

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan energi terbarukan semakin mendapatkan perhatian dalam beberapa dekade terakhir, terutama energi surya yang dinilai sebagai salah satu sumber energi paling potensial dan ramah lingkungan. Panel surya (*photovoltaic/PV*) berfungsi mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik, namun memiliki karakteristik keluaran yang tidak linear. Tegangan dan arus keluaran PV sangat bergantung pada intensitas cahaya matahari serta suhu lingkungan, sehingga daya maksimum yang dapat dihasilkan sering kali tidak tercapai apabila tidak menggunakan metode kendali yang tepat.

Untuk mengoptimalkan daya keluaran dari panel surya, digunakan metode *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*. Berbagai algoritma MPPT telah dikembangkan, seperti *Perturb and Observe (P&O)* dan *Incremental CONductance (IncCONd)*. Walaupun sederhana, metode konvensional ini masih memiliki kelemahan, di antaranya respon yang lambat terhadap perubahan radiasi, munculnya osilasi di sekitar titik daya maksimum, serta menurunnya efisiensi sistem pada kondisi lingkungan yang dinamis.

Sebagai alternatif, logika fuzzy telah banyak dikaji dalam bidang kendali karena sifatnya yang adaptif, sederhana, dan tidak memerlukan model matematis sistem yang kompleks. Dalam konteks MPPT, logika fuzzy mampu merespon perubahan radiasi dan suhu dengan lebih cepat serta mengurangi osilasi di sekitar titik daya maksimum. Namun, sebagian besar penelitian fuzzy MPPT masih dilakukan dalam bentuk simulasi atau uji laboratorium dengan kondisi terkontrol, sehingga penerapannya dalam kondisi lapangan yang nyata masih terbatas.

Selain algoritma kendali, peran konverter DC-DC juga sangat penting. Salah satu konverter yang umum digunakan adalah *Buck Converter*, yang berfungsi menurunkan tegangan keluaran sesuai kebutuhan beban sekaligus menjaga efisiensi sistem. Integrasi

fuzzy MPPT dengan *Buck Converter* diharapkan mampu meningkatkan kecepatan tracking, efisiensi sistem, dan stabilitas daya keluaran.

Penelitian ini menawarkan pendekatan berbeda dengan menerapkan fuzzy MPPT menggunakan metode kontrol tidak langsung pada sistem PV dengan *Buck Converter* sebagai pengatur daya. Metode kontrol tidak langsung memiliki kelebihan karena tidak memerlukan model matematis detail panel surya, melainkan cukup menggunakan *Error* dan perubahan *Error* sebagai masukan fuzzy untuk menentukan *duty cycle*. Dengan demikian, sistem yang diusulkan diharapkan lebih sederhana, efisien, dan aplikatif untuk kondisi nyata di lapangan, serta dapat menjadi kONtribusi baru dalam pengembangan teknologi MPPT berbasis kendali cerdas pada energi surya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan algoritma MPPT berbasis logika fuzzy dengan metode kontrol tidak langsung pada sistem PV?
2. Bagaimana peran *Buck Converter* dalam mengoptimalkan kinerja sistem PV yang dikendalikan dengan fuzzy MPPT?
3. Sejauh mana kinerja fuzzy MPPT dengan metode kontrol tidak langsung dalam menjaga kestabilan dan meningkatkan efisiensi daya keluaran pada sistem *photovoltaic*?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang diharapkan agar dapat tercapai pada penelitian ini, yaitu antara lain:

1. Menerapkan metode kontrol tidak langsung berbasis fuzzy logic pada sistem MPPT.
2. Mengintegrasikan fuzzy MPPT dengan *Buck Converter* sebagai pengatur daya pada sistem PV.

3. Menganalisis kinerja fuzzy MPPT dengan metode kontrol tidak langsung dalam menjaga kestabilan dan meningkatkan efisiensi daya keluaran sistem *photovoltaic*.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini yaitu antara lain sebagai berikut:

1. Mengembangkan dan menerapkan metode MPPT berbasis logika fuzzy dengan kontrol tidak langsung yang mampu meningkatkan kestabilan dan efisiensi daya keluaran panel surya pada berbagai kondisi irradiansi.
2. Menjadi referensi ilmiah terkait implementasi fuzzy MPPT dengan *Buck Converter* untuk pengembangan energi terbarukan.
3. Mendukung pengembangan teknologi sistem PV berbasis kendali cerdas yang aplikatif di kondisi nyata lapangan.

1.5 Ruang Lingkup Masalah

Untuk menjaga agar penelitian ini terfokus dan terarah, maka ruang lingkup masalah yang dibahas dibatasi sebagai berikut:

1. Sumber energi yang digunakan adalah panel surya (*photovoltaic*) skala laboratorium atau skala kecil, bukan sistem PV skala besar.
2. Algoritma MPPT yang digunakan hanya berbasis logika fuzzy dengan metode kontrol tidak langsung, tanpa membahas algoritma MPPT lain secara detail.
3. Jenis konverter *DC-DC* yang digunakan terbatas pada *Buck Converter* sebagai pengatur tegangan dan daya, tidak mencakup jenis konverter lainnya (*Boost*, *Buck-Boost*, *Cuk*, dan lain-lain).
4. Lingkungan pengujian dilakukan dalam kondisi operasiONal nyata dengan panel surya yang terpapar radiasi matahari secara langsung, namun tidak membahas faktor eksternal lain seperti degradasi material panel dalam jangka panjang.
5. Parameter evaluasi difokuskan pada efisiensi sistem, stabilitas keluaran daya, serta kecepatan pencarian titik daya maksimum (*tracking speed*).

1.6 Kebaruan

Kebaruan dari penelitian ini terletak pada penerapan metode kontrol tidak langsung berbasis logika fuzzy yang diimplementasikan secara nyata pada sistem *Maximum Power Point Tracking (MPPT)* dengan menggunakan *Buck Converter*. Berbeda dengan sebagian besar penelitian sebelumnya yang masih dilakukan melalui simulasi perangkat lunak atau pengujian dalam laboratorium dengan kondisi terkontrol, penelitian ini secara langsung menguji sistem dalam kondisi lapangan nyata, sehingga hasil yang diperoleh lebih representatif terhadap performa panel surya ketika digunakan pada aplikasi sebenarnya.

Pendekatan kontrol tidak langsung juga menjadi salah satu aspek kebaruan penting, karena metode ini mampu menyederhanakan desain sistem kendali. Pada umumnya, metode kontrol langsung mengandalkan model matematis panel surya yang kompleks untuk menentukan titik daya maksimum. Sebaliknya, dalam penelitian ini, logika fuzzy dengan kontrol tidak langsung memanfaatkan variabel *Error* dan perubahan *Error* sebagai parameter masukan untuk menghasilkan *duty cycle*, sehingga sistem lebih fleksibel dan adaptif terhadap variasi intensitas radiasi dan suhu lingkungan tanpa perlu model matematis detail.

Integrasi logika fuzzy yang adaptif dengan *Buck Converter* yang efisien juga menjadi kombinasi baru yang menawarkan keunggulan teknis. Logika fuzzy dikenal mampu merespon perubahan kondisi secara cepat dan mengurangi osilasi di sekitar *Maximum Power Point (MPP)*, sementara *Buck Converter* memastikan penyesuaian tegangan dilakukan dengan efisiensi tinggi. Dengan penggabungan keduanya, penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan kecepatan tracking, mengurangi rugi-rugi daya, dan menjaga kestabilan daya keluaran pada sistem PV.