

**PEMBUATAN SISTEM PEMANTAUAN PERFORMA FOTOKATALISIS
MENGUNAKAN KARBON AKTIF DALAM DEGRADASI METILEN BIRU
BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IoT)**



**VICRAM SETIAWAN
H021201031**



Optimized using
trial version
www.balesio.com

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU
PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**PEMBUATAN SISTEM PEMANTAUAN PERFORMA FOTOKATALISIS
MENGUNAKAN KARBON AKTIF DALAM DEGRADASI METILEN BIRU
BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IoT)**

**VICRAM SETIAWAN
H021201031**



**PROGRAM STUDI FISIKA
MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**PEMBUATAN SISTEM PEMANTAUAN PERFORMA FOTOKATALISIS
MENGUNAKAN KARBON AKTIF DALAM DEGRADASI METILEN BIRU
BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IoT)**

VICRAM SETIAWAN
H021201031

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Fisika

pada



**PROGRAM STUDI FISIKA
DEPARTEMEN FISIKA
MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

SKRIPSI

PEMBUATAN SISTEM PEMANTAUAN PERFORMA FOTOKATALISIS
MENGUNAKAN KARBON AKTIF DALAM DEGRADASI METILEN BIRU
BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IoT)

VICRAM SETIAWAN

H021201031

Skripsi,

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Fisika pada **21 November 2024** dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada

Program Studi Fisika

Departemen Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin

Makassar

Mengesahkan:

Pembimbing Tugas Akhir,



Abdullah, M.Eng.Sc.

021 201 001

Mengetahui:

Ketua Departemen Fisika,

Prof. Dr. Arifin, M.T.

NIP. 19670520 199403 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Pembuatann Sistem Pemantauan Performa Fotokatalisis Menggunakan Karbon Aktif Dalam Degradasi Metilen Biru Berbasis Internet of Things (IoT)" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing Prof. Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng.Sc. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 21 November 2024



AM SETIAWAN
NIM H021201031



Ucapan Terima Kasih

Bismillahirrahmanirrahim,

Segala puji bagi Allah *Subhanahu Wa Ta'ala*, karena dengan izin serta rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“PEMBUATAN SISTEM PEMANTAUAN PERFORMA FOTOKATALISIS MENGGUNAKAN KARBON AKTIF DALAM DEGRADASI METILEN BIRU BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IoT)”** yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin bisa dirampungkan. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad *Shallallahu ‘Alaihi Wasallam*, keluarga, dan sahabat sahabatnya yang senantiasa mencintai Rasulullah.

Penulis telah menjalani perjalanan yang cukup panjang untuk menyelesaikan penulisan skripsi ini. Berbagai kendala telah dihadapi selama proses penyusunan, namun berkat kehendak-Nya, penulis berhasil menyelesaikan dengan baik. Penulis menyadari penulisan skripsi ini tidak mungkin terjadi tanpa dukungan do'a dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan rendah hati penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

1. **Kedua Orang Tua**, yang telah memberikan dukungan tak terhingga sepanjang kehidupan saya. Kasih sayang, pengorbanan, dan doa yang tiada henti dari kalian adalah sumber semangat dan motivasi saya untuk terus berjuang hingga mencapai titik ini. Terima kasih atas pengertian, kesabaran, dan kepercayaan yang telah diberikan. Tanpa dukungan dari kalian, saya tidak akan mampu menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Semoga apa yang saya



raih ini dapat menjadi kebanggaan dan doa kalian selalu menjadi berkah dalam setiap langkah saya.

2. **Prof. Dr. Abdullah Bualkar, M.Eng.Sc.**, selaku dosen pembimbing, **Heryanto, S.Si, M.Si** dan **Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si**, yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis, memberikan saran serta arahan kepada penulis. Semoga Allah senantiasa memberikan kesehatan, keselamatan serta selalu dalam lindungannya.
3. **Prof. Dr. Arifin, M.T.** dan **Prof. Dr. Sri Suