mesin dalam sistem akan terlihat bahwa walaupun terjadi gangguan mesin akan tetap seragam. Kemudian ketika acuan atau parameter tersebut diketahui maka Bus dapat diklasifikasikan menjadi 3 bagian yaitu:

- 1) *Load Bus* atau bus beban adalah daya aktif (P), daya reaktif (Q) diketahui, lalu besaran variabel tegangan (V) dan sudut fasa tegangan ( $\delta$ ) yang dicari.
- 2) *Voltage controlled bus* atau bus generator adalah daya aktif (P), besaran tegangan (V) yang diketahui, sedangkan daya reaktif (Q) dan sudut fasa tegangan ( $\delta$ ) yang belum diketahui dan merupakan hasil perhitungan.
- 3) *Slack Bus/Reference Bus/Bus Swing Variabel* yang diketahui adalah besaran tegangan (V) dan sudut fasa ( $\delta$ ) yang menjadi suatu acuan. Bus ini ditentukan pada perhitungan aliran daya untuk mendapatkan kekurangan daya (beban dan kerugian), karena kerugian jaringan tidak dapat diketahui ketika belum menyelesaikan perhitungan. Besaran daya pada setiap Bus dapat dinyatakan dengan persamaan dibawah ini:

$$S_i = S_{Gi} - S_{Bi} - S_{Li} \quad (4)$$

Keterangan :

- $S_i$  : Sumber daya pada bus i (VA)
- $S_{Gi}$  : Sumber daya yang masuk kedalam bus i (VA)
- $S_{Bi}$  : Beban yang keluar dari bus i (VA)
- $S_{Li}$  : Beban Losses (VA)

Jika dalam bentuk yang kompleks persamanya dinyatakan sebagai berikut:

$$P_i = jQ_i(P_{Gi} + jQ_{Gi}) - (P_{Bi} + jQ_{Bi}) - (P_{Li} + jQ_{Li}) \quad (5)$$

### III. METODE PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan sistematis untuk menganalisis aliran daya pada sistem kelistrikan PT Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field. Tahapan tersebut meliputi:

- 1) Observasi dan Pengumpulan Data
  - a) Melakukan observasi langsung di PT Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field guna memperoleh data teknis yang diperlukan.
  - b) Mengumpulkan data pendukung seperti spesifikasi peralatan listrik, single line diagram, kapasitas pembangkit, dan konfigurasi jaringan distribusi.
- 2) Pemodelan Sistem Kelistrikan
  - a) Menyusun model sistem tenaga listrik berdasarkan single line diagram dan data teknis yang telah dikumpulkan.
  - b) Memverifikasi data dan memastikan keakuratan parameter sistem sebelum dilakukan simulasi.
- 3) Studi Aliran Daya Menggunakan ETAP 19.0.1
  - a) Melakukan simulasi aliran daya dengan menggunakan perangkat lunak ETAP 19.0.1 untuk menganalisis distribusi daya aktif dan reaktif dalam sistem.
  - b) Mengidentifikasi profil tegangan, arus, dan faktor daya pada setiap bus serta menentukan tingkat efisiensi jaringan distribusi.
  - a) Analisis dan Evaluasi Hasil Simulasi Menganalisis hasil simulasi untuk mengiden-

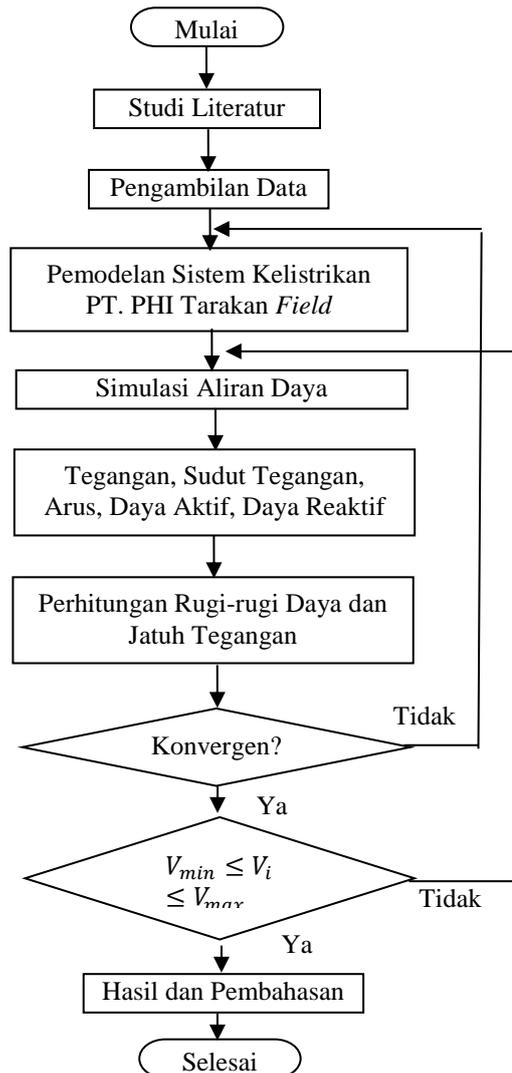
tifikasi potensi rugi-rugi daya dan jatuh tegangan dalam sistem.

- b) Membandingkan hasil simulasi dengan standar kelistrikan yang berlaku untuk menentukan tingkat keandalan sistem.
- c) Menyusun rekomendasi perbaikan atau optimasi guna meningkatkan efisiensi dan stabilitas sistem tenaga listrik.

### IV. DATA SISTEM

#### A. Sistem Tenaga Listrik PT. PHI Tarakan Field

Dalam sistem distribusi tegangan 6.6 kV di PT Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field, terdapat tiga pembangkit tenaga listrik yang menjadi komponen utama dalam penyediaan daya di area tersebut. Dari ketiga pembangkit tersebut, dua unit menggunakan mesin gas sebagai sumber utama energi, sedangkan satu unit lainnya menggunakan mesin diesel. Ketiga pembangkit ini dirancang untuk bekerja secara terkoordinasi guna menjaga stabilitas pasokan daya listrik di kawasan operasional PT Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field. Namun, saat ini hanya dua pembangkit yang beroperasi secara aktif dan kontinu, sementara satu pembangkit lainnya dalam kondisi siaga (standby) untuk digunakan jika diperlukan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pembangkit berbasis mesin gas secara aktif menyalurkan daya listrik ke dalam jaringan distribusi. Distribusi daya ini dikelola secara cermat untuk memastikan setiap stasiun penerima mendapatkan pasokan yang optimal. Daya listrik yang dihasilkan oleh sistem tenaga listrik PT. Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field diintegrasikan ke dalam sistem yang lebih besar melalui synchronizing bus. Setelah proses sinkronisasi selesai, listrik kemudian dibagi ke dalam tujuh feeder, yang masing-masing dirancang untuk menyalurkan daya ke berbagai stasiun distribusi.

Setiap feeder memiliki peran spesifik dalam memastikan distribusi daya listrik yang merata dan efisien, dengan mempertimbangkan beban yang dibutuhkan oleh setiap bagian dari fasilitas PT. Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field. Distribusi daya ini tidak hanya difokuskan pada kebutuhan energi di tingkat produksi, tetapi juga mencakup berbagai fasilitas pendukung, seperti pompa industri, sistem penerangan stasiun, penerangan perkantoran, serta alat-alat produksi lainnya yang memerlukan pasokan listrik yang stabil dan andal.

**B. Hasil Simulasi**

Simulasi aliran daya dilakukan untuk menganalisis kinerja sistem distribusi tenaga listrik pada dua skenario beban, yaitu beban siang pukul 11.00 WITA dan beban malam pukul 21.00 WITA. Perbedaan pola konsumsi listrik pada kedua skenario ini bertujuan untuk mengetahui variasi beban terhadap parameter utama sistem, seperti profil tegangan, aliran daya aktif dan reaktif, serta rugi-rugi daya dalam jaringan.

Dengan membandingkan hasil simulasi dari kedua skenario, dapat dilakukan evaluasi terhadap kinerja sistem distribusi tenaga listrik, termasuk identifikasi titik-titik kritis yang mengalami jatuh tegangan berlebihan atau rugi-rugi daya yang signifikan. Hasil analisis ini dapat menjadi dasar dalam perencanaan optimalisasi sistem guna meningkatkan efisiensi serta keandalan pasokan listrik di PT Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field.

Tabel I

Total Pembangkit dan Beban Pada Beban Siang

Daya	kW	kVAr	kVA	%PF
Pembangkit (swing)	450	653	793	56,73
Pembangkit (non-swing)	457	287	540	84,69
Total beban	907	940	1.306	60,43
Total rugi-rugi daya	49	50		

Tabel II

Total Pembangkit Dan Beban Pada Beban Malam

Daya	kW	kVAr	kVA	%PF
Pembangkit (swing)	493	736	886	55,63
Pembangkit (non-Swing)	517	315	605	85,40
Total beban	1.010	1.051	1.457	69,28
Total rugi-rugi daya	47	54		

Berdasarkan simulasi aliran daya, pada tabel I dan II adalah nilai hasil total daya pembangkit, total beban dan

total rugi-rugi daya yang dipakai pada saat siang hari pukul 11.00 WITA dan malam hari pukul 21.00 WITA.

