PENGEMBANGAN SISTEM OTOMATISASI ALIRAN INTERMITEN PADA REAKTOR FOTOKATALIS UNTUK PENGURAIAN PEWARANA TEKSTIL

RAHMAWATI
H1021191004

SKRIPSI

PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2025

PENGEMBAGAN SISTEM OTOMATISASI ALIRAN INTERMITEN PADA REAKTOR FOTOKATALIS UNTUK PENGURAIAN PEWARANA TEKSTIL

RAHMAWATI
H1021191004

Skripsi
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains pada Program Studi Fisika

PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2025

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir	: Pengembangan Sistem Otomatisasi Aliran Intermiten pada Reaktor Fotokatalis untuk Penguraian Pewarna Tekstil
Nama Mahasiswa	: Rahmawati
NIM	: H1021191004
Jurusan/Program Studi	: Fisika/Fisika
Tanggal Lulus	: 3 Januari 2025
SK Pembimbing	: No. 3967/UN22.8/TD.06/2023 /Tanggal 13 Oktober 2023
SK Penguji	: No. 4201/UN22.8/TD.06/2024 /Tanggal 11 Desember 2024

Dosen Pembimbing

Pembimbing I	Pembimbing II
Dr. Azrul Azwar, S.Si., M.Si.	Asifa Asri, S.Si., M.Si.
NIP198107302005011002	NIP199006052022032010

Dosen Penguji

Ketua Penguji	Anggota Penguji
Dr. Bintoro Siswo Nugroho	Yudha Arman, S.Si., D.Sc.
NIP198102061006041003	NIP197805132003121002

Pimpinan Sidang (merangkap anggota penguji)	Sekretaris Sidang (merangkap anggota penguji)
Dr. Azrul Azwar, S.Si., M.Si.	Asifa Asri, S.Si., M.Si.
NIP198107302005011002	NIP199006052022032010

Mengesahkan
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Tanjungpura

Prof. Dr. Gusrizal, S.Si., M.Si
NIP197108022000031001

PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK

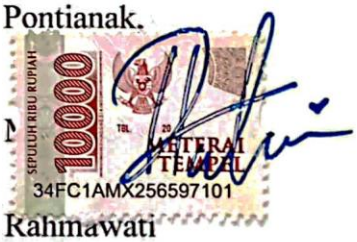
Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Rahmawati
NIM	: H1021191004
Program Studi/ Jurusan	: Fisika/Fisika
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

dengan ini menyatakan bahwa dokumen ilmiah Tugas Akhir yang disajikan ini tidak mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, Dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 39 Tahun 2021. Apabila di kemudian hari dokumen ilmiah Tugas Akhir ini mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai ketentuan perundangan tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Demikian pernyatan ini untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Pontianak.



Rahmawati
H1021191004

Pengembangan Sistem Otomatisasi Aliran Intermiten pada Reaktor Fotokatalis untuk Penguraian Pewarana Tekstil

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pengaturan aliran air pada reaktor fotokatalisis dan mengkaji pengaruhnya terhadap laju penguraian pewarna tekstil *metilen blue*. Pengaturan aliran air pada penelitian ini memanfaatakan mikrokontroler ESP32 dan pompa DC12V sebagai pengendali utama, *waterflow sensor* untuk memantau debit, serta rangkaian mosfet Trigger 5-36V sebagai saklar otomatis agar pompa dapat hidup dan mati berdasarkan nilai *timer* yang telah diprogram. Pengendalian pompa air secara otomatis memanfaatkan aplikasi *blynk* sehingga sistem menghasilkan aliran intermiten dengan jeda waktu yang diiginkan. Dalam penelitian ini, dilakukan perbandingan kinerja antara reaktor dengan aliran intermiten dan reaktor dengan aliran kontinu. Debit aliran yang digunakan sama sebesar 2L/menit dan iradiasi matahari selama 6 jam. Pada reaktor dengan aliran intermiten jeda waktu aliran yang diberikan adalah 15 menit, 30 menit, 45 menit, 60 menit dan 75 menit. Pengambilan sampel uji dilakukan setiap 2 jam sekali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dibandingkan dengan aliran kontinu penggunaan aliran intermiten pada reaktor fotokatalisis dapat meningkatkan laju penguraian *metilen blue* hingga mecapai 71.2% untuk jeda waktu aliran 30 menit. Peningkatan laju penguraian ini terjadi karena ada waktu interaksi yang cukup bagi material fotokatalis dengan pewarna tekstil. Hasil ini dapat dimanfaatkan untuk mernancang reaktor fotokatalisis dengan konerja yang lebih tinggi.

Kata kunci: ESP32, *Waterflow Sensor*, Fotoreaktor, Fotodegradasi. *Methylene Blue*.

Development of an Intermittent Flow Automation System in a Photocatalyst Reactor for the Decomposition of Textile Dyes

Abstract

The aim of this research is to develop a water flow control system in a photocatalysis reactor and to examine its effect on the degradation rate of the textile dye methylene blue. The water flow control in this study utilizes an ESP32 microcontroller and a DC12V pump as the main controller, a water flow sensor to monitor the flow rate, and a 5-36V MOSFET trigger circuit as an automatic switch, allowing the pump to turn on and off based on a programmed timer value. The automatic pump control is integrated with the blynk application, enabling the system to generate intermittent flow with the desired time intervals. In this study, the performance of a reactor with intermittent flow was compared to a reactor with continuous flow. The flow rate used was the same, set at 2 L/min, with solar irradiation for 6 hours. In the reactor with intermittent flow, the flow interval times were set at 15 minutes, 30 minutes, 45 minutes, 60 minutes, and 75 minutes. Sample collection for testing was conducted every 2 hours. The results showed that, compared to continuous flow, the use of intermittent flow in the photocatalysis reactor increased the degradation rate of methylene blue by up to 71.2% at a 30-minute flow interval. This improvement in degradation rate occurs because the photocatalyst material has sufficient interaction time with the textile dye. These findings can be utilized to design a photocatalysis reactor with higher performance.

Keywords: ESP32, Waterflow Sensor, Photoreactor, Photodegradation, Methylene Blue

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulisan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi dengan judul "Pengembangan Sistem Otomatisasi Aliran Intermiten pada Reaktor Fotokatalis untuk Penguraian Pewarana Tekstil" merupakan hasil penelitian yang dilakukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura.

Dalam proses penyelesaian penelitian ini, penulis menyadari bahwa pencapaian ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Khususnya kepada Bapak Dr. Azrul Azwar, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing pertama sekaligus pembimbing akademik penulis dan Ibu Asifa Asri, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing kedua, yang telah meluangkan waktu, memberi masukan serta arahan yang sangat berharga, memberikan masukan dan saran yang konstruktif, serta turut membimbing penulis dalam proses penulisan skripsi ini.

Selain itu, dengan segala kerendahan hati, penulis juga ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Gusrizal, S.Si., M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura Pontianak.
2. Bapak Dr. Bintoro Siswo Nugroho, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura Pontianak sekaligus dosen penguji pertama yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan dan penyempurnaan penelitian ini.
3. Yudha Arman, S.Si., D.Sc. selaku dosen Penguji II, yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan dan penyempurnaan penelitian ini.
4. Staf pengajar yang telah memberikan ilmu, megajarkan dan mendidik penulis serta staf Laboratorium yang telah menyediakan fasilitas penelitian dan bantuan teknis selama pelaksanaan penelitian.

5. Muhammad Ridhwan Sufandi M.T S.T. yang selalu memberikan masukan dan bantuan kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Teman–teman penulis yaitu Jihan Rahmah Ramdlaniah, Afifatul Inayah, Nanda Bella Febriana, Siti Azizza, dan Diah Fitri Wulandari yang turut membantu memberikan dukungan, waktu dan baik dalam proses penelitian maupun dalam memberikan ide-ide konstruktif selama diskusi.
7. Seluruh keluarga besar Jaya Assih, khususnya Luthfi bin Fanani dan Belinda Nastya Lakshita, yang selalu memberi dukukan dan motivasi penulis selama menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada kedua orang tua penulis, yang telah memberikan dukungan moral dan material sepanjang proses penyelesaian penelitian skripsi ini. Kasih sayang dan doa dari kedua orang tua penulis selalu menjadi sumber kekuatan dan semangat bagi penulis. Akhir kata, penulis berharap penelitian ini dapat menjadi langkah awal untuk pengembangan lebih lanjut.

Pontianak, 10 Januari 2025

Penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR LAMPIRAN xii
BAB I PENDAHULUAN 1
1. 1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3
BAB II DASAR TEORI 4
2.1 Perkembangan Fotoreaktor Fotokatalis 4
2.2 Proses Fotokatalis 6
2.3 Sistem Otomatisasi Aliran Intermiten pada Fotoreaktor Fotokatalis 9
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 12
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian 12
3.2 Alat dan Bahan Penelitian 12
3.2.2 Alat dan Bahan Pembuatan *floating fotocatalyst* TiO_2-PP 13
3.2.3 Bahan Pembuatan Limbah Artifisial 13
3.3 Prosedur Kerja 13
3.4 Rangkaian Alat 15
3.5 Diagram Alir Penelitian 17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 20
4.1 Implementasi Sistem 20
4.2 Pengujian dan Kalibrasi Reaktor Fotokatalis 25
4.3 Penguraian MB Menggunakan Reaktor dengan Perangkat Otomatisasi Aliran Intermiten 29
BAB V SIMPULAN DAN SARAN 33
5.1 Kesimpulan 33

5.2 Saran 33
DAFTAR PUSTAKA 35
LAMPIRAN..... 38
Lampiran 1. Kode Program Sistem Keseluruhan.....38
Lampiran 2. Dokumentasi pengambilan data.....39
Lampiran 3. Grafik perubahan spektrum UV-Vis pada kedua reaktor 40
Lampiran 4. Uji spektrofotometri Uv-Vis.....40
Lampiran 5. Tabel nilai absorbansi seluruh variabel 41
Lampiran 6. Grafik laju degradasi setiap variabel 42
Lampiran 7. Perhitungan presentase peningkatan degradasi kedua reaktor.....44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Reaktor batch (Abdollahi, 2012) 5
Gambar 2.2 Fotoreaktor tubular 5
Gambar 2.3 Proses fotokatalis 6
Gambar 3.1 Proses sintetis PP-TiO_2 menggunakan teknik thermal milling (a) bahan PP 14
Gambar 3.2 Diagram blok sistem 16
Gambar 3.3 Desain rancang bangun perangkat keras (a) *Project box* dan (b) pipa 16
Gambar 3.4 Diagram alir penelitian pembuatan perangkat 18
Gambar 3.5 Diagram alir pengolahan data 19
Gambar 4.1 Tampilam *project box* sistem otomatisasi aliran intermiten 20
Gambar 4.2 *Interface* aplikasi *blynk* 21
Gambar 4.3 Pemograman definisi konstanta dan inkusi *library* 21
Gambar 4.4 Program kredensial wifi dan *blynk* 22
Gambar 4.5 Program deklarasi variabel dan objek 22
Gambar 4.6 Pemograman fungsi ISR 23
Gambar 4.7 Program pemanggilan *blynk* 23
Gambar 4.8 Program setup 24
Gambar 4.9 Program *loop* 24
Gambar 4.10 Program control pompa 25
Gambar 4.11 Proses kalibrasi kedua reaktor fotokatalis 26
Gambar 4.12 Kondisi MB setelah diiradiasi dibawah sinar matahari 27
Gambar 4.13 Grafik perubahan spektrum UV-Vis pada Reaktor A dan B 27
Gambar 4.15 Grafik nilai laju degradasi MB Reaktor A dan Reaktor B 28
Gambar 4.16 Grafik perbandingan laju degradasi antara reaktor A (aliran 31

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Nilai aborbansi maksimum MB selama 6 jam iradiasi 28
Tabel 4. 2 Nilai aborbansi maksimum MB selama 6 jam iradiasi 29
Tabel 4. 3 Nilai laju degradasi MB 30

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kode Program Sistem Keseluruhan.....38
Lampiran 2. Dokumentasi pengambilan data.....39
Lampiran 3. Grafik perubahan spektrum UV-Vis pada kedua reaktor 40
Lampiran 4. Uji spektrofotometri Uv-Vis.....40
Lampiran 5. Tabel nilai absorbansi seluruh variabel 41
Lampiran 6. Grafik laju degradasi setiap variabel 42
Lampiran 7. Perhitungan presentase peningkatan degradasi kedua reaktor.....44

BAB I
PENDAHULUAN

1. 1 Latar Belakang

Reaktor fotokatalis merupakan perangkat yang digunakan dalam proses pengaktifan katalis oleh energi foton untuk mempercepat reaksi kimia, atau yang sering disebut sebagai proses fotokatalisis. Desain dan pengoperasian reaktor fotokatalis bervariasi, tergantung pada aplikasi yang dituju dan karateristik fotokatalis yang digunakan. Beberapa konfigurasi reaktor yang umum meliputi reaktor *batch*, reaktor aliran kontinu, dan reaktor tumpukan tak bergerak. Setiap reakor memiliki keunggulan dan kelemahan dalam hal skalabilitas, efisiensi, dan kontrol atas kondisi reaksi (Blanco-Galvez *et al.*, 2007; Kimia *et al.*, 2020).

Beberapa tahun terakhir, telah ada penelitian dan pengembangan yang signifikan dan berfokus pada peningkatan kinerja dan efisiensi reaktor fotokatalis. Hal ini termasuk mengoptimalkan desain reaktor, meningkatkan stabilitas fotokatalis, dan mengeksplorasi bahan baru dan teknik fabrikasi (Zhang, X., *et al.*,2017). Kemajuan dalam teknologi reaktor bertujuan untuk memungkinkan beragam aplikasi, salah satunya yaitu pemurnian air atau pengolahan limbah cair (Mahamuni *et al*., 2010).

