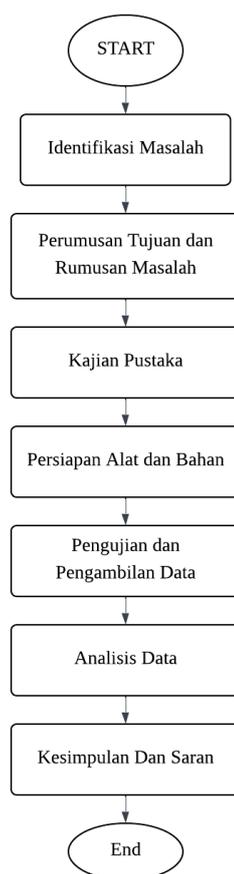


## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimen laboratorium. Pemilihan desain eksperimen didasarkan pada kebutuhan untuk memberikan perlakuan berupa variasi beban non-linier terhadap sistem alternator satu fasa, serta mengevaluasi pengaruhnya terhadap kestabilan tegangan, nilai *Total Harmonic Distortion* (THD), dan efisiensi sistem. Pendekatan semacam ini sejalan dengan panduan yang dikemukakan oleh (Creswell, 2017), Berikut adalah diagram alir dari penelitian ini:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian pada gambar 3.1 mengenai diagram alir penelitian akan diuraikan menjadi prosedur dan langkah penelitian sebagai berikut ini:

### 1. Identifikasi Masalah

Tahap awal dari penelitian ini dimulai dengan mengidentifikasi permasalahan yang muncul dalam sistem kelistrikan. Identifikasi masalah ini penting untuk memberikan gambaran awal mengenai urgensi dari penelitian, sekaligus menjadi dasar dalam merumuskan tujuan penelitian dan menentukan metode pengujian yang tepat.

### 2. Perumusan Tujuan dan Rumusan Masalah

Setelah masalah teridentifikasi, tahap berikutnya adalah merumuskan tujuan dan pertanyaan penelitian. Tujuan penelitian ini dipakai sebagai pedoman yang bersifat spesifik, dapat diukur dan nantinya menentukan hasil yang diinginkan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh beban non-linier terhadap keandalan operasional alternator satu fasa, khususnya dari sisi kestabilan tegangan output, kualitas daya listrik melalui nilai THD, serta efisiensi sistem.

### 3. Kajian Pustaka

Kajian pustaka dilakukan dengan mencari literatur berupa jurnal nasional dan internasional yang relevan. Sumber referensi diambil dari database terindeks seperti Google Scholar, IEEE, Elsevier, dan ScienceDirect. Kajian ini bertujuan untuk memahami konsep dasar alternator satu fasa, teori harmonisa, standar kualitas daya (ANSI C84.1 dan IEEE Std 519-2014), serta penelitian terdahulu mengenai dampak beban non-linier terhadap generator. Hasil kajian pustaka digunakan sebagai dasar teoretis, menemukan research gap, serta memperkuat landasan dari penelitian.

### 4. Persiapan Alat dan Bahan

Pada tahap ini dilakukan persiapan perangkat yang akan diuji, yaitu alternator satu fasa, motor induksi tiga fasa sebagai penggerak, rangkaian pengukuran tegangan dan arus, serta alat ukur seperti *voltmeter*, *ammeter* dan *clamp on power hitester Hioki 3286-20* untuk analisa harmonisa. Selain itu disiapkan juga beban non-linier yang terdiri dari lampu LED, SMPS, dan VFD. Seluruh perangkat diuji coba dan dikalibrasi terlebih dahulu untuk memastikan keakuratan data yang akan diperoleh dalam proses pengambilan data.

## 5. Pengujian dan Pengambilan Data

Pengujian dilakukan di laboratorium dengan tahapan sistematis. Pertama, pengujian tanpa beban dilakukan sebagai referensi nilai tegangan nominal. Kedua, variasi pengujian dilakukan dengan menghubungkan beban non-linier baik secara tunggal maupun kombinasi, kemudian dicatat parameter-parameter penting seperti tegangan keluaran, arus, daya aktif, daya reaktif, daya semu, faktor daya, serta nilai THDv dan THDi. Pengambilan data ini dilakukan pada beberapa variasi kondisi pengujian untuk memperoleh hasil yang komprehensif.