Tabel III  
Hasil Simulasi Aliran Daya (Beban Siang)

No	Keterangan Bus		Daya	
	Dari Bus	Ke Bus	MW	MVA <sub>r</sub>
1.	Bus ptl	Bus 66	-0,049	-0,060
2.	Bus ptl	Bus 69	0,023	0,046
3.	Bus stn 1a	Bus 2	-0,169	-0,152
4.	Bus atn 1a	Bus stn 2a	0,077	0,005
5.	Bus stn 1a	Bus stn 3a	0,072	0,099
6.	Bus stn 1a	Bus 141	0,020	0,048
7.	Bus stn 1b	Bus 39	-0,014	-0,039
8.	Bus stn 1b	Bus 40	0,000	0,000

Tabel IV  
Tegangan dan Sudut Tegangan (Beban Siang)

No	Keterangan Bus		Tegangan (kV)	Sudut Teg. (°)
	Dari Bus	Ke Bus		
1	Bus ptl	Bus 66	0,2222	-0,1
2	Bus stn 1a	Bus 2	6,534	0,1
3	Bus stn 1b	Bus 39	0,3476	3,0
4	Bus stn 2a	Bus stn 1a	6,534	0,1
5	Bus stn 2b	Bus 45	0,4532	-0,4
6	Bus stn 3a	Bus stn 1a	6,534	0,1
7	Bus stn 3b	Bus 70	0,4312	0
8	Bus stn 5a	Bus 2	6,534	0,1

Tabel V  
Jatuh Tegangan (Beban Siang)

No	Saluran	Keterangan Bus		Jatuh Teg. (%)
		Dari Bus	Ke Bus	
1	Kabel stn 1	Bus 2	Bus stn 1a	0,33
2	Kabel stn 2	Bus stn 1a	Bus stn 2a	0,06
3	Kabel stn 3	Bus stn 1a	Bus stn 3a	0,08
4	Kabel stn 5	Bus 2	Bus stn 5	0,37
5	Kabel stn 7	Bus 2	Bus stn 7a	0,20
6	Kabel stn 12	Bus stn 13	Bus stn 12	0,02
7	Kabel ptl	Bus 2	Bus 145	0,03
8	Kabel stn 10	Bus stn 9	Bus stn 10a	0,01

Tabel VI  
Rugi-Rugi Daya Pada Saluran (Beban Siang)

No	Saluran	Keterangan Bus		Rugi-rugi daya	
		Dari Bus	Ke Bus	kW	kVA <sub>R</sub>
1	Kabel stn 1	Bus 2	Bus stn 1a	0,8	0,2
2	Kabel stn 2	Bus stn 1a	Bus stn 2a	0,0	0,0
3	Kabel stn 3	Bus stn 1a	Bus stn 3a	0,1	0,0
4	Kabel stn 5	Bus 2	Bus stn 5	1,4	0,3
5	Kabel stn 7	Bus 2	Bus stn 7a	1,3	0,3
6	Kabel stn 12	Bus stn 13	Bus stn 12	0,0	0,0
7	Kabel ptl	Bus 2	Bus 145	0,0	0,0
8	Kabel stn 5	Bus stn 9	Bus stn 10a	0,0	0,0

Tabel VII  
Aliran Daya (Beban Malam)

No	Keterangan Bus		Daya	
	Dari Bus	Ke Bus	MW	MVAR
1	Bus ptl	Bus 66	-0,049	-0,060
2	Bus ptl	Bus 69	0,023	0,046
3	Bus stn 8a 1	Bus stn 7a	-0,112	-0,121
4	Bus stn 8a 1	Bus 86	0,035	0,098
5	Bus stn 8a 1	Bus stn 9	0,038	0,014
6	Bus stn 8a 1	Bus stn 8 a2	0,038	0,010
7	Bus stn 1a	Bus 2	-0,195	-0,263
8	Bus stn 1a	Bus stn 2a	0,077	0,162

Tabel VIII  
Tegangan dan Sudut Tegangan (Beban Malam)

No	Keterangan Bus		Tegangan (kV)	Sudut teg. (°)
	Dari Bus	Ke Bus		
1	Bus ptl	Bus 66	0,2222	-0,1
2	Bus stn 1a	Bus 2	6,534	0,2
3	Bus stn 1b	Bus 39	0,3344	-1,1
4	Bus stn 2a	Bus stn 1a	6,534	0,3
5	Bus stn 2b	Bus 45	0,4444	0,5
6	Bus stn 3a	Bus stn 1a	6,534	0,2
7	Bus stn 3b	Bus 70	0,4312	0
8	Bus st 5a	Bus 2	6,534	0,2

Tabel IX  
Jatuh Tegangan (Beban Malam)

No	Saluran	Keterangan Bus		Jatuh Teg. (%)
		Dari Bus	Ke Bus	
1	Kabel stn 1	Bus 2	Bus stn 1a	0,42
2	Kabel stn 2	Bus stn 1a	Bus stn 2a	0,09
3	Kabel stn 3	Bus stn 1a	Bus stn 3a	0,08
4	Kabel stn 5	Bus 2	Bus stn 5a	0,42
5	Kabel stn 7	Bus 2	Bus stn 7a	0,21
6	Kabel stn 12	Bus stn 13	Bus stn 12	0,03
7	Kabel ptl	Bus 2	Bus 145	0,03
8	Kabel stn 10	Bus stn 9	Bus stn 10a	0,01

Tabel X  
Rugi-Rugi Daya Pada Saluran (Beban Malam)

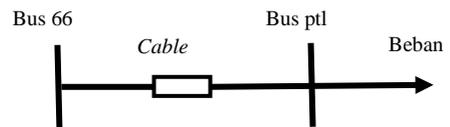
No	Saluran	Keterangan Bus		Rugi-rugi Daya	
		Dari Bus	Ke Bus	kW	kVA R
1	Kabel stn 1	Bus 2	Bus stn 1a	1,8	0,4
2	Kabel stn 2	Bus stn 1a	Bus stn 2a	0,2	0,3
3	Kabel stn 3	Bus stn 1a	Bus stn 3a	0,1	0,0
4	Kabel stn 5	Bus 2	Bus stn 5a	2,0	0,5

No	Saluran	Keterangan Bus		Rugi-rugi Daya	
		Dari Bus	Ke Bus	kW	kVA R
5	Kabel stn 7	Bus 2	Bus stn 7a	1,2	0,3
6	Kabel stn 12	Bus stn 13	Bus stn 12	0,0	0,0
7	Kabel ptl	Bus 2	Bus 145	0,0	0,0
8	Kabel stn 10	Bus stn 9	Bus stn 10a	0,0	0,0

C. Validasi Hasil Simulasi

1) Perhitungan Aliran Daya

Berikut ini merupakan pembuktian validitas simulasi aliran daya menggunakan metode Newton-Raphson, yaitu dengan menganalisis keseimbangan daya total yang masuk dan keluar dari setiap bus. Jika hasil perhitungan menunjukkan bahwa jumlah daya total yang masuk sama dengan daya total yang keluar, atau dengan kata lain selisihnya mendekati nol, maka simulasi dianggap telah berjalan dengan benar dan konvergen. Hal ini menunjukkan bahwa sistem telah memenuhi prinsip konservasi energi serta kesetimbangan daya dalam jaringan.



$$S_{21} - S_{12} - S_{L21} = 0$$

$$(P_{21} + jQ_{21}) - (P_{12} + jQ_{12}) - (P_{L21} + jQ_{21}) = 0$$

$$(49 + j60) - (49 + j60) - (0 + j0) = 0$$

2) Perhitungan Jatuh Tegangan Beban Siang

Berikut ini adalah perhitungan jatuh tegangan pada beban siang di saluran distribusi PT. PHI Tarakan Field:

$$\Delta V = |V_k - V_t|$$

$$\Delta V = |99,7 - 100| = 0,3 \text{ kV}$$

$$V_r = \left| \frac{V_k - V_t}{V_t} \right| \times 100\%$$

$$V_r = \left| \frac{99,7 - 100}{100} \right| \times 100\% = 0,3\%$$

Hasil di atas menunjukkan perhitungan jatuh tegangan. Perhitungan serupa dapat diterapkan pada bagian lain dalam sistem distribusi dengan metode yang sama. Hasil lengkap dari perhitungan jatuh tegangan untuk seluruh bagian dapat dilihat pada tabel XI.

Tabel XI  
Perhitungan Jatuh Tegangan Pada Beban Siang

No	Saluran	Keterangan Bus		Jatuh tegangan			
		Dari Bus	Ke Bus	$\Delta V$		$V_r$	
				$V_k$ (kV)	$V_t$ (kV)	K v	%
1	K stn 1	B 2	B s 1a	99,7	100	0,3	0,3
2	K stn 2	B s1a	B s 2a	99,7	99,6	0,1	0,1

No	Saluran	Keterangan Bus		Jatuh tegangan			
		Dari Bus	Ke Bus	ΔV		V <sub>r</sub>	
				V <sub>k</sub> (kV)	V <sub>t</sub> (kV)	K <sub>v</sub>	%
3	K stn 3	B s 1a	B s 3a	99,7	99,6	0,1	0,1
4	K stn 5	B 2	B s 5	99,6	100	0,4	0,4
5	K stn 7	B 2	B s 7a	99,8	100	0,2	0,2
6	K stn 12	B s 13	B s 12	99,8	99,9	0,1	0,1
7	K ptl	B 2	B 145	100	100	0	0
8	K stn 10	B s 9	B s 10a	99,7	99,7	0	0

3) Perhitungan Rugi-rugi Daya Pada Beban Siang

Berikut ini adalah perhitungan rugi-rugi daya pada beban siang di saluran distribusi PT. Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field menggunakan Persamaan (1) dan (2) sebagai berikut:

$$P_{Losses} = 3 \times 19,9^2 \times 0,47 \times 1,5$$

$$P_{Losses} = 0,841775 \text{ kW}$$

$$Q_{Losses} = 3 \times 19,9^2 \times 0,108 \times 1,5$$

$$Q_{Losses} = 0,193429 \text{ kVAR}$$

Perhitungan di atas menunjukkan rugi-rugi daya pada kabel Stasiun 1, dengan hasil P = 0,841775 kW dan Q = 0,193429 kVAR. Metode yang sama digunakan untuk perhitungan pada bagian lainnya, dan hasil lengkapnya dapat dilihat pada tabel XII.

