

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi digital dan otomasi telah mendorong pemanfaatan perangkat elektronik dalam sistem kelistrikan secara massif dan tidak dapat dihindari. Perangkat-perangkat seperti komputer pribadi, sistem pencahayaan LED, charger gawai, hingga *Variable Frequency Drive* (VFD) secara umum menggunakan teknologi switching yang menghasilkan beban non-linier. Karakteristik utama dari beban non-linier ini adalah arus yang tidak linier terhadap tegangan input, sehingga bentuk gelombangnya mengalami distorsi dari sinusoidal ideal. Distorsi ini menyebabkan munculnya harmonisa, yang tidak hanya menurunkan kualitas daya, tetapi juga memberikan dampak secara langsung terhadap performa peralatan listrik. Beban non-linear saat ini mendominasi baik di sektor rumah tangga, industri kecil, maupun di fasilitas komersial, hal ini menjadikan isu ini sangat relevan dalam konteks manajemen energi modern.

Beban non-linier menghasilkan harmonisa yang berdampak signifikan di dalam sistem tenaga listrik dengan skala kecil. Adanya harmonisa ini menyebabkan meningkatnya nilai rugi daya, penurunan efisiensi konversi energi, serta memperpendek usia pakai komponen-komponen dalam sistem kelistrikan. *Total Harmonic Distortion* (THD) merupakan indikator kunci dalam mengevaluasi tingkat distorsi Harmonisa, berdasarkan standar yang ditetapkan oleh IEEE 519 yakni nilai THD tegangan nilainya tidak lebih dari 5%. Jika nilai THD tegangan melewati natas ini, sistem distribusi berpotensi mengalami berbagai gangguan seperti fluktuasi tegangan, vibrasi mekanis, hingga terjadi overheat pada peralatan listrik. Pada beberapa sistem distribusi lokal, terutama yang menggunakan alternator satu fasa, sayangnya belum dilengkapi dengan sistem mitigasi Harmonisa yang memadai untuk mengatasi masalah ini.

Dalam sistem pembangkit skala kecil, alternator satu fasa merupakan komponen penting, baik sebagai sumber daya utama maupun sumber cadangan

untuk sistem off-grid. Jangkauan penggunaannya meliputi rumah tangga di daerah yang terisolir, aktivitas luar ruangan, hingga sistem mikrogrid terbatas. Meski desainnya lebih sederhana jika dibandingkan sistem tiga fasa, alternator satu fasa ini memiliki keterbatasan yang signifikan dalam menangani beban non-linier. Beban elektronik dengan kandungan harmonis yang tinggi dapat menyebabkan penurunan performa alternator, seperti ketidakmampuan dalam menjaga kestabilan tegangan output dan meningkatnya suhu secara berlebihan, yang pada akhirnya dapat mengurangi efisiensi dan masa pakai perangkat.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa beban non-linier memberikan dampak signifikan terhadap kualitas daya. (Gumilang et al., 2023) menemukan bahwa penggunaan komputer secara bersamaan pada sistem satu fasa dapat meningkatkan THD arus hingga lebih dari 20%, yang berdampak pada ketidakstabilan tegangan output. Penelitian lain oleh (Faisal Irsan Pasaribu, 2021) menunjukkan bahwa penggunaan laptop menghasilkan nilai THD yang sangat tinggi, bahkan mencapai 175%, dan bervariasi antar merek, sehingga tidak memenuhi standar IEC. (Ginting & Hidayat1, 2021) secara lebih spesifik mengukur distorsi harmonis pada laptop Ideapad 110 dan menemukan nilai THD sebesar 8,6%, yang menunjukkan bahwa meskipun berbeda perangkat, beban non-linier selalu menyumbang distorsi signifikan pada sistem tenaga.