Salah satu urgensi yang cukup berpengaruh terhadap pengolahan limbah cair menggunakan fotoreaktor adalah aliran intermiten yang melibatkan pola *on-off* pada reaktor (Zhang, X., *et al*.2017). Fotoreaktor yang menggunakan aliran intermiten memiliki keunggulan dalam peningkatan regenerasi fotokatalis, karena jeda aliran memberikan waktu bagi katalis untuk pulih dari proses degradasi yang diakibatkan oleh penggunaan terus-menerus dalam aliran kontinu (Khan *et al.*, 2018). Penelitian yang dilakukan Budiastuti (2012) menunjukkan bahwa kecepatan degradasi asam propionat pada reaktor intermiten meningkat dari 0,4 menjadi 0,8 mM/gVSS/jam dengan meningkatnya injeksi asam propionat 3,8 menjadi 5,5 mM, sementara pada reaktor kontinyu kecepatan degradasi asam propionat tetap pada 0,2 mM/gVSS/jam.

Hal tersebut sangat penting karena degradasi katalis sering kali mengurangi efisiensi proses secara keseluruhan. Dengan menggunakan aliran intermiten, reaktor fotokatalis tidak hanya dapat memaksimalkan degradasi polutan, tetapi juga memperpanjang umur katalis tersebut. Sehingga mengurangi biaya operasional dan perawatan (Singh *et al.*, 2019). Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dikembangkan sistem otomatisasi aliran intermiten pada reaktor fotokatalis serta akan dikaji pengaruhnya pada kinerja fotodegradasi pewarna tekstil *metilen blue* (MB).

Perangkat otomatisasi aliran intermiten dirancang untuk mengatur aliran air secara otomatis dalam fotoreaktor fotokatalis tipe *flat packed bed reactor* yang sebelumnya telah dimodifikasi oleh Bintoro *et al*. (2022). Perangkat ini memanfaatkan ESP32 sebagai pengendali utama yang terintegrasi dengan aplikasi *blynk*, memungkinkan pengaturan dan pengendalian jarak jauh melalui perangkat seluler. Dengan memanfaatkan fitur Wi-Fi pada ESP32, sistem ini mampu mengatur siklus hidup dan mati aliran air secara otomatis berdasarkan interval waktu yang ditentukan.

Air limbah buatan dengan konsentrasi pewarna MB digunakan sebagai sampel untuk dianalisis. Analisis yang dilakukan berupa perbandingan laju degradasi MB antara fotoreaktor dengan aliran intermiten dan aliran kontinu untuk menentukan efektivitas masing-masing sistem. Hasil penelitian diharapkan dapat menunjukkan perbedaan signifikan dalam laju degradasi MB, serta mengidentifikasi apakah sistem aliran intermiten mampu memberikan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan sistem aliran kontinu. Integrasi teknologi ini bertujuan untuk memberikan solusi inovatif dalam optimasi proses pengolahan limbah berbasis fotokatalis.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membuat sistem otomatisasi aliran intermiten pada fotoreaktor fotokatalis?
2. Bagaimana pengaruh aliran intermiten pada laju fotodegradasi pewarna tekstil?

1.3 Batasan Masalah

Batasan permasalahan yang ditinjau dalam penelitiain ini dibatasi pada beberapa hal, yaitu:

1. Fotoreaktor yang digunakan adalah tipe *flat packed bed reactor*.
2. Waktu jeda yang digunakan pada sistem adalah 15 menit, 30 menit, 45 menit, 60 menit, dan 75 menit.
3. Material fotokatalis yang digunakan adalah *floating fotocatalyst* TiO_2-PP.
4. Pewarna tekstil yang digunakan adalah *methylene blue* (MB).
5. Kinerja reaktor fotokatalis dilihat dari laju perubahan konsentrasi MB.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membuat sistem otomatisasi sistem aliran intermiten pada fotoreaktor fotokoatalis.
2. Menganalisis pengaruh jeda waktu aliran air pada kinerja fotodegradasi pewarna tekstil.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai dasar dalam pembuatan sistem reaktor fotokatalis yang lebih efektif dan dapat diterapkan pada skala industri dalam mengatasi limbah tekstil. Sistem otomatisasi aliran intermiten dalam reaktor fotokatalis diharapkan dapat mengurangi kebutuhan biaya operasional serta meningkatkan efisiensi dalam proses pengolahan limbah, sehingga berdampak positif pada biaya produksi bagi industri tekstil.