## 6. Analisis Data

Data yang diperoleh dari pengujian selanjutnya dianalisis untuk menjawab rumusan masalah penelitian. Analisis dilakukan dengan menghitung nilai Voltage Regulation (VR) untuk kestabilan tegangan, Total Harmonic Distortion (THDv dan THDi) untuk kualitas daya, serta efisiensi ( $\eta$ ) untuk mengetahui perbandingan daya keluaran dengan daya masukan. Selain analisis kuantitatif berupa perhitungan dan grafik, dilakukan pula pembahasan secara kualitatif dengan membandingkan hasil penelitian terhadap standar internasional (ANSI dan IEEE) serta penelitian terdahulu.

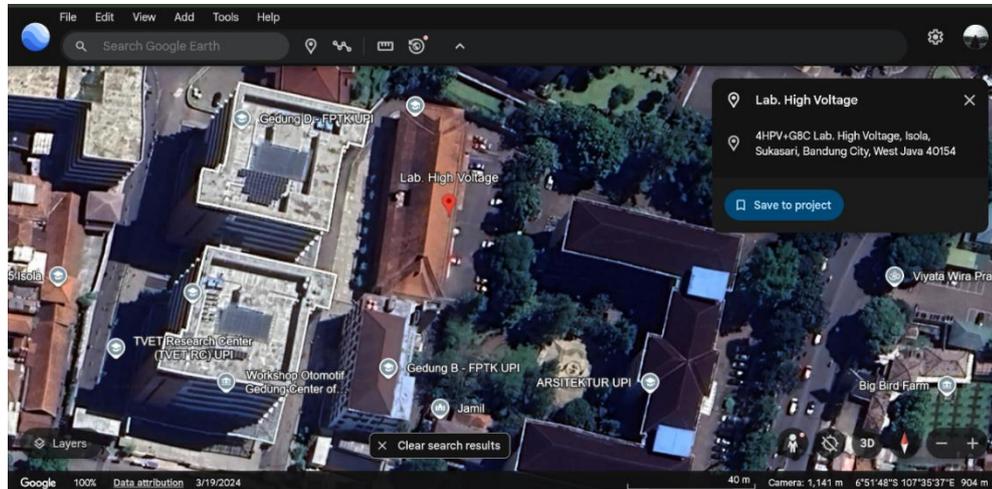
## 7. Kesimpulan dan Saran

Tahap akhir dari penelitian adalah menarik kesimpulan berdasarkan hasil analisis data. Hasil penelitian akan ditunjukkan dan peneliti berharap bahwa hasilnya dapat dijadikan referensi oleh peneliti selanjutnya.

### **3.2 Lokasi Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Listrik dan Teknik Tegangan Tinggi, Fakultas Pendidikan Teknik Industri, Universitas Pendidikan Indonesia. Laboratorium ini dilengkapi dengan fasilitas pengujian alternator dan system kelistrikan satu fasa yang dibutuhkan untuk penelitian ini. Pada laboratorium ini juga terdapat peralatan standar yang dapat digunakan untuk mengukur parameter kelistrikan mulai dari tegangan, arus, frekuensi, dan nilai

harmonisa. Untuk lokasi lebih jelasnya, akan diperlihatkan pada gambar yang diakses melalui *Google Earth* berikut ini.



Gambar 3. 2 Lokasi Lab. Konversi Energi Listrik dan Teknik Tegangan Tinggi  
(Sumber : Google Earth)

### 3.3 Instrumen Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa instrumen yang digunakan, antara lain ialah rangkaian alternator 1 fasa, beban non linier dan alat ukur yang digunakan untuk mengetahui nilai *Total Harmonic Distortion* (THD). Berikut ini adalah panel dari rangkaian alternator 1 fasa dan salah satu beban non linear.



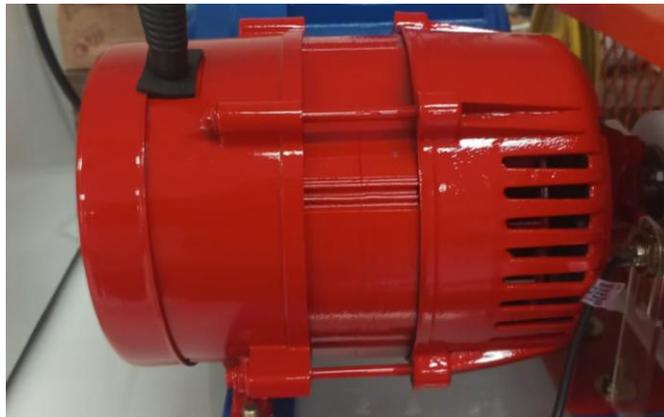
Gambar 3. 3 Panel Rangkaian Alternator dan Beban VFD

Setiap alat dalam sistem pengujian memiliki peran dan fungsi spesifik yang saling menunjang untuk memastikan kelancaran dan keakuratan hasil yang diperoleh. Persiapan ini mencakup pengecekan kondisi fisik alat, validasi

fungsionalitas, serta penyesuaian konfigurasi sesuai dengan kebutuhan eksperimen. Selain itu, penempatan dan penyusunan alat dalam rangkaian sistem juga dilakukan secara sistematis untuk meminimalkan potensi kesalahan selama proses pengambilan data. Berikut ini merupakan penjelasan mengenai fungsi dan peran masing-masing perangkat dalam rangkaian sistem pengujian:

#### 1. Alternator 1 Fasa

Alternator, yang juga dikenal sebagai generator sinkron, merupakan perangkat elektromekanis yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dalam bentuk arus bolak-balik (AC). Dengan kata lain, alat ini berperan sebagai pembangkit listrik AC yang beroperasi secara sinkron.



Gambar 3. 4 Alternator 1 Fasa

Frekuensi keluaran dari generator sinkron sepenuhnya ditentukan oleh kecepatan rotasi penggerak utamanya. Artinya, frekuensi listrik yang dihasilkan akan selalu sebanding dan tersinkronisasi dengan putaran per menit (RPM) dari penggerak tersebut. Berfungsi sebagai sumber tegangan AC utama. Alternator ini menjadi objek utama penelitian untuk mengevaluasi stabilitas tegangan terhadap berbagai variasi beban.

#### 2. Motor Induksi Tiga Fasa

Menggerakkan alternator secara mekanis melalui sistem coupling. Motor ini memungkinkan pengujian pada rentang kecepatan lebar sehingga efektif mensimulasikan kondisi beban dinamis. Motor induksi yang dipakai pada penelitian ini yakni motor induksi yang diproduksi oleh ADK, dengan tipe Y3-90S-

2. Mesin induksi ini memiliki spesifikasi daya 2HP (~1,5kW) tegangan 220/380V, dan putaran nominal RPM 2840,

3. Inverter (VFD – Variable Frequency Drive)

Mengendalikan dan menyetel frekuensi serta tegangan input motor induksi agar mampu mencapai RPM yang bervariasi. Pendekatan kendali menggunakan metode vector control (field-oriented control, FOC) memungkinkan respons dinamis yang akurat dan stabil



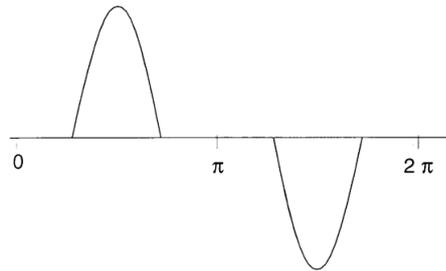
Gambar 3. 5 Variable Frequency Drive

4. Beban Non-Linier: Lampu LED, SMPS, dan VFD

Meniru karakteristik beban rumah tangga modern dengan komponen elektronik yang menghasilkan distorsi harmonisa. Lampu LED, SMPS dan VFD terkenal karena menghasilkan arus yang tidak sinusoidal dan meningkatkan nilai THD pada sistem.

Tabel 3. 1 Spesifikasi Beban Non Linier

Spesifikasi Beban Non Linier	
Lampu LED	6 buah 5watt
SMPS	12V
VFD	50,28Hz



Gambar 3. 6 Contoh Gelombang yang dihasilkan oleh SMPS

(Sumber : *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*)

#### 5. Clamp On Power Hitester Hioki 3286-20

Digunakan untuk mengukur tegangan, arus, faktor daya, dan *Total Harmonic Distortion (THD)* secara langsung tanpa memutus sirkuit. Clamp meter modern banyak dilengkapi kemampuan analisis PQ-Volt dan PQ-Amp untuk mendeteksi distorsi daya secara real-time.



Gambar 3. 7 Clamp On Power Hitester Hioki 3286-20

#### 6. Multimeter Digital (AVO Meter)

Alat ukur manual yang digunakan sebagai pembanding independen terhadap pembacaan clamp meter, untuk validasi silang data seperti tegangan dan arus.

#### 7. Kabel Penghubung

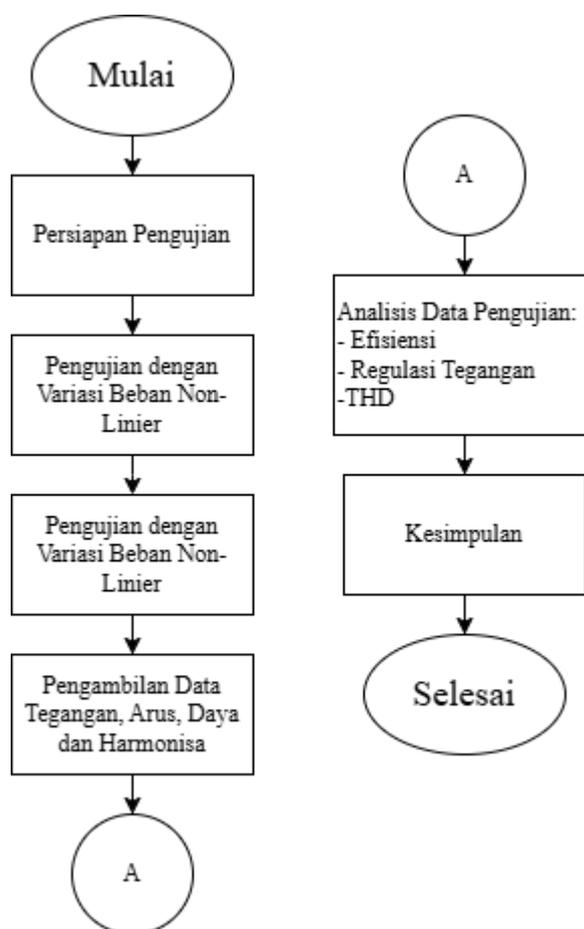
Menghubungkan seluruh komponen secara fleksibel dan aman. Pemilihan kabel sesuai standar rating ampere dan isolasi penting untuk menjaga keandalan serta keselamatan sistem.

#### 8. Stopkontak, MCB, dan Panel Distribusi

Berfungsi sebagai sistem proteksi listrik untuk mencegah arus lebih dan gangguan keselamatan selama pengujian. Panel distribusi memastikan distribusi beban merata dan mudah dikendalikan.

### 3.4 Alur Penelitian

Alur tahapan pengumpulan data dalam penelitian ini divisualisasikan pada diagram yang ditampilkan pada Gambar 3.8



Gambar 3. 8 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini, peneliti akan mengambil data *Total Harmonic Distortion* dari beban non linier dengan beberapa kombinasi dari beban yang sudah disiapkan sebelumnya. Data yang diukur meliputi tegangan keluaran tanpa beban,

tegangan dan arus saat alternator diberi beban LED, SMPS, serta VFD, baik secara tunggal maupun dalam kombinasi. Selain itu, dilakukan pencatatan nilai Total Harmonic Distortion (THD), faktor daya, dan efisiensi pada setiap kondisi pengujian untuk dianalisis lebih lanjut dalam menilai kinerja dan keandalan operasional alternator satu fasa. Tahapan pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan secara sistematis dengan langkah-langkah sebagai berikut:

#### 1. Persiapan Pengujian

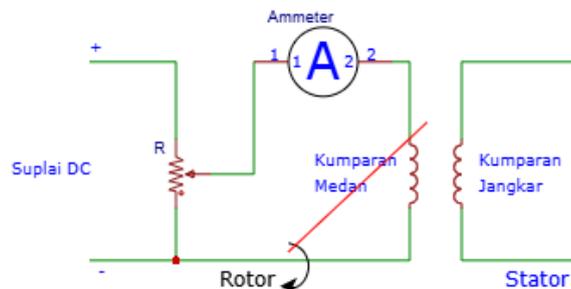
- a. Membaca doa sebelum melaksanakan pengujian dan pengambilan data.
- b. Memeriksa sistem instalasi uji dan memastikan semua sambungan kabel terpasang dengan baik.
- c. Menata rangkaian pengujian yang terdiri dari motor induksi tiga fasa sebagai penggerak alternator, alternator satu fasa sebagai objek uji, serta rangkaian beban non-linier (lampu LED, SMPS, dan VFD).
- d. Menyalakan instrumen ukur berupa power quality analyzer (PQA), dan multimeter digital.
- e. Melakukan kalibrasi pada alat ukur ( PQA) agar data yang diperoleh akurat.

#### 2. Pengujian Tanpa Beban

- a. Jalankan motor induksi hingga alternator berputar pada kecepatan nominal.
- b. Ukur dan catat tegangan keluaran alternator tanpa beban.
- c. Catat nilai tegangan RMS, frekuensi, faktor daya, dan THD pada kondisi ini sebagai acuan awal.

Berdasarkan poin tersebut, pengujian tanpa beban (*no-load test*) merupakan langkah awal yang esensial dalam menilai kinerja alternator satu fasa yang digerakkan oleh motor induksi tiga fasa. Pada tahap ini, alternator belum dihubungkan dengan beban eksternal, sehingga tegangan keluaran yang dihasilkan sepenuhnya ditentukan oleh kondisi eksitasi yang diberikan. Tujuan utama dari prosedur ini adalah memperoleh parameter dasar sistem yang akan digunakan sebagai tolok ukur sebelum diberi variasi beban. Parameter-parameter tersebut meliputi tegangan keluaran, arus eksitasi, serta nilai *Total Harmonic Distortion* (THD) yang menggambarkan tingkat distorsi gelombang. Informasi yang diperoleh

dari uji tanpa beban menjadi referensi penting dalam menganalisis dampak pembebanan non-linier terhadap performa alternator.



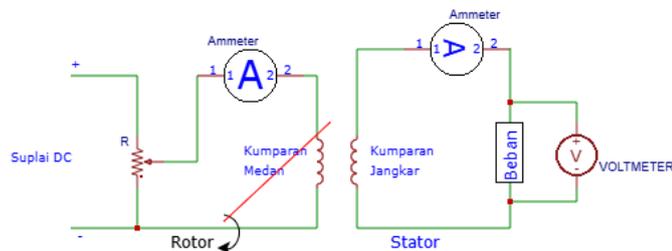
Gambar 3. 9 Rangkaian Tanpa Beban

Tegangan keluaran pada kondisi tanpa beban mencerminkan sejauh mana proses induksi elektromagnetik berlangsung secara optimal dalam sistem. Apabila terjadi fluktuasi kecil pada tegangan tersebut, hal ini bisa menjadi indikasi adanya ketidakseimbangan rotor atau gangguan minor dalam sistem eksitasi. Oleh karena itu, pengukuran tegangan perlu dilakukan dengan ketelitian tinggi menggunakan alat ukur digital yang sudah melalui proses kalibrasi. Tegangan yang stabil menunjukkan bahwa sistem bekerja secara normal dan siap untuk diuji lebih lanjut dalam kondisi beban nyata. menekankan bahwa kestabilan tegangan output mencerminkan efisiensi serta kualitas operasi generator dalam kondisi standar. Seluruh data hasil pengujian tanpa beban dicatat secara sistematis dalam format tabel untuk kemudian dijadikan dasar pembandingan terhadap hasil uji beban non-linier.