Selain itu, (Made Wiwit Kastawan et al., 2021) meneliti pengaruh harmonis arus terhadap akurasi pengukuran kWh-meter analog. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai THD arus, semakin besar pula kesalahan pengukuran energi oleh kWh-meter analog. Hal ini membuktikan bahwa harmonis tidak hanya berdampak pada performa sumber listrik, tetapi juga pada keakuratan instrumen pengukuran energi. Lebih jauh lagi, penelitian oleh (Syaputra Siregar & Eteruddin, 2022) menunjukkan bahwa pada sistem off-grid berbasis mini alternator, nilai THD tegangan dapat melebihi 10% saat diberi beban elektronik rumah tangga. Kondisi ini menyebabkan overheating pada alternator serta fluktuasi frekuensi, yang pada akhirnya menurunkan keandalan operasional sistem.

Berdasarkan tinjauan tersebut, dapat disimpulkan bahwa fenomena harmonisa akibat beban non-linier telah banyak dikaji, namun sebagian besar penelitian masih terfokus pada sistem berbasis laptop, komputer, atau perangkat elektronik rumah tangga secara umum. Penelitian yang menyoroti secara spesifik interaksi beban non-linier dengan alternator satu fasa masih sangat terbatas. Padahal, alternator satu fasa memiliki peran vital dalam mendukung ketahanan energi lokal, khususnya pada sistem pembangkit kecil dan mandiri. Keterbatasan penelitian ini menimbulkan kesenjangan pengetahuan yang penting untuk dijembatani. Temuan-temuan ini menunjukkan perlunya penelitian lebih dalam tentang dampak harmonisa pada sistem berbasis alternator satu fasa.

Keterbatasan ini menunjukkan adanya kesenjangan pengetahuan yang signifikan dan penting untuk diisi melalui penelitian eksperimental yang sistematis. Oleh karena itu, penelitian ini dirancang sebagai kontribusi awal yang komprehensif terhadap pemahaman dampak harmonisa pada skala pembangkitan kecil. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental kuantitatif yang dilakukan di lingkungan laboratorium untuk menjamin akurasi data dan validitas hasil. Variasi beban non-linier seperti lampu LED, *Variable Frequency Drive* (VFD), akan digunakan dalam simulasi untuk merepresentasikan kondisi lapangan secara realistik. Parameter yang diamati meliputi THD arus-tegangan, stabilitas tegangan output, dan efisiensi daya.

Kontribusi utama dari penelitian ini adalah memberikan data primer yang relevan dan aplikatif tentang karakteristik respon alternator satu fasa terhadap berbagai jenis beban non-linier. Data tersebut dapat dimanfaatkan untuk perancangan sistem proteksi harmonisa, desain filter pasif atau aktif, serta rekomendasi spesifikasi alternator yang lebih adaptif terhadap kondisi beban modern.

Dari sisi industri, temuan dari studi ini dapat dimanfaatkan oleh produsen alternator untuk mengembangkan produk yang lebih tahan terhadap beban Harmonisa tinggi, termasuk integrasi sistem kontrol berbasis mikrokontroler untuk kompensasi aktif. Sementara itu, dalam konteks akademik, data eksperimen ini

dapat dijadikan dasar pengembangan penelitian lanjutan di bidang kualitas daya dan interaksi antara peralatan listrik dengan beban elektronik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik tegangan *output* alternator satu fasa saat diberikan beban non-linier dan tanpa beban?
2. Seberapa besar nilai *Total Harmonic Distortion (THD)* arus dan tegangan yang ditimbulkan oleh variasi beban non-linier terhadap alternator satu fasa?
3. Faktor teknis apa saja yang paling berkontribusi terhadap penurunan keandalan sistem kelistrikan berbasis alternator satu fasa akibat beban non-linier?

Supaya penelitian lebih terarah dan fokus, maka ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Alternator yang digunakan adalah jenis satu fasa kapasitas kecil ($\leq 1 \text{ kVA}$) yang umum digunakan pada sistem pembangkit mandiri rumah tangga.
2. Beban non-linier yang diuji meliputi lampu LED, SMPS dan VFD.
3. Parameter yang diamati terbatas pada tegangan *output* (V), arus (I), frekuensi (Hz) dan nilai THD arus-tegangan.
4. Penelitian dilakukan dalam lingkungan laboratorium tertutup dengan kondisi operasional yang dikontrol dan tidak melibatkan sistem grid atau interkoneksi eksternal.
5. Tidak dilakukan pengujian terhadap solusi mitigasi harmonisa (seperti filter aktif/pasif), fokus utama hanya pada identifikasi dampak beban non-linier.
6. Alternator dianggap andal jika nilai efisiensi tidak melebihi standar internasional.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan secara rinci sebagai berikut:

1. Menganalisis kinerja tegangan *output* alternator satu fasa terhadap variasi beban non-linier dalam kondisi aktual.

2. Mengukur dan mengevaluasi nilai *Total Harmonic Distortion (THD)* arus dan tegangan pada alternator satu fasa saat menerima beban non-linier.
3. Mengidentifikasi faktor utama penyebab penurunan keandalan operasional alternator akibat distorsi Harmonisa dari beban non-linier.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai pengaruh beban non-linier terhadap performa dan keandalan alternator 1 fasa, khususnya dalam hal kestabilan tegangan output, dan nilai *Total Harmonic Distortion (THD)*.
2. Menyediakan data eksperimental yang aplikatif sebagai dasar pengembangan sistem mitigasi harmonisa, seperti perancangan filter pasif atau aktif, serta penyesuaian spesifikasi teknis alternator agar lebih adaptif terhadap kondisi beban modern.
3. Menjadi referensi teknis dan akademik bagi praktisi, teknisi, dan peneliti dalam merancang, mengembangkan, atau mengevaluasi sistem kelistrikan skala kecil yang beroperasi di bawah dominasi beban non-linier.
4. Mendukung pengembangan kurikulum dan pembelajaran teknik elektro berbasis praktik, terutama dalam topik kualitas daya, sistem pembangkitan mandiri, dan karakteristik beban elektronik di sistem satu fasa.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari 3 bagian, yakni bagian awal, bagian isi, dan bagian penutup. Bagian-bagian tersebut dijelaskan sebagai berikut:

1. **Bagian Awal**

Bagian awal terdiri dari halaman judul, lembar pengesahan, lembar pernyataan, kata pengantar, abstrak, daftar isi, daftar gambar dan daftar tabel

2. **Bagian Isi**

- a. **Bab I Pendahuluan**

Bab ini menjadi bagian awal yang memberikan gambaran umum mengenai penelitian. Isinya mencakup latar belakang yang menjelaskan alasan dilaksanakannya penelitian, perumusan masalah sebagai fokus

kajian, serta batasan masalah yang digunakan untuk memperjelas ruang lingkup. Selain itu, dipaparkan pula tujuan penelitian, manfaat yang diharapkan, dan sistematika penulisan sebagai kerangka penyusunan laporan.

b. Bab II Kajian Pustaka

Pada bab ini, diuraikan teori-teori yang relevan, antara lain konsep alternator satu fasa, prinsip kerja beban non-linier, teori harmonisa dan THD, pengaruh harmonisa terhadap sistem kelistrikan, serta kajian pustaka dari penelitian sebelumnya yang mendukung perumusan penelitian.

c. Bab III Metode Penelitian

Pada bab ini akan dikemukakan metode penelitian yang digunakan, meliputi desain penelitian, alat dan bahan, desain sistem, alat ukur, parameter yang diamati, serta metode analisis data.

d. Bab IV Temuan dan Pembahasan

Pada bab ini, akan membahas mengenai hasil pengujian berupa nilai tegangan, arus, serta nilai THD, serta pengaruh beban non-linier terhadap kinerja dan keandalan alternator berdasarkan parameter yang diukur. Hasil pengujian ini ditampilkan dalam bentuk tabel.

e. Bab V Penutup

Pada bab terakhir, akan dikemukakan kesimpulan dari hasil yang didapatkan dalam penelitian dan pembahasan yang telah didapatkan, kemudian saran yang bertujuan untuk penelitian selanjutnya.

3. Bagian Akhir

Sebagai pelengkap, bagian akhir laporan ini memuat daftar pustaka dan lampir.