

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi pengolahan air bersih saat ini semakin menuntut adanya sistem sterilisasi yang efektif, efisien, dan mudah dalam pengoperasian. Metode sterilisasi air yang umum digunakan antara lain berbasis bahan kimia oksidator seperti sodium hipoklorit, kalsium hipoklorit, gas klorin, hidrogen peroksida, ozon, serta metode fisik menggunakan sinar ultraviolet (UV). Di antara metode tersebut, sterilisasi menggunakan sinar UV menjadi salah satu alternatif yang banyak digunakan karena tidak menghasilkan residu kimia dan memiliki proses yang relatif sederhana [1].

Sterilisasi UV bekerja dengan memanfaatkan radiasi sinar ultraviolet, khususnya pada panjang gelombang 254 nm (UVC), yang mampu merusak struktur DNA dan RNA mikroorganisme sehingga menghambat kemampuan reproduksi dan menyebabkan inaktivasi mikroorganisme [1,2]. Keunggulan utama metode ini adalah konstruksi sistem yang sederhana, biaya operasional yang relatif rendah, serta kemudahan dalam pengoperasian dan perawatan.

Namun demikian, kinerja sistem sterilisasi UV sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah intensitas radiasi UV yang diterima oleh air. Intensitas ini dapat menurun akibat meningkatnya kekeruhan air (turbiditas) [1] maupun adanya kotoran yang menempel pada permukaan pelindung lampu UV (*sleeve*) [2]. Penumpukan kotoran tersebut dapat menghambat transmisi radiasi UV sehingga menurunkan efektivitas proses sterilisasi. Selain itu, pada sistem konvensional umumnya belum dilengkapi dengan mekanisme pembersihan otomatis maupun sistem pemantauan kinerja, sehingga penurunan performa sulit terdeteksi secara langsung.

Berbagai pengembangan sistem sterilisasi air berbasis UV telah dilakukan. Ray Denkwicz, et al. dalam US Patent No. US2016/0122208 A1 mengembangkan sistem sterilisasi cairan yang menggabungkan teknologi UV dan ozon dalam satu

tabung reaktor dengan lebih dari satu lampu UV [3]. Sistem tersebut memanfaatkan lampu UV dengan panjang gelombang 185 nm untuk menghasilkan ozon, yang kemudian dikombinasikan dengan penyinaran UV 254 nm untuk meningkatkan efektivitas sterilisasi. Namun demikian, sistem ini memiliki keterbatasan pada aspek perawatan karena tidak dilengkapi dengan modul pembersih internal pada sleeve lampu UV, sehingga berpotensi mengalami penurunan intensitas radiasi akibat fouling.

Pengembangan lain dilakukan oleh Norimitsu Abe, et al. dalam US Patent No. US2004/0045886 A1 yang menggunakan sistem UV dan ozon secara terpisah dalam dua tabung reaktor yang disusun secara seri [4]. Sistem ini mampu meningkatkan efektivitas sterilisasi, namun memiliki kompleksitas konstruksi yang lebih tinggi serta membutuhkan ruang dan biaya yang lebih besar. Selain itu, sistem ini juga belum dilengkapi dengan mekanisme pembersihan otomatis pada sleeve lampu UV.

Selanjutnya, Dexter Richard Van Riper, et al. dalam US Patent No. 11,472,727 B2 mengembangkan sistem kombinasi UV dan ozon dengan dua ruang dalam satu unit alat [5]. Meskipun sistem ini lebih terintegrasi, keterbatasan masih ditemukan pada kapasitas yang relatif terbatas serta belum adanya sistem pembersihan internal yang dapat menjaga kestabilan intensitas radiasi UV dalam jangka waktu operasi.

Berdasarkan kajian terhadap beberapa sistem yang telah dikembangkan tersebut, dapat disimpulkan bahwa permasalahan utama yang masih sering muncul adalah penurunan kinerja sistem akibat fouling pada sleeve lampu UV serta belum tersedianya mekanisme pembersihan otomatis dan pemantauan kinerja sistem secara terintegrasi. Selain itu, sistem-sistem yang ada umumnya masih menggunakan konfigurasi lampu tunggal dalam satu tabung reaktor, atau sebaliknya memisahkan beberapa lampu ke dalam tabung-tabung yang berbeda, sehingga distribusi radiasi UV menjadi tidak optimal atau konstruksi menjadi lebih kompleks. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem sterilisasi air berbasis UV yang

tidak hanya berfokus pada efektivitas sterilisasi, tetapi juga pada kestabilan dan keandalan kinerja alat selama proses operasi.

Pada penelitian ini dirancang dan dibangun alat sterilisasi air menggunakan sistem lampu UV majemuk yakni empat lampu UV yang ditempatkan dalam satu tabung reaktor tunggal. Pendekatan metode satu tabung dengan lampu majemuk ini dipilih sebagai solusi atas keterbatasan sistem konvensional: dibandingkan dengan konfigurasi lampu tunggal yang umum digunakan pada reaktor komersial seperti Germilite, penggunaan 4 lampu dalam satu tabung menghasilkan superposisi intensitas radiasi UV dari keempat sumber secara bersamaan, sehingga distribusi iradiasi di seluruh penampang reaktor menjadi jauh lebih merata dan menyeluruh. Dibandingkan sistem multi-tabung seperti pada Abe et al. [4], pendekatan satu tabung ini menjaga konstruksi tetap kompak tanpa mengorbankan kapasitas radiasi. Sistem ini juga dilengkapi dengan mekanisme pembersih otomatis pada sleeve lampu UV yang bekerja secara periodik untuk menjaga kebersihan permukaan dan mempertahankan performa sistem selama operasi berlangsung.

Selain itu, sistem yang dirancang juga dilengkapi dengan kemampuan pencatatan data (data logging) dan pengiriman data secara daring ke platform spreadsheet berbasis internet. Dengan adanya fitur ini, parameter operasi seperti kondisi siklus kerja alat dapat dipantau secara real-time serta direkam sebagai data historis untuk analisis kinerja sistem.

Karakterisasi intensitas radiasi UV pada penelitian ini tidak dilakukan secara langsung di dalam sistem, melainkan melalui pengujian eksperimental terpisah untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan sleeve terhadap distribusi intensitas UV. Pengujian dilakukan dengan beberapa variasi kondisi, yaitu penggunaan sleeve berbahan akrilik, sleeve berbahan kaca, tanpa sleeve, serta pembanding berupa intensitas sinar matahari.

Pengujian kinerja sistem secara keseluruhan dilakukan melalui uji keandalan sistem dalam siklus pembersihan dan perhitungan geometri lampu UV pada alat. Dengan adanya sistem ini, diharapkan dapat diperoleh suatu alat

sterilisasi air berbasis UV yang memiliki kinerja stabil, efisien, serta mudah dalam pemeliharaan, dan dapat menjadi alternatif solusi yang lebih optimal dibandingkan sistem konvensional.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana merancang dan membangun alat sterilisasi air menggunakan lampu UV majemuk dalam satu tabung reaktor yang dilengkapi dengan sistem pembersih otomatis?
2. Bagaimana karakteristik intensitas radiasi UV berdasarkan variasi penggunaan *sleeve* (akrilik, kaca, tanpa *sleeve*) serta sebagai pembanding terhadap intensitas sinar matahari?
3. Bagaimana keandalan sistem pembersih Sleeve dalam beroperasi secara kontinu dalam jangka waktu tertentu?
4. Bagaimana implementasi sistem data logging berbasis internet untuk merekam dan memantau parameter operasi alat secara *real-time* melalui platform *spreadsheet*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merancang dan membangun alat sterilisasi air menggunakan lampu UV majemuk dalam satu tabung reaktor yang dilengkapi dengan sistem pembersih otomatis.
2. Menganalisis karakteristik intensitas radiasi UV melalui pengujian eksperimental dengan variasi penggunaan *sleeve* (akrilik, kaca, tanpa *sleeve*) serta sebagai pembanding terhadap intensitas sinar matahari.
3. Mengevaluasi keandalan sistem pembersih Sleeve dalam beroperasi secara kontinu dalam jangka waktu tertentu.

4. Mengimplementasikan sistem data logging berbasis internet untuk merekam dan menampilkan parameter operasi alat secara *real-time* melalui platform *spreadsheet*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1) Manfaat Teoritis

- a. Memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik elektro, khususnya terkait perancangan sistem sterilisasi air berbasis sinar *ultraviolet*.
- b. Menjadi referensi dalam analisis kinerja alat sterilisasi UV, terutama yang menggunakan konfigurasi lampu UV majemuk.
- c. Memberikan kajian mengenai pengaruh penggunaan *sleeve* terhadap distribusi intensitas radiasi UV.
- d. Menambah wawasan terkait hubungan antara parameter operasional sistem, seperti konsumsi daya dan keandalan, terhadap kinerja alat.

2) Manfaat Praktis

- a. Menghasilkan prototipe alat sterilisasi air berbasis lampu UV majemuk yang dilengkapi dengan sistem pembersih otomatis untuk mencegah penumpukan kotoran pada permukaan Sleeve .
- b. Meningkatkan efisiensi pemeliharaan sistem melalui mekanisme pembersihan *sleeve* secara periodik.
- c. Menyediakan sistem pemantauan kondisi operasi alat secara jarak jauh melalui *data logging* berbasis *spreadsheet*.
- d. Menyediakan data historis parameter operasi yang dapat digunakan untuk analisis dan evaluasi kinerja sistem.
- e. Memberikan alternatif solusi sistem sterilisasi air yang lebih sederhana, andal, dan berpotensi untuk dikembangkan pada skala rumah tangga maupun industri kecil.

1.5 Batasan Masalah

1. Penelitian ini difokuskan pada perancangan dan pembangunan alat sterilisasi air menggunakan lampu UV majemuk dalam satu tabung reaktor.
2. Sistem dilengkapi dengan mekanisme pembersih otomatis pada *sleeve* lampu UV, dengan pembahasan difokuskan pada fungsi dan kinerja sistem tanpa analisis detail perancangan mekanik.
3. Pengukuran intensitas radiasi UV dilakukan secara terpisah di luar sistem utama, sehingga tidak dilakukan pengukuran intensitas UV secara real-time selama alat beroperasi.
4. Variasi pengujian intensitas UV dibatasi pada penggunaan *sleeve* berbahan akrilik, *sleeve* berbahan kaca, tanpa *sleeve*, serta pembanding berupa sinar matahari.
5. Penelitian ini tidak mencakup pengujian kualitas air secara mikrobiologi, sehingga efektivitas sterilisasi hanya dianalisis berdasarkan parameter teknis dan referensi literatur.
6. Sistem monitoring yang digunakan terbatas pada pencatatan dan pengiriman data parameter operasi ke *platform spreadsheet* berbasis internet, tanpa mencakup sistem kendali jarak jauh (remote control).