Tabel XII  
Perhitungan Rugi-Rugi Daya Pada Beban Siang

No	Saluran	Keterangan Bus		Hasil Perhitungan	
		Dari Bus	Ke Bus	kW	Kvar
1	Kabel stn 1	Bus 2	Bus stn 1a	0,84	0,19
2	Kabel stn 2	Bus stn 1a	Bus stn 2a	0,04	0,01
3	Kabel stn 3	Bus stn 1a	Bus stn 3a	0,12	0,02
4	Kabel stn 5	Bus 2	Bus stn 5	1,38	0,31
5	Kabel stn 7	Bus 2	Bus stn 7a	1,28	0,29
6	Kabel stn 12	Bus stn 13	Bus stn 12	0,0	0,0
7	Kabel ptl	Bus 2	Bus 145	0,03	0,0
8	Kabel stn 5	Bus stn 9	Bus stn 10a	0,02	0,01

4) Perhitungan Jatuh Tegangan Beban Malam

Berikut ini adalah perhitungan jatuh tegangan pada beban malam di saluran distribusi PT. PHI Tarakan Field:

$$\Delta V = |99,6 - 100| = 0,4$$

$$V_r = \left| \frac{99,6 - 100}{100} \right| \times 100\% = 0,4\%$$

Hasil di atas menunjukkan perhitungan jatuh tegangan. Perhitungan serupa dapat diterapkan pada bagian lain dalam sistem distribusi dengan metode yang sama. Hasil lengkap dari perhitungan jatuh tegangan untuk seluruh bagian dapat dilihat pada tabel XIII.

Tabel XIII  
Perhitungan Jatuh Tegangan Beban Malam

No	Saluran	Keterangan Bus		Jatuh Tegangan			
		Dari Bus	Ke Bus	ΔV		V <sub>t</sub>	
				V <sub>k</sub> (kV)	V <sub>t</sub> (kV)	k <sub>v</sub>	%
1	K stn 1	B 2	B s 1a	99,6	100	0,4	0,4
2	K stn 2	B s 1a	B s 2a	99,6	99,5	0,1	0,1
3	K stn 3	B s 1a	B s 3a	99,6	99,5	0,1	0,1
4	K stn 5	B 2	B s 5a	99,6	100	0,4	0,4
5	K stn 7	B 2	B s 7a	99,8	100	0,2	0,2
6	K stn 12	B s 13	B s 12	99,8	99,8	0	0
7	K ptl	B 2	B 145	100	100	0	0
8	K stn 10	B s 9	B s 10a	99,7	99,7	0	0

5) Perhitungan Rugi-rugi Daya Beban Malam

Berikut ini adalah perhitungan rugi-rugi daya pada beban malam saluran distribusi PT. Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field menggunakan Persamaan (1) dan (2) sebagai berikut:

$$P_{Losses} = 3 \times 28,77^2 \times 0,47 \times 1,5$$

$$P_{Losses} = 1,750613 \text{ kW}$$

$$Q_{Losses} = 3 \times 28,77^2 \times 0,108 \times 1,5$$

$$Q_{Losses} = 0,402268 \text{ kVAR}$$

Perhitungan di atas menunjukkan rugi-rugi daya pada kabel Stasiun 1, dengan hasil P = 1,750613 kW dan Q = 0,402268 kVAR. Metode yang sama digunakan untuk perhitungan pada bagian lainnya, dan hasil lengkapnya dapat dilihat pada tabel XIV.

Tabel XIV  
Perhitungan Rugi-Rugi Daya Beban Malam

No	Saluran	Keterangan Bus		Hasil Perhitungan	
		Dari Bus	Ke Bus	kW	Kvar
1	Kabel stn 1	Bus 2	Bus stn 1a	1,75	0,40
2	Kabel stn 2	Bus stn 1a	Bus stn 2a	0,24	0,05
3	Kabel stn 3	Bus stn 1a	Bus stn 3a	0,08	0,01
4	Kabel stn 5	Bus 2	Bus stn 5a	1,96	0,45
5	Kabel stn 7	Bus 2	Bus stn 7a	1,23	0,28
6	Kabel stn 12	Bus stn 13	Bus stn 12	0,01	0,0

No	Saluran	Keterangan Bus		Hasil Perhitungan	
		Dari Bus	Ke Bus	kW	Kvar
7	Kabel ptl	Bus 2	Bus 145	0,03	0,0
8	Kabel stn 10	Bus stn 9	Bus stn 10a	0,0	0,0

D. Perbandingan Hasil Simulasi dan Perhitungan  
 1) Perbandingan Jatuh Tegangan Beban Siang

Tabel XV  
 Perbandingan Jatuh Tegangan Beban Siang

No	Saluran	ETAP		Perhitungan		Selisih
		kV	%	kV	%	
1	Kabel stn 1	0,3	0,33	0,3	0,3	0
2	Kabel stn 2	0,09	0,06	0,1	0,1	0,01
3	Kabel stn 3	0,09	0,08	0,1	0,1	0,01
4	Kabel stn 5	0,4	0,37	0,4	0,4	0
5	Kabel stn 7	0,2	0,20	0,2	0,2	0
6	Kabel stn 12	0,09	0,02	0,1	0,1	0,01
7	Kabel ptl	0	0,03	0	0	0
8	Kabel stn 10	0	0,01	0	0	0

2) Perbandingan Rugi-rugi Daya Beban Siang

Tabel XVI  
 Perbandingan Rugi-Rugi Daya Beban Siang

No	Saluran	Rugi-rugi daya				Selisih	
		Hasil Simulasi		Hasil Perhitungan		%	
		kW	kV AR	kW	kVAR	kW	kV AR
1	K s 1	0,8	0,2	0,8	0,2	0,04	0,01
2	K s 2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,04	0,01
3	K s 3	0,1	0,0	0,1	0,0	0,02	0,02
4	K s 5	1,4	0,3	1,4	0,3	0,02	0,01
5	K s 7	1,3	0,3	1,3	0,3	0,02	0,01
6	K s 12	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
7	K ptl	0,0	0,0	0,0	0,0	0,03	0
8	K s 5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02	0,01

3) Perbandingan Jatuh Tegangan Beban Malam

Tabel XVII  
 Perbandingan Jatuh Tegangan Beban Malam

No	Saluran	ETAP		Perhitungan		Selisih
		Kv	%	kV	%	
1	Kabel stn 1	0,4	0,42	0,4	0,4	0
2	Kabel stn 2	0,09	0,09	0,1	0,1	0,01
3	Kabel stn 3	0,09	0,08	0,1	0,1	0,01
4	Kabel stn 5	0,4	0,42	0,4	0,4	0
5	Kabel stn 7	0,2	0,21	0,2	0,2	0
6	Kabel stn 12	0	0,03	0	0	0
7	Kabel ptl	0	0,03	0	0	0
8	Kabel stn 10	0	0,01	0	0	0

I. Perbandingan Rugi-rugi Daya Beban Malam

Tabel XVII  
 Perbandingan Rugi-Rugi Daya Beban Malam

No	Saluran	Rugi-rugi daya				Selisih	
		Hasil Simulasi		Hasil Perhitungan		%	
		kW	kV AR	kW	kVAR	kW	kV AR
1	K s 1	1,8	0,4	1,75	0,40	0,05	0
2	K s 2	0,2	0,3	0,24	0,05	0,04	0,25
3	K s 3	0,1	0,0	0,08	0,01	0,02	0,01
4	K s 5	2,0	0,5	1,96	0,45	0,04	0,05
5	K s 7	1,2	0,3	1,23	0,28	0,03	0,02
6	K s 12	0,0	0,0	0,01	0,0	0,01	0
7	K ptl	0,0	0,0	0,03	0,0	0,03	0
8	K s 10	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0

V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan hasil perhitungan dari simulasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pemodelan sistem kelistrikan PT. Pertamina Hulu Indonesia Regional 3 Zona 10 Tarakan Field telah berhasil dilakukan menggunakan software ETAP, sesuai dengan kondisi aktual sistem kelistrikan yang ada.
2. Hasil simulasi aliran daya menunjukkan adanya rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada sistem distribusi. Nilai rugi-rugi daya aktif dan reaktif yang terjadi pada beban siang adalah 49 kW dan 50 kVAR, sedangkan pada beban malam sebesar 47 kW dan 54 kVAR.
3. Jatuh tegangan terbesar pada beban siang terjadi pada kabel Stasiun F11 dari Bus Stasiun F11B ke Bus Stasiun F11C, dengan nilai 13,69 kV (13,71%). Sementara itu, jatuh tegangan terendah terjadi di Stasiun 13, dari Bus 2 ke Bus Stasiun 13, dengan nilai 0,1 kV (0,14%). Sedangkan jatuh tegangan terbesar pada beban malam terjadi pada kabel Stasiun F11 dari Bus Stasiun F11B ke Bus Stasiun F11C, dengan nilai 10,09 kV (10,02%), sedangkan jatuh tegangan terendah terjadi pada kabel Stasiun 8, dari Bus Stasiun 7 ke Bus Stasiun 8, dengan nilai 0,09 kV (0,07%). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai jatuh tegangan masih berada dalam batas toleransi yang diperbolehkan.
4. Perbandingan antara hasil simulasi dengan perhitungan manual menunjukkan selisih yang tidak signifikan, sehingga hasil yang diperoleh dapat dikatakan valid dan masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima.

REFERENSI

[1] S. Rahmawati, A. Supriyadi, dan B. Y. Hadi, "Optimasi Jaringan Distribusi untuk Menjamin Stabilitas Sistem Tenaga Listrik," *Jurnal Elektro*, vol. 12, no. 3, pp. 45-52, Maret 2019.

[2] Pilat. dkk, (2020). *Analisa Rugi-rugi Daya pada Saluran Distribusi 20kV Dikabupaten Kepulauan Sangihe*. *Jurnal Teknik Elektro Manado: Universitas Sam Ratulangi Manado*.

- [3] Pratiwi R.W., Haurissa (2020). *Analisa Rugi Daya Berbasis ETAP Pada Jaringan Distribusi 20 kV Penyulang Ahuru* Jurnal Elektronikal dan Komputer Vol. 4 (1), Ambon: Universitas Politeknik Negeri Ambon.
- [4] Nirwana, Dewi dkk. (2020). Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi Penyulang Jentak di ULP Jenepono PT PLN (Persero) Sulselrabar. Jurnal Logika Technology: Universitas Muslim Indonesia.
- [5] Hardyudo. dkk, (2021). Analisa Rugi Daya dan Jatuh Tegangan pada Sistem Kelistrikan PT Pertamina Ledok Untuk Meningkatkan Keandalan Sistem. Jurnal Teknik Elektro Vol. 10 (3) Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- [6] D. Santoso, R. Wibowo, dan F. N. Prabowo, "Implementasi Sistem Monitoring Cerdas untuk Efisiensi Sistem Distribusi Listrik," dalam Proc. of the 2020 International Conference on Power and Energy, Bandung, Indonesia, pp. 112–117, 2020.
- [7] P. Julianto dan R.C.J. Manapa, "Rekonfigurasi Jaringan untuk Mereduksi Jatuh Tegangan dan Rugi-rugi Daya pada Sistem Distribusi 20 kV PT PLN Tarakan," Buletin Profesi Insinyur, vol. 7, no. 2, pp. 94-100, 2024.
- [8] P. Julianto, "Rekonfigurasi Jaringan Pada Sistem Distribusi Radial Untuk Mereduksi Rugi-rugi Daya Menggunakan Algoritma Genetika Adaptif," Jurnal Elekrika Borneo, vol. 9, no. 1, pp. 15–19, 2023.
- [9] P. Julianto dan Fitriani, "Modified Genetic Algorithm for Capacitive Compensation in Radial Distribution Systems," in Proc. of the 2024 11th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI), 2024, pp. 659–665.
- [10] P. Julianto, "Kompensasi Kapasitif Dengan Injeksi Daya Reaktif Untuk Mereduksi Rugi-Rugi Daya Aktif Pada Sistem Distribusi Skala Besar," Jurnal Elekrika Borneo, vol. 9, no. 2, pp. 36–43, 2023.
- [11] A. Prasetyo, "Pentingnya Keandalan Sistem Distribusi Listrik dalam Mendukung Pembangunan Nasional," Jurnal Energi Terbarukan, vol. 7, no. 1, pp. 22–29, Jan. 2022.
- [12] J. Glover, T. Overbye, and M. S. Sarma, *Power System Analysis and Design*, 6th ed., Cengage Learning, 2016.
- [13] H. Saadat, *Power System Analysis*, 3rd ed., McGraw-Hill, 2004.
- [14] W. H. Kersting, *Distribution System Modeling and Analysis*, 2nd ed., CRC Press, 2012.
- [15] IEEE Std 141-1993, "IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants," New York, NY, USA: IEEE, 1993.
- [16] H. Tanjung, "Analisis Jatuh Tegangan pada Sistem Distribusi Listrik," J. Teknik Elektro, vol. 10, no. 2, pp. 89–96, 2014.
- [17] R. D. Zimmerman, C. E. Murillo-Sanchez, and R. J. Thomas, "MATPOWER: Steady-State Operations, Planning, and Analysis Tools for Power Systems Research and Education," IEEE Trans. Power Syst., vol. 26, no. 1, pp. 12–19, Feb. 2011.
- [18] A. R. Bergen and V. Vittal, *Power Systems Analysis*, 2nd ed., Prentice Hall, 2000.
- [19] P. Kundur, *Power System Stability and Control*, McGraw-Hill, 1994.
- [20] IEEE Recommended Practice for Conducting Load-Flow Studies and Analysis of Industrial and Commercial Power Systems, IEEE Std 3002.2-2018, 2018.
- [21] IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants, IEEE Std 141-1993, 1994.
- [22] Hotong, Nolki J. dkk 2015. "Analisa rugi-rugi daya pada jaringan distribusi di PT. PLN Palu" "Other thesis, Universitas Sam Ratulangi Manado.
- [23] Salman, R. 2017. Analisis Penempatan Transformator Distribusi Berdasarkan Jatuh Tegangan. JITEKH 6(1): 17–21.
- [24] Arismunandar, Artono dan Kuwahara, S. (1993), *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik*, cetakan keenam. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [25] SPLN 72-1987. Spesifikasi Desain untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara. Jakarta.
- [26] Hayusman, L. M., T. Hidayat, C. Saleh, I. M. Wartana dan T. Herbasuki. 2017. *Pelatihan Software ETAP (Electrical Transient Analyzer Program)*. Industri Inovatif . 7(1): 7–11.
- [27] Reddy, D. S. dan C. S. Kumari. 2017. *Transient Stability Analysis Of A Combined Cycle Power Plant Using ETAP Software*. IEEE 7th International Advance Computing Conference: 510–115.

## RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN BATTERY PACK LITHIUM UNTUK KENDARAAN LISTRIK KONVERSI (BEATRIX)

Muh. Firdan Nurdin<sup>1</sup>, Sudirman<sup>2</sup>, Andi Erwin Eka Putra<sup>3</sup>, Novriany Amaliyah<sup>4</sup>, Dela Seviana<sup>5</sup>, Yulius Markus Molan<sup>6</sup>

<sup>1,2,5,6</sup>Universitas Borneo Tarakan, Kota Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

<sup>3,4</sup>Universitas Hasanuddin, Kota Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia

<sup>1</sup>firdan@borneo.ac.id

<sup>2</sup>sudirman\_dhuha@borneo.ac.id

<sup>3</sup>erwinep@eng.unhas.ac.id

<sup>4</sup>novriany@unhas.ac.id

<sup>5</sup>delaseviana4@gmail.com

<sup>6</sup>molanmolan06@gmail.com

**Abstract**—The use of electric vehicles (EVs) has been rapidly growing, encompassing both fully electric and converted models. A key component of EVs is the battery. This study focused on designing and testing a battery pack for a converted EV named BEATRIX, employing both analytical and experimental methods. The battery, constructed with lithium-ion cells and equipped with a smart management system, achieves a capacity of approximately 72-83V and 19.2Ah. It measures roughly 120mm x 120mm x 330mm and weighs about 5 kg. Testing results indicate that during the discharging process, the voltage and capacity decrease to 75V and 11.5Ah, respectively, while the electric current remains stable at around 4.83A and the temperature is held constant at 32°C. During the charging process, the voltage and capacity increase to 82.2V and 17Ah. Initially, the electric current stabilizes at around 4.38A for 10 to 70 minutes, then gradually decreases to 1.8A at the 100-minute mark, with the temperature remaining steady at 33°C.

**Keywords**—Battery Pack, Electric Vehicle, Lithium, Performance.

**Intisari**—Penggunaan kendaraan listrik terus meningkat mulai dari jenis kendaraan listrik murni hingga kendaraan bahan bakar fosil yang dikonversi menjadi kendaraan listrik. Pada umumnya, kendaraan listrik memiliki beberapa komponen utama salah satunya adalah baterai. Tujuan penelitian ini adalah merancang bangun battery pack untuk kendaraan listrik konversi (BEATRIX) dan mengujinya pada kondisi discharging dan charging. Metode yang digunakan adalah metode analitis dan eksperimen untuk membuat dan menguji performa baterai. Berdasarkan hasil penelitian ini, battery pack telah dibuat dengan spesifikasi kapasitas sekitar 72~83V 19,2Ah yang terdiri dari sel baterai lithium-ion dan dilengkapi dengan Smart Battery Management System. Baterai ini memiliki dimensi sekitar 120×120×330 mm dengan bobot sekitar 5 kg. Hasil pengujian baterai ini menunjukkan karakteristik performa yang baik selama proses discharging dimana tegangan dan kapasitasnya turun hingga mencapai 75V dan 11,5Ah, sementara arus listriknya stabil sekitar 4,83A dan temperatur baterai konstan di 32°C. Kemudian, baterai ini juga menunjukkan karakteristik performa yang baik selama proses charging dimana tegangan dan kapasitasnya naik hingga mencapai 82,2 V dan 17 Ah, sementara arus listriknya stabil sekitar 4,38A pada 10 – 70 menit dan turun hingga 1,8 A pada 100 menit sementara temperatur baterai konstan di 33°C.

**Kata Kunci**—Battery Pack, Kendaraan Listrik, Lithium, Performa.

### I. PENDAHULUAN

Saat ini, kendaraan listrik telah banyak digunakan sebagai kendaraan alternatif yang ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas buang kendaraan. Akan tetapi, kendaraan listrik masih memiliki harga jual yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan kendaraan motor bakar. Untuk mengatasi masalah tersebut, dilakukan konversi kendaraan motor bakar menjadi kendaraan listrik (kendaraan listrik konversi) dengan memodifikasi atau mengganti beberapa komponen kendaraan seperti motor bakar, tangki bahan bakar dan transmisi dengan komponen kendaraan listrik seperti motor listrik, baterai, dan controller [1].