### 3. Pengujian Beban Non Linier

Pengujian selanjutnya dilakukan dengan menghubungkan alternator satu fasa ke tiga jenis beban non-linier yang umum ditemukan dalam sistem distribusi listrik, yaitu lampu LED, *Switched Mode Power Supply* (SMPS), dan *Variable Frequency Drive* (VFD). Ketiga jenis beban ini dipilih karena karakteristiknya yang berbeda-beda dalam menghasilkan Harmonisa dan dampaknya terhadap kestabilan tegangan. Beban non-linier diketahui memiliki impedansi yang berubah-ubah terhadap tegangan dan arus, sehingga mempengaruhi bentuk gelombang sinusoidal output. Penggunaan beban setara memungkinkan perbandingan yang adil dalam menilai pengaruh masing-masing beban terhadap performa sistem. Setiap jenis

beban diuji secara terpisah agar pengaruhnya dapat dianalisis secara spesifik dan sistematis.



Gambar 3. 10 Rangkaian dengan Beban Non-Linier

Berikut adalah urutan untuk pengujian dengan beban non linier tunggal:

- Beban pertama yang diuji adalah lampu LED, yang merupakan salah satu perangkat pencahayaan paling umum saat ini. Lampu LED dikategorikan sebagai beban non-linier karena menggunakan sirkuit penyearah dan regulator arus di dalamnya. Arus yang ditarik oleh LED biasanya berbentuk pulsa-pulsa tajam yang menyebabkan distorsi Harmonisa pada sumber daya. Selama pengujian, parameter seperti tegangan output, arus eksitasi, dan nilai THD dicatat untuk mengevaluasi perubahan dari kondisi tanpa beban.
- Selanjutnya, alternator diuji dengan beban *Switched Mode Power Supply* (SMPS), yang sering ditemukan pada perangkat elektronik seperti komputer, charger, dan televisi. SMPS bekerja dengan prinsip switching kecepatan tinggi yang menyebabkan gelombang arus yang tidak sinusoidal. Arus masukan dari SMPS biasanya berbentuk gelombang diskrit dengan puncak tajam yang selanjutnya mengakibatkan tegangan output mengandung Harmonisa. Tingkat THD yang dihasilkan SMPS umumnya lebih tinggi dibandingkan LED, terutama pada beban ringan hingga sedang. Oleh karena itu, pengaruh SMPS terhadap kestabilan tegangan sistem sangat signifikan dan perlu dianalisis secara detail.
- Beban ketiga adalah *Variable Frequency Drive* (VFD), yaitu perangkat elektronik yang digunakan untuk mengontrol kecepatan motor AC dengan mengatur frekuensi dan tegangan. VFD termasuk beban non-linier kompleks karena proses konversi AC-DC-AC-nya menghasilkan arus Harmonisa pada berbagai tingkat. Dalam aplikasi industri, VFD dikenal sebagai penyumbang

Harmonisa terbesar jika tidak diberi filter. Selama pengujian, VFD disimulasikan dengan pengaturan beban setara agar dapat dibandingkan pengaruhnya terhadap tegangan keluaran alternator. Menurut IEC 61000-3-12, VFD dapat menghasilkan THD hingga lebih dari 30% jika tidak menggunakan mitigasi Harmonisa.

Sedangkan untuk pengujian dengan beban non-linier kombinasi adalah sebagai berikut:

- a. LED + SMPS: Ukur tegangan, arus, THD, faktor daya, dan efisiensi.
- b. SMPS + VFD: Lakukan pengukuran parameter yang sama.
- c. LED + SMPS + VFD: Uji kinerja alternator pada kombinasi ketiga beban.

#### 4. Penyimpanan Data Pengukuran

- a. Simpan hasil pengukuran berupa data tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, daya semu, faktor daya, THD tegangan, dan THD arus dari instrumen ukur.
- b. Data dari PQA dicatat dalam bentuk tabel untuk mempermudah analisis lanjutan.

#### 5. Penutupan Pengujian

- a. Setelah semua pengujian selesai, matikan motor induksi dan alternator.
- b. Lepaskan sambungan beban dan instrumen ukur secara hati-hati.
- c. Pastikan peralatan dalam kondisi aman dan tidak menyimpan muatan listrik sisa sebelum dirapikan kembali.

### 3.5 Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan tujuan untuk menilai kinerja sistem alternator satu fasa saat beroperasi pada kondisi tanpa beban dan dengan beban non-linier. Perbandingan dilakukan berdasarkan tiga parameter utama, yaitu efisiensi sistem, regulasi tegangan, dan nilai *Total Harmonic Distortion* (THD). Parameter-parameter ini memberikan gambaran menyeluruh terhadap performa dan kualitas daya yang dihasilkan oleh alternator dalam berbagai kondisi pembebanan. Dengan

pendekatan ini, peneliti dapat mengidentifikasi dampak langsung dari beban non-linier terhadap sistem kelistrikan. Hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi kelayakan sistem sebagai media praktikum maupun dalam aplikasi pembangkit energi skala kecil.

Efisiensi sistem menjadi indikator utama dalam menilai seberapa efektif energi mekanik dari motor penggerak dikonversi menjadi energi listrik oleh alternator. Efisiensi dihitung menggunakan rumus (2.2). Nilai efisiensi yang tinggi menunjukkan bahwa konversi energi berlangsung secara optimal dengan sedikit kehilangan daya. Sebaliknya, penurunan efisiensi pada saat pembebanan non-linier dapat menandakan adanya peningkatan rugi-rugi dalam sistem, baik akibat Harmonisa maupun fluktuasi arus. Evaluasi ini membantu dalam memahami pengaruh karakteristik beban terhadap performa energi secara keseluruhan.

Regulasi tegangan merupakan parameter penting dalam menentukan kestabilan tegangan keluaran alternator saat sistem diberi beban. Regulasi tegangan dihitung dengan rumus (2.1). Nilai regulasi tegangan yang rendah menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kestabilan tegangan meskipun mengalami variasi beban. Namun, jika terjadi lonjakan nilai regulasi pada penggunaan beban non-linier, maka hal tersebut menunjukkan bahwa alternator tidak mampu mempertahankan tegangan nominal akibat gangguan Harmonisa. Parameter ini sangat relevan untuk sistem kelistrikan yang mengandalkan stabilitas tegangan, seperti dalam peralatan sensitif atau aplikasi laboratorium.

Parameter ketiga yang dianalisis adalah *Total Harmonic Distortion* (THD), yang mengukur seberapa besar distorsi gelombang akibat Harmonisa yang timbul dari beban non-linier. Nilai THD dihitung secara langsung menggunakan alat ukur Harmonisa, dan biasanya dinyatakan dalam persen dari amplitudo total. THD yang tinggi menandakan kualitas daya yang buruk, karena bentuk gelombang tegangan atau arus menyimpang dari bentuk sinusoidal ideal. Meskipun pada kondisi tanpa beban nilai THD relatif rendah, penggunaan beban seperti SMPS dan VFD cenderung meningkatkan nilai ini secara signifikan. Evaluasi THD menjadi sangat penting untuk menentukan apakah sistem membutuhkan perlindungan tambahan seperti filter Harmonisa. THD arus dihitung dengan rumus:

$$THD_i = \sqrt{(IHD_2)^2 + \dots + (IHD_{20})^2} \quad (3.1)$$

Untuk menghitung THD pada tegangan juga menggunakan rumus yang sama, hanya diubah menjadi:

$$THD_v = \sqrt{(VHD_2)^2 + \dots + (VHD_{20})^2} \quad (3.2)$$

Dengan membandingkan efisiensi, regulasi tegangan, dan nilai THD pada setiap kondisi pengujian, peneliti dapat menarik kesimpulan tentang performa sistem secara menyeluruh. Ketiga parameter tersebut saling berkaitan dalam menilai aspek teknis sistem, mulai dari konversi energi hingga kualitas daya yang dihasilkan. Dalam konteks sistem pembelajaran atau laboratorium, pemahaman terhadap hubungan antara jenis beban dan respons sistem sangat krusial untuk membekali mahasiswa dengan pengalaman praktis yang relevan. Hasil analisis ini tidak hanya memberikan gambaran teoretis, tetapi juga aplikasi langsung dalam perencanaan sistem kelistrikan yang efisien dan andal. Dengan demikian, analisis kuantitatif ini menjadi pilar utama dalam validasi dan optimalisasi sistem alternator berbasis motor induksi.