

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Plasma merupakan gas yang terionisasi dan sering disebut sebagai keadaan materi keempat setelah padat, cair, dan gas. Plasma terbentuk ketika gas diberi energi yang cukup besar sehingga elektron terlepas dari atomnya, menghasilkan campuran ion positif dan elektron bebas yang bersifat konduktif [1]. Plasma tersusun atas partikel bermuatan, plasma menunjukkan sifat kolektif yang unik terhadap medan listrik dan magnet, membedakannya dari bentuk materi lainnya [2].

Salah satu jenis plasma yang banyak dikembangkan dalam penelitian adalah *Dielectric Barrier Discharge* (DBD), yaitu plasma *non-thermal* yang dihasilkan pada tekanan atmosfer menggunakan dua elektroda yang dipisahkan oleh bahan dielektrik. Pemisah dielektrik ini berfungsi untuk membatasi arus dan mencegah terjadinya pelepasan busur listrik kontinu, sehingga plasma tetap berada dalam kondisi *non-thermal*. Plasma DBD memiliki karakteristik suhu gas yang tetap rendah meskipun energi elektronnya tinggi, sehingga memungkinkan terbentuknya partikel-partikel bermuatan dan senyawa aktif seperti ion, elektron bebas, dan molekul teraktivasi tanpa menyebabkan peningkatan suhu gas secara signifikan. Hal ini menjadikan plasma DBD efektif digunakan dalam berbagai proses fisika dan kimia pada permukaan material maupun lingkungan gas, tanpa risiko kerusakan termal [3].

Untuk membangkitkan plasma DBD, diperlukan catu daya berupa tegangan bolak-balik berfrekuensi tinggi dan amplitudo cukup besar. Sumber tegangan semacam ini tidak dapat diperoleh secara langsung dari sistem DC, sehingga dibutuhkan suatu konversi daya untuk mengubah tegangan searah menjadi tegangan bolak-balik. Salah satu rangkaian yang umum digunakan untuk keperluan ini adalah *inverter half-bridge*, yaitu topologi *inverter* dengan dua saklar daya yang bekerja secara bergantian untuk menghasilkan sinyal AC dari sumber DC [4] [5]. Rangkaian ini populer karena sederhana, efisien, dan cukup stabil ketika dioperasikan pada frekuensi tinggi, sehingga sesuai dengan kebutuhan sistem plasma DBD yang mengandalkan kestabilan frekuensi dan tegangan untuk menjaga kualitas pelepasan plasma.

Inverter half-bridge merupakan salah satu topologi konversi daya yang menggunakan dua saklar elektronik seperti MOSFET yang dikendalikan secara bergantian untuk menghasilkan sinyal AC. Dalam konfigurasi ini, setiap saklar dihubungkan ke separuh sumber tegangan DC, dan dikontrol secara bergantian sehingga tegangan output berosilasi antara dua level yang berlawanan, menyerupai gelombang AC. Topologi ini memiliki beberapa keunggulan, antara lain efisiensi tinggi karena waktu konduksi yang optimal, kestabilan operasi pada frekuensi

tinggi dan kontrol yang tidak terlalu kompleks. Keunggulan ini menjadikan *inverter half-bridge* sebagai pilihan umum dalam aplikasi konversi daya frekuensi tinggi, termasuk sistem pembangkitan plasma DBD. Namun, agar saklar daya seperti MOSFET dapat beroperasi secara optimal, diperlukan sistem pemacu yang mampu melakukan *switching* secara cepat, akurat, dan sinkron dengan sinyal kontrol. Proses *switching* yang tidak presisi dapat menimbulkan rugi daya, pemanasan berlebih, bahkan kerusakan pada saklar. Oleh karena itu, kestabilan dan keakuratan sinyal pemacu dari pengendali sangat memengaruhi kinerja dan efisiensi keseluruhan sistem *inverter*[6].

Dalam sistem ini, *gate driver* berfungsi sebagai antarmuka antara sinyal logika dari *mikrokontroler* dan saklar daya. MOSFET tidak dapat dikendalikan langsung oleh sinyal logika karena memerlukan tegangan dan arus tertentu pada gerbangnya. Oleh karena itu, digunakanlah *gate driver* berbasis IC untuk mengatur proses *switching* secara efisien [7]. Pada penelitian ini, sinyal kontrol diberikan dalam bentuk *Pulse Width Modulation (PWM)* yang dihasilkan oleh Arduino. Frekuensi sinyal PWM dan nilai *duty cycle*-nya divariasikan untuk mengatur lama waktu konduksi masing-masing saklar, yang secara langsung mempengaruhi bentuk gelombang output dan keberhasilan pembangkitan plasma.

Beberapa penelitian telah mengkaji implementasi *inverter half-bridge* untuk pembangkitan plasma. Amjad dkk. merancang konverter resonan *half-bridge* berfrekuensi tinggi untuk generator ozon berbasis DBD dan mencatat peningkatan efisiensi produksi ozon [8]. Jakubowski, Holub, dan Kalisiak mengembangkan *inverter* dengan pelacakan frekuensi otomatis untuk suplai plasma DBD dan berhasil menjaga kestabilan tegangan keluaran [9]. Yong-Nong dan Chih-Ming merancang sistem pembangkit plasma atmosfer menggunakan *inverter half-bridge* dengan konverter resonansi beban seri berfrekuensi tinggi, dilengkapi dengan transformator *step-up* serta model setara elektrode dan transformator untuk optimasi performa resonansi [10]. Namun, masih terbatas penelitian yang secara sistematis mengkaji integrasi *gate driver* dalam topologi *inverter half-bridge* dengan kontrol PWM berbasis Arduino untuk pembangkitan plasma DBD.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem *inverter* yang mampu menghasilkan sinyal AC berfrekuensi tinggi secara efisien dan stabil, serta mengkaji pengaruh variasi frekuensi dan *duty cycle* sinyal PWM terhadap kinerja *gate driver* dan keberhasilan pembangkitan plasma *non-thermal*. Dengan pendekatan ini, diharapkan tercipta sistem yang sederhana, ekonomis, dan dapat direalisasikan untuk kebutuhan eksperimental maupun aplikasi berskala kecil.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, diperoleh rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana membuat sistem *gate driver* yang mampu mengendalikan *inverter half-bridge* secara efisien dan stabil untuk pembangkitan plasma?
2. Bagaimana pengaruh variasi frekuensi dan *duty cycle* sinyal PWM terhadap karakteristik sinyal pemacu gerbang serta respons MOSFET yang ditinjau dari arus *drain*, tegangan *drain-source*, dan performa *switching*?
3. Bagaimana karakteristik plasma yang dihasilkan oleh rangkaian *inverter half-bridge* dengan berbagai variasi frekuensi *switching*, dan *duty cycle*, ditinjau dari tegangan output, arus, daya, serta tampilan plasma yang dibangkitkan?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Membuat sistem *gate driver* yang dapat mengendalikan *inverter half-bridge* secara optimal untuk menghasilkan sinyal AC berfrekuensi tinggi untuk pembangkitan plasma.
2. Menganalisis pengaruh variasi frekuensi dan *duty cycle* PWM terhadap performa sinyal *switching* pada terminal *gate* dan *drain-source* MOSFET.
3. Mengevaluasi karakteristik plasma yang dibangkitkan oleh rangkaian *inverter half-bridge* berdasarkan tegangan keluaran, arus, daya, serta bentuk visual plasma yang muncul pada berbagai kondisi pengendalian.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan referensi dalam mendesain sistem *gate driver* untuk mengendalikan *switching* pada *inverter half-bridge* secara efektif dalam aplikasi pembangkitan plasma.
2. Menyediakan data eksperimental mengenai pengaruh variasi frekuensi dan *duty cycle* terhadap kinerja MOSFET dan kestabilan output *inverter*.
3. Mendukung pengembangan sistem konversi daya berfrekuensi tinggi berbasis *inverter* untuk aplikasi plasma *non-thermal* yang efisien, ekonomis, dan mudah direalisasikan.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Rangkaian *inverter* yang digunakan menggunakan topologi *half-bridge* dengan dua buah MOSFET jenis IRFZ44N sebagai saklar daya.
2. *Gate driver* yang digunakan difokuskan pada penggunaan IC IR2104, dan tidak mencakup jenis *driver* lainnya.
3. Sumber daya masukan berupa tegangan DC yang berasal dari adaptor.

4. Trafo *step-up* difungsikan sebagai pembangkit tegangan tinggi, namun perancangan detail seperti dimensi inti dan jumlah lilitan tidak dibahas secara menyeluruh.
5. Plasma yang dihasilkan pada penelitian ini difokuskan pada jenis *Dielectric Barrier Discharge* (DBD) menggunakan reaktor yang telah dirancang.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini disusun dalam beberapa bab dengan sistematika tertentu, sistematika laporan ini sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas terkait latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini mencakup tentang landasan teori yang mendukung dan berkaitan dengan penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini mencakup tentang metoda penelitian yang digunakan, diagram alir (*flowchart*) yang berisi tahapan dalam pengerjaan tugas akhir ini dimulai dari literatur, perancangan hingga pengujian yang dilakukan pada penelitian tugas akhir ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini mencakup tentang hasil dan analisa dari penelitian tugas akhir yang telah dilakukan

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini mencakup tentang kesimpulan dan saran penelitian berdasarkan data dari penelitian tugas akhir yang telah dilakukan

DAFTAR PUSTAKA