Pada tahun 2023, Silalahi, dkk. telah membuat kendaraan listrik konversi dari sepeda motor matic Honda Beat Karbu 100cc menjadi sepeda motor listrik 2 kW yang dinamai BEATRIX [2]. Salah satu kendala yang dihadapi dari kendaraan listrik konversi BEATRIX adalah baterai yang mana harganya masih mahal dan masih sulit didapatkan di Kota Tarakan. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian atau penelitian dalam membuat baterai kendaraan sepeda motor listrik. Seperti yang diketahui, salah satu komponen utama yang penting pada kendaraan listrik adalah baterai yang mana merupakan sumber penyimpanan energi listrik yang akan disuplai ke motor penggerak. Terdapat 2 (dua) jenis baterai yang biasanya digunakan pada kendaraan listrik, yakni baterai primer yaitu baterai sekali pakai (tidak dapat diisi ulang), dan Baterai sekunder yaitu baterai yang dapat dipakai berkali-kali (dapat diisi ulang) [3].

Untuk jenis baterai sekunder, dapat dibagi menjadi 2 (dua) jenis yang berbasis lithium ion yang mana sering digunakan sebagai media penyimpanan energi listrik, diantaranya Baterai Lithium-ion (LIBs), dan Baterai Lithium Polymer (Li-Po). Kedua jenis baterai sekunder berbahan dasar lithium tersebut memiliki banyak kelebihan yaitu memiliki densitas energi dan densitas daya yang lebih tinggi, self discharge yang rendah, fast

charging, tidak ada efek memori dan siklus hidup yang lebih lama. Namun, baterai berbahan dasar lithium juga memiliki kekurangan yaitu sensitif terhadap temperatur.

Baterai berbasis lithium jenis LIBs yang banyak digunakan untuk keperluan kendaraan listrik adalah baterai tipe 18650 dan 21700. Kedua tipe baterai LIBs tersebut berbentuk tabung dan memiliki spesifikasi, yaitu tegangan sebesar 3.7V dan kapasitas sekitar 1500 - 3000 mAh (tipe 18650), dan 4800 – 5000 mAh (tipe 21700) [4], [5]. Dengan spesifikasi tersebut, baterai lithium jenis LIBs banyak digunakan dalam penelitian mengenai rancang bangun atau merakit battery pack untuk keperluan pembangkit listrik tenaga surya ataupun kendaraan listrik.

Ariyanto, dkk telah melakukan penelitian mengenai rancang bangun battery pack 48 V 50 Ah sebagai sumber energi untuk menggerakkan motor listrik BLDC 2000 Watt yang digunakan pada kendaraan listrik. Battery pack tersebut terdiri dari 32 buah baterai tipe 18650 dengan spesifikasi tegangan 3,7 V dan kapasitas 3000 mAh yang dirangkai secara seri (12 buah) dan paralel (19 buah) sehingga dapat digunakan selama 13 jam. Sama halnya dengan Wiguna, dkk juga telah melakukan penelitian terkait merakit battery pack dengan kapasitas 12 V 60 Ah menggunakan baterai tipe 18650. Sebanyak 36 buah baterai tipe 18650 yang mana terdiri dari 24 buah baterai 1200 mAh dan 12 buah baterai 2800 mAh dirangkai secara seri dan paralel sehingga mampu menghasilkan energi sebesar 720 Wh [6]. Dari beberapa penelitian tersebut, mayoritas masih menggunakan baterai LIBs tipe 18650, sementara tipe 21700 yang memiliki kapasitas lebih baik dibanding tipe 18650 masih jarang digunakan.

Mengacu pada penjelasan tersebut, maka pada penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun battery pack lithium menggunakan baterai LIBs tipe 21700 dan melakukan pengujian untuk mengetahui karakteristik performanya. Pemilihan baterai LIBs tipe 21700 didasari oleh spesifikasi kapasitas yang cukup baik untuk menghasilkan baterai kendaraan listrik yang cukup untuk menjangkau jarak tempuh sejauh kurang lebih 30 km.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Baterai Lithium-ion

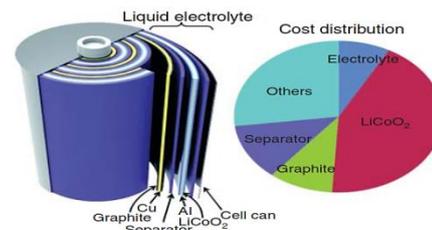
Lithium merupakan unsur logam ringan di alam, dengan berat atom 6,94, densitas  $0,534 \text{ g cm}^{-3}$ , dan potensial elektroda standar  $-3,045 \text{ V}$ , yang merupakan potensial terendah di antara semua elektroda logam. Pada tahun 1970-an, baterai logam lithium pertama dibuat dengan menggunakan sulfida titanium sebagai katoda dan logam lithium sebagai anoda. Namun, dendrit lithium yang disebabkan oleh pengendapan dan distribusi lithium yang tidak merata selama pengisian akan menyebabkan hilangnya lithium aktif yang besar secara permanen, dan bahkan korsleting baterai, sehingga baterai jenis ini dilarang untuk diisi ulang. Pada tahun 1980-an, ditemukan bahwa ion lithium dapat secara bebas dan bolak-balik masuk ke dalam material grafit, dan selanjutnya, baterai berhasil dibuat dengan menggunakan grafit sebagai bahan anoda. Ion lithium dapat keluar dan masuk secara bebas dan bolak-balik antara katoda dan

anoda, yang kemudian diberi nama "baterai lithium ion" [7].

Saat ini, baterai lithium-ion komersial menggunakan garam lithium logam transisi sebagai elektroda positif  $\text{Li}_x\text{M}_2$  (M mewakili logam transisi seperti Co, Mn, Ni, Fe, dll.), dan grafit berpori konduktif yang murah dan sangat baik sebagai elektroda negatif. Baterai lithium-ion tersebut banyak digunakan dalam produk digital, penyimpanan energi jaringan, kendaraan listrik (EV), kendaraan listrik hibrida (HEV), dan lain-lain.

### B. Struktur Dasar Baterai Lithium-ion

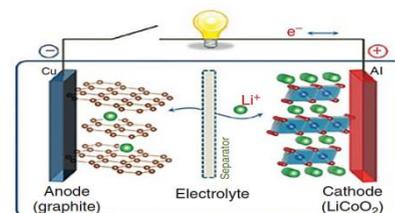
Komposisi baterai lithium-ion (Gambar 1) terdiri dari empat bagian berikut: katoda, anoda, elektrolit, dan separator. Fungsi utama bahan katoda adalah menyediakan ion lithium untuk keseluruhan sistem baterai. Saat ini, bahan utama elektroda positif adalah  $\text{Li}_2\text{M}$  (M = Co, Ni, Mn, dan logam transisi lainnya) dengan struktur berlapis, bahan terner ( $\text{Li}[\text{Co}, \text{Ni}, \text{Mn}]_2$ ),  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ , dan  $\text{LiMPO}_4$  (M = Fe, Co, Ni, Mn, dan lainnya) dengan struktur spinel. Bahan katoda komersial utama baterai lithium-ion adalah  $\text{LiCoO}_2$ . Biaya bahan ini dapat mencapai setengah dari total biaya baterai lithium-ion. Kapasitas teoritisnya sebesar 274 mAh g<sup>-1</sup>, dan tegangan pelepasan sebesar 3.6 V [7].



Gambar 1. Ilustrasi struktur baterai lithium-ion dan biaya relatif tiap komponennya [7]

### C. Prinsip Kerja Baterai Lithium-ion

Prinsip kerja baterai lithium-ion (Gambar 2) merupakan proses sederhana di mana ion lithium secara terus menerus tertanam dan terlepas antara katoda dan anoda. Intinya, ini adalah sejenis baterai konsentrasi. Selama proses pengisian, terjadi reaksi oksidasi pada bahan katoda dan ion lithium berpindah dari katoda ke anoda. Ion lithium tertanam dalam bahan anoda setelah melewati elektrolit dan separator. Bersamaan dengan itu, elektron mencapai anoda melalui sirkuit eksternal. Selama pengosongan, ion lithium dilepaskan dari anoda dan dipindahkan ke katoda serta tertanam dalam bahan katoda, disertai dengan perpindahan elektron dalam sirkuit eksternal.

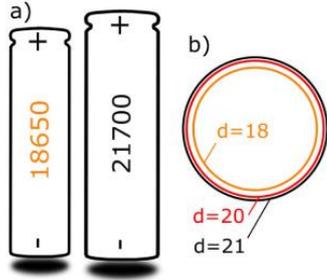


Gambar 2. Prinsip kerja baterai lithium ion [7]

### D. Baterai Lithium-ion tipe 18650 dan 21700

Sejak diluncurkan ke pasar pada tahun 1994, baterai tipe 18650 menjadi standar populer untuk sel Li-ion di

seluruh industri baterai. Dengan melakukan penambahan diameter sebesar 3 mm dan tinggi 5 mm, maka dapat menghasilkan baterai tipe yang baru yaitu tipe 21700 (Gambar 3). Melalui evaluasi sel komersial, baterai tipe 21700 dapat menghasilkan jumlah energi sekitar 50% lebih banyak per sel untuk pengosongan 0,5C dibandingkan dengan baterai tipe 18650. Ini berpotensi mengurangi biaya produksi, karena 33% lebih sedikit sel yang harus diproduksi untuk jumlah energi yang serupa [8]. Beberapa spesifikasi baterai tipe 18650 dan 21700 dari hasil penelitian untuk variasi 3 produsen baterai menunjukkan berbagai parameter seperti energi, densitas energi, energi spesifik, data dimensi, dan voltase masing-masing tipe baterai.



Gambar 3. Perbandingan ukuran baterai lithium-ion tipe 18650 (t = 65mm, d = 18mm), dan 21700 (t = 70mm, d = 21mm) [5]

E. Perancangan Battery Pack

Dalam proses perakitan battery pack, hal yang perlu dipertimbangkan terlebih dahulu adalah besar kapasitas baterai yang akan digunakan untuk kendaraan listrik. Menurut Hasbillah, kapasitas baterai pada kendaraan listrik sangat penting diperhitungkan, karena dengan memperhitungkan kapasitas baterai, nantinya dapat mengetahui lama pemakaian pada kendaraan listrik tersebut [9].

Kapasitas baterai pada kendaraan listrik dapat dihitung dengan menentukan beberapa parameter yakni jarak dan waktu tempuh maksimum yang ditargetkan, asumsi tegangan baterai, dan kapasitas daya motor listrik. Berdasarkan beberapa parameter tersebut, maka kapasitas baterai dan arus baterai yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

a. Rumus kapasitas daya yang dibutuhkan ( $P_c$ )

$$P_c = P_m \times t \tag{1}$$

Dimana :

$P_c$  : Kapasitas daya baterai yang dibutuhkan (Wh)

$P_m$  : Daya motor listrik (Watt)

$t$  : Waktu pemakaian baterai (hour)

b. Rumus arus baterai yang dibutuhkan (I)

$$I_c = \frac{P_c}{V} \tag{2}$$

Dimana :

$I_c$  : Kapasitas arus baterai (Ah)

$V$  : Tegangan baterai (Volt)

Setelah menentukan kapasitas daya dan arus yang dibutuhkan, selanjutnya dilakukan pememilihan jenis dan

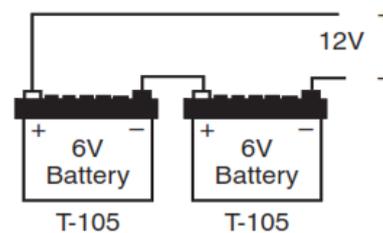
tipe baterai. Baterai lithium-ion (Li-ion) merupakan jenis baterai yang banyak digunakan dalam kendaraan listrik dan kendaraan listrik hibrida. Baterai Li-ion merupakan baterai dengan tingkat self-discharge yang rendah, tegangan operasi yang tinggi, densitas energi yang tinggi, umur pakai yang lebih lama dibandingkan dengan baterai berbasis nikel dan lead-acid dan juga pengisian cepat dapat diterapkan pada baterai Li-ion. Baterai lithium-ion memiliki beberapa tipe yang umum di pasaran yakni tipe 18650 dan 21700 yang mana memiliki spesifikasi masing-masing (tabel 1). Baterai lithium-ion tipe 21700 sering digunakan dalam merancang bangun battery pack karena memiliki kapasitas yang lebih baik dibandingkan tipe 18650 [6].

Tabel I.

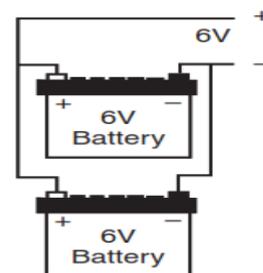
Spesifikasi baterai lithium-ion tipe 18650 dan 21700 [5]

Tipe sel baterai	Energi per sel (Wh)	Densitas energi (Wh/l)	Energi spesifik (Wh/kg)
18650-A1	5.13	314.4	114.0
18650-B1	9.13	538.7	206.2
18650-C1	11.23	670.0	231.5
21700-E1	13.15	519.1	207.1
21700-G1	16.77	684.2	239.5
21700-H1	16.32	672.1	236.5

Setelah kapasitas dan jenis baterai ditentukan, selanjutnya ditentukan konfigurasi baterai yang mana digunakan dalam membuat battery pack yang terdiri dari beberapa sel baterai. Konfigurasi baterai terdiri dari 2 (dua), yaitu konfigurasi seri dan paralel. Ketika empat baterai 6-V, 50-Ah dihubungkan secara seri, tegangannya menjadi dua kali lipat sebesar 12 V, tetapi kapasitas ampere-jam tetap 50 Ah dan menghasilkan daya total sebesar  $50 \text{ Ah} \times 12 \text{ V} = 600 \text{ Wh}$  (Gambar 4). Konfigurasi baterai secara seri digunakan untuk meningkatkan tegangan baterai pack (Carl, 2009). Jika menghubungkan dua baterai 6-V, 50-Ah secara paralel, maka akan menghasilkan total kapasitas penyimpanan 100 Ah pada 6 V atau daya sebesar 600 Wh (Gambar 5).

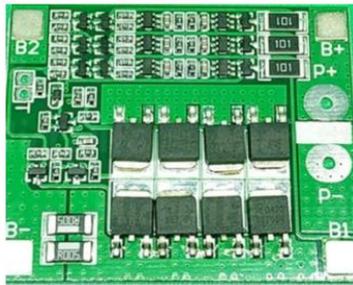


Gambar 4. Konfigurasi baterai seri [10]



Gambar 5. Konfigurasi baterai paralel [10]

Dalam merancang bangun battery pack dibutuhkan juga bahan pendukung baterai seperti battery management system (BMS). BMS (Gambar 6) merupakan suatu perangkat/komponen battery pack yang penting pada kendaraan listrik dan listrik hibrida. Tujuan BMS adalah untuk menjamin keamanan dan keandalan operasional baterai. Untuk menjaga keamanan dan keandalan baterai, fungsi-fungsi yang telah diterapkan dalam BMS adalah pemantauan dan evaluasi kondisi, kontrol pengisian daya, dan penyeimbangan sel [11].



Gambar 6. Battery Management System (BMS) [6]

#### F. Pengujian Battery Pack

Battery pack yang telah dirancang dan dibuat harus dilakukan pengujian untuk mengetahui performanya. Untuk menguji performa battery pack, parameter tegangan, kapasitas, arus, dan temperatur diukur secara aktual. Beberapa parameter tersebut diukur pada kondisi pengujian discharging (pengurasan energi) dan charging (pengisian energi). Pada penelitian Ariyanto, dkk tahun 2022 melakukan pengujian discharging battery pack menggunakan motor BLDC 2000W pada putaran 2600 – 3000 rpm (Gambar 7). Data yang diambil adalah tegangan keluaran battery pack dan kuat arus dengan durasi pengambilan data setiap 30 menit hingga tegangan luaran battery pack mencapai 39 volt.



Gambar 7. Rangkaian pengujian battery pack [4]

Pada penelitian Mauriraya, K tahun 2022 melakukan pengujian charging baterai lithium-ion untuk menganalisis karakteristiknya. Pada proses charging, terdapat 2 dua jenis pengaturan yaitu *constant current* dan *constant voltage* dan. *Constant current* digunakan untuk menaikkan tegangan secara continue dengan waktu yang lebih cepat, sementara *constant voltage* digunakan ketika tegangan telah mencapai batas yang ditentukan dan arus listrik akan berubah semakin menurun hingga baterai terisi penuh. Hasil pengujian tersebut menunjukkan karakteristik baterai pada parameter tegangan, kapasitas dan arus saat proses charging hingga mencapai durasi sebesar 9500 sekon atau hingga baterai terisi penuh [12].

### III. METODE PENELITIAN

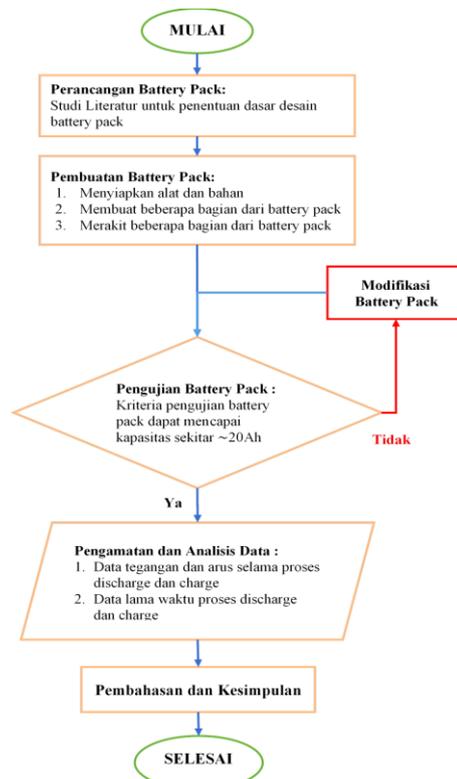
Tujuan akhir dari penelitian ini adalah untuk merancang bangun battery pack 72V 20Ah yang akan diuji pada kendaraan listrik konversi (BEATRIX). Adapun beberapa peralatan yang digunakan dalam rancang bangun battery pack ini yaitu:

- 1) Multimeter digital
- 2) Kendaraan listrik konversi (BEATRIX)
- 3) Spot welding
- 4) Solder
- 5) Charger Sel Baterai
- 6) Adaptor charger kendaraan listrik

Sedangkan bahan yang digunakan yaitu:

- 1) Baterai Lithium Ion 21700 + Bracket
- 2) Smart Battery Management System
- 3) Plat nikel
- 4) Isolator
- 5) Kabel

Langkah-langkah dalam penelitian rancang bangun battery pack 72V 20Ah sebagai berikut:



Gambar 8. Diagram alir Penelitian

Berdasarkan gambar 8, langkah utama penelitian ini adalah merancang dan membuat battery pack dan menguji battery pack.

#### A. Perancangan battery pack

Battery pack Li-ion ini terdiri dari beberapa susunan baterai tipe 21700 dengan spesifikasi tegangan 3,7V dan kapasitas 4800 mAh yang mana dirangkai secara seri dan paralel untuk mencapai kapasitas yang ditargetkan yakni 72V 20Ah. Untuk mencapai tegangan 72V, maka digunakan rangkaian seri, sementara untuk mencapai

kapasitas 20Ah, maka digunakan rangkaian paralel. Untuk menentukan jumlah baterai yang dibutuhkan pada rangkaian seri menggunakan kalkulasi sebagai berikut:

$$V_{tot}(RS) = N_{battery} \times V_{baterai}$$

$$N_{battery}(RS) = V_{tot}(RS) \div V_{baterai}$$

$$N_{battery}(RS) = 72V \div 3,7V = \mathbf{19,45 buah} \approx \mathbf{20 buah}$$

Sementara untuk menentukan jumlah baterai yang dibutuhkan pada rangkaian paralel menggunakan kalkulasi sebagai berikut:

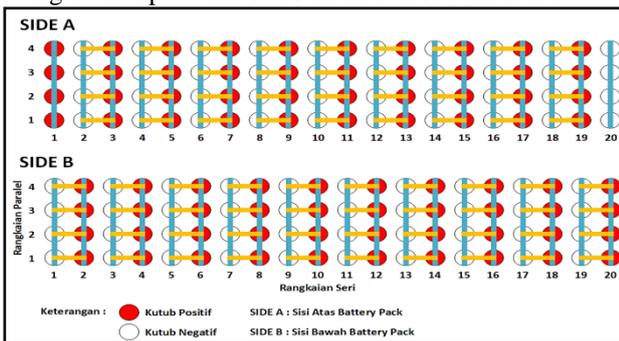
$$W_{tot}(RP) = N_{battery} \times W_{baterai}$$

$$N_{battery}(RP) = W_{tot}(RP) \div W_{baterai}$$

$$N_{battery}(RP) = 20 Ah \div 4,8 Ah = \mathbf{4,167 buah}$$

$$\cong \mathbf{4 buah}$$

Berdasarkan dari kalkulasi rangkaian seri dan paralel maka jumlah total baterai yang dibutuhkan sekitar:  $N_{tot} = 20 \times 4 = \mathbf{80 buah}$ . Selanjutnya dilakukan desain rangkaian seri dan paralel pada battery pack yang mana hasil desainnya dapat dilihat pada gambar 9. Gambar 9 menampilkan desain rangkaian seri paralel dari tiap cell baterai 21700 yang mana dibagi ke dalam 4 grup yang nantinya disusun secara bertingkat untuk menyesuaikan ruang baterai pada motor listrik konversi BEATRIX.



Gambar 9. Rangkaian Seri dan Paralel Battery Pack Li-ion 72V 20Ah

Selanjutnya dilakukan penentuan battery management system (BMS) dengan menghitung kebutuhan kapasitas charge dan discharge rate untuk battery pack 72V 20 Ah sebagai berikut :

Dengan asumsi/pendekatan:

- Jumlah sel baterai yang disusun seri sekitar 20 buah (20S) dengan spesifikasi kapasitas 3,7V 4800mAh
- Daya beban motor listrik yang dimiliki BEATRIX sebesar 2kW
- Perbandingan kapasitas charge dan discharge rate yakni 0,5 : 1

Maka, kebutuhan kapasitas charge dan discharge rate adalah

$$discharge\ rate = \frac{Daya\ beban\ Motor}{Jumlah\ sel\ baterai \times tegangan\ baterai}$$

$$discharge\ rate = \frac{2000\ Watt}{20 \times 3,7V}$$

$$discharge\ rate = \mathbf{27A} \approx \mathbf{40A}$$

$$Charge\ rate = 0,5 \times 40A = \mathbf{20A}$$

Berdasarkan hasil kalkulasi kebutuhan di atas, maka spesifikasi BMS yang dibutuhkan adalah tipe 20S 40-60A.

### B. Pembuatan Battery Pack

Proses pembuatan battery pack Li-Ion dengan kapasitas 72V 20Ah dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu tahap persiapan sel baterai, tahapan penyambungan antar sel baterai, tahapan pemasangan BMS, tahapan pengujian battery pack, dan tahapan finishing battery pack. Tahapan persiapan diawali dengan mengecek kondisi sel baterai tipe 21700 yang telah dibeli dengan menggunakan Smart Universal Charge Model Lii-500 dari LiitoKala yang mana alat ini memiliki fungsi untuk menguji kondisi dan mengisi ulang kapasitas tiap sel baterai melalui fitur Charge, Fast Test dan Normal Test. Hasil pengujian dan pengisian tiap sel baterai menunjukkan kapasitas rata-rata sekitar 4.2 V 4639 mAh.

Selanjutnya antar tiap sel baterai dihubungkan dengan menggunakan plat nikel yang dilas ke tiap kutub baterai sesuai dengan rancangan hubungan seri-paralel battery pack. BMS kemudian dipasang sesuai dengan wiring diagram pada manual book BMS dengan tipe 20S. Setelah pemasangan BMS, kemudian dilanjutkan dengan melakukan pengecekan hasil pemasangan dan penyetelan battery pack melalui aplikasi BMS 100 Balance yang mana berfungsi untuk mengetahui pembacaan BMS terhadap beberapa parameter baterai seperti kondisi tegangan, temperatur, state of charge (SOC), total kapasitas baterai, dan proses smart balancing tiap sel baterai.

Setelah dilakukan penyetelan baterai pada aplikasi BMS 100Balance, proses pembuatan dilanjutkan pada tahap akhir yaitu dengan memasang connector socket input/output dan cover battery pack. Hasil akhir pembuatan battery pack dapat dilihat pada gambar 10 yang mana memiliki dimensi sebesar 120x120x330 mm dan berat sekitar 5 kg.



Gambar 10. Hasil Akhir Battery Pack 72V 20Ah

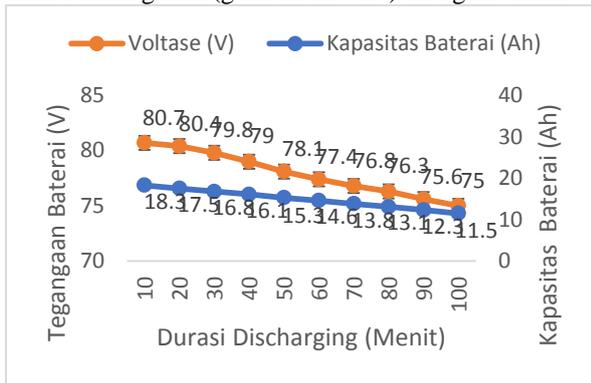
### C. Pengujian Battery Pack

Pada tahap pengujian, battery pack akan aplikasikan ke kendaraan listrik konversi (BEATRIX) dimana pengujian battery pack ini terdiri dari 2 kondisi yaitu pengujian discharging dan charging. Pengujian discharging adalah pengujian yang dilakukan dengan cara menghubungkan baterai pada sistem kendaraan BEATRIX yang memiliki daya motor listrik sebesar 2kW dengan pembukaan throttle sebesar 100% selama durasi

waktu 0 – 100 menit. Sementara pengujian charging adalah pengujian yang dilakukan dengan cara menghubungkan battery pack pada sistem charge (pengisian ulang energi) kendaraan BEATRIX menggunakan adaptor 72V 5A selama durasi 0-100 menit. Kedua kondisi pengujian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik tegangan, arus, kapasitas dan temperatur dari battery pack selama proses discharging (pengurasan energi) dan charging (pengisian energi).

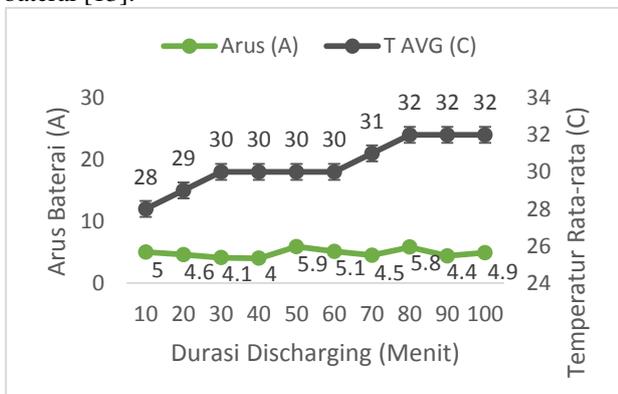
**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Adapun data hasil pengujian discharging dan charging battery pack pada kendaraan listrik BEATRIX disajikan dalam bentuk grafik (gambar 11 – 14) sebagai berikut.



Gambar 11. Grafik tegangan dan kapasitas baterasi selama durasi discharging

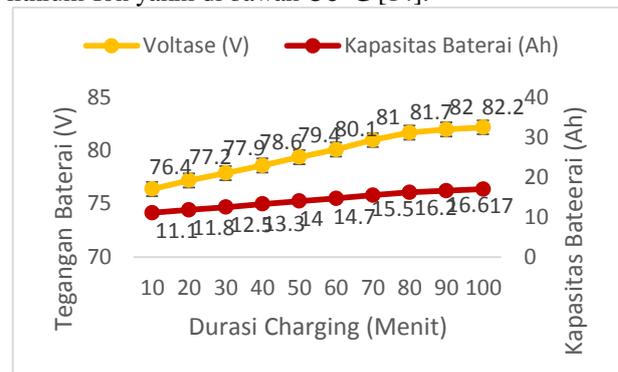
Grafik pada gambar 11 menunjukkan karakteristik tegangan dan kapasitas battery pack selama durasi pengujian discharging dimana trendline dari kedua parameter tersebut adalah turun seiring dengan durasi pemakaian energi dari battery ke sistem kontrol dan motor listrik kendaraan BEATRIX yang semakin lama. Dari grafik tersebut dapat diperkirakan energi listrik battery pack pada kondisi awal sekitar 1,477 kWh dan setelah proses discharging energi listrik yang tersisa sekitar 0,862 kWh. Dari data tersebut, menunjukkan konsumsi energi listrik dari baterai selama durasi discharging sekitar 0,625 kWh. Selain pengaruh dari durasi discharging, parameter beban juga dapat mempengaruhi tegangan dan kapasitas baterai [13].



Gambar 12. Grafik arus dan temperatur rata-rata battery pack selama durasi discharging

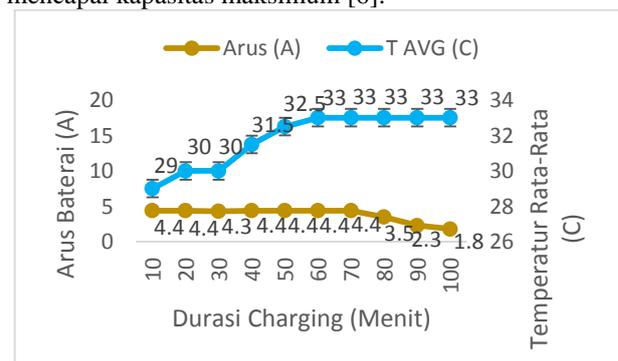
Sementara grafik pada gambar 12 menunjukkan karakteristik arus dan temperatur battery pack selama

durasi pengujian discharging dimana trendline dari arus battery pack adalah konstan dengan rata-rata sekitar 4,38A. Dengan terukurnya nilai arus membuktikan bahwa battery pack dapat bekerja menyuplai energi listrik pada kendaraan BEATRIX pada kondisi arus yang stabil di bukaan throttle 100%. Sementara trendline dari temperatur rata-rata baterai adalah naik dari 28°C hingga 32°C. Hal ini menunjukkan selama proses discharging terjadi peningkatan temperature baterai yang mana masih diambang batas aman dari high temperature dari baterai lithium-Ion yakni di bawah 60°C [14].



Gambar 13. Grafik Tegangan dan Kapasitas Baterai terhadap Durasi Charging

Berbeda dengan hasil dari grafik pada gambar 11, grafik pada gambar 13 menunjukkan karakteristik tegangan dan kapasitas battery pack selama durasi pengujian charging dimana trendline pada kedua parameter tersebut adalah naik seiring dengan proses charging battery (pemasukan energi). Dari grafik tersebut dapat diperkirakan energi listrik battery pack pada kondisi awal sekitar 0,848 kWh dan energi listrik setelah proses charging sekitar 1,397 kWh. Hal ini menunjukkan energi listrik bertambah sekitar 0,549 kWh. Selama proses charging, besarnya arus yang masuk ke battery pack hingga mencapai kapasitas maksimum [6].



Gambar 14. Grafik Arus dan Temperatur Rata-Rata Baterai Terhadap Durasi Charging

Sementara, karakteristik temperatur rata-rata baterai selama durasi charging yang disajikan dalam grafik pada gambar 14 sama dengan grafik pada gambar 12 yang mana terjadi peningkatan temperatur mencapai 33°C yang mana lebih tinggi 1°C dibandingkan saat pengujian discharging. Kenaikan temperatur tersebut dipengaruhi oleh besar arus yang masuk dan durasi charging battery

pack [6]. Sementara pada parameter arus charging cenderung stabil sekitar 4,38 A pada menit 10 – 70 menit. Namun pada menit selanjutnya, karakteristik pada parameter arus listrik baterai terjadi penurunan berkisar dari 3,5; 2,3; dan 1,8 A pada durasi charging 80, 90, dan 100 menit, masing-masing. Sedangkan karakteristik arus listrik baterai pada pengujian discharging relatif konstan. Terjadinya penurunan arus listrik tersebut dikarenakan ketika proses charging, sistem pada BMS memberikan arus listrik yang konstan hingga mencapai tegangan maksimum charging baterai kemudian sistem BMS akan menurunkan arus listrik untuk menjaga tegangan agar tidak terjadi overcharging pada tiap sel dari battery pack [15].

## V. KESIMPULAN

Hasil rancang bangun battery pack memiliki spesifikasi 72 V 19,2 Ah yang mampu mencapai maksimal tegangan sebesar 82,8 V. Battery pack ini terdiri dari susunan seri-paralel baterai Li-ion tipee 21700 yang mana dilengkapi dengan BMS smart balancing and protection. Dimensi battery pack ini adalah  $120 \times 120 \times 330$  mm. Karakteristik performa battery pack selama proses discharging 100 menit menunjukkan hasil yang cukup baik dimana pada parameter tegangan dan kapasitas arus memiliki trendline turun hingga mencapai 75 V dan 11,5 Ah, sementara pada parameter arus cenderung stabil sekitar 4,83 A dan temperatur baterai konstan sekitar  $32^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan karakteristik performa battery pack selama proses charging 100 menit juga menunjukkan hasil yang cukup baik dimana pada parameter tegangan dan kapasitas arus memiliki trendline naik hingga mencapai 82,2 V dan 17 Ah, sementara pada parameter arus juga cenderung stabil sekitar 4,38 A pada 10-70 menit dan selanjutnya turun hingga 1,8 A pada 100 menit dan temperatur baterai konstan sekitar  $33^{\circ}\text{C}$ .

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Universitas Borneo Tarakan yang telah memberikan dukungan materi sehingga penelitian tentang rancang bangun baterai kendaraan listrik dapat terlaksana.

## REFERENSI

- [1] J. T. Santoso, *Sepeda listrik Perencanaan, Perakitan dan Perbaikan*. Semarang: Yayasan Prima Agus Teknik Bersama Universitas STEKOM, 2022.
- [2] P. R. L. Silalahi, "MODIFIKASI SEPEDA MOTOR HONDA BEAT KARBU 110 CC MENJADI ELECTRIC VEHICLE 2 kW," pp. 1–78, 2023.
- [3] G. F. Akmal, "RANCANG BANGUN SEPEDA MOTOR LISTRIK DENGAN MEMAKAI BODY DAN CHASSIS BEAT BEKAS," Surabaya, 2022. [Online]. Available: [http://eprints.polsri.ac.id/13351/%0Ahttp://eprints.polsri.ac.id/13351/1/FILE I COVER - DAFTAR LAMPIRAN.pdf](http://eprints.polsri.ac.id/13351/%0Ahttp://eprints.polsri.ac.id/13351/1/FILE_I_COVER_-_DAFTAR_LAMPIRAN.pdf).
- [4] N. A. Ariyanto, F. Fatkhurrozak, and D. Prasetyo, "Rancang Bangun Battery Packlithium 48 V 50 Ah," *Eksergi J. Tek. Energi*, vol. 18, no. 01, pp. 1–9, 2022, doi: 10.47709/jpsk.v2i02.1740.
- [5] J. B. Quinn, T. Waldmann, K. Richter, M. Kasper, and M. Wohlfahrt-Mehrens, "Energy Density of Cylindrical Li-

- Ion Cells: A Comparison of Commercial 18650 to the 21700 Cells," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 165, no. 14, pp. A3284–A3291, 2018, doi: 10.1149/2.0281814jes.
- [6] A. R. Wiguna, T. Toha, N. Nadhiroh, S. L. Kusumastuti, and M. Dwiyaniti, "Rancang Bangun Dan Pengujian Battery Pack Lithium Ion," *Electrices*, vol. 3, no. 1, pp. 28–33, 2021, doi: 10.32722/ees.v3i1.4030.
- [7] J. Ma, *Battery Technologies Materials and Components*. Xiyuan Ave West Hi-Tec: WILEY-VCH, 2021.
- [8] T. Waldmann, R. G. Scurtu, K. Richter, and M. Wohlfahrt-Mehrens, "18650 vs. 21700 Li-ion cells – A direct comparison of electrochemical, thermal, and geometrical properties," *J. Power Sources*, vol. 472, no. May, p. 228614, 2020, doi: 10.1016/j.jpowsour.2020.228614.
- [9] R. Hasbillah, P. Studi, T. Elektro, F. T. Industri, and U. I. Indonesia, "LAPORAN TUGAS AKHIR / CAPSTONE DESIGN EM-PUS: Elektrik Motor Kampus Sebagai Rancang Bangun Kendaraan Listrik di Wilayah Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia EM-PUS: Elektrik Motor Kampus Sebagai Rancang Bangun Kendaraan Listrik di Wilayah Kampus T," no. 18524079, pp. 1–76, 2021.
- [10] V. Carl, *Build Your Own Electric Motorcycle*, First Edit. New York City: The McGraw-Hill Companies, Inc, 2009.
- [11] Y. Xing, E. W. M. Ma, K. L. Tsui, and M. Pecht, "Battery management systems in electric and hybrid vehicles," *Energies*, vol. 4, no. 11, pp. 1840–1857, 2011, doi: 10.3390/en4111840.
- [12] K. T. Mauriraya, N. Pasra, A. Fernandez, and Christiono, "ANALISIS KARAKTERISTIK BATERAI LITHIUM-ION PADA KENDARAAN," *Pros. NCIET Vol.3*, vol. 3, pp. 95–102, 2022, [Online]. Available: <https://conf.nciet.id/index.php/nciet/article/download/319/328>.
- [13] T. P. Cahyono, T. Hardianto, and B. S. Kaloko, "Pengujian Karakteristik Baterai Lithium-Ion Dengan Metode Fuzzy Dengan Beban Bervariasi," *J. Arus Elektro Indones.*, vol. 6, no. 3, p. 82, 2020, doi: 10.19184/jaei.v6i3.19708.
- [14] Y. S. Duh *et al.*, "Characterization on thermal runaway of commercial 18650 lithium-ion batteries used in electric vehicles: A review," *J. Energy Storage*, vol. 41, no. July, p. 102888, 2021, doi: 10.1016/j.est.2021.102888.
- [15] Y. Miao, P. Hynan, A. Von Jouanne, and A. Yokochi, "Current li-ion battery technologies in electric vehicles and opportunities for advancements," *Energies*, vol. 12, no. 6, pp. 1–20, 2019, doi: 10.3390/en12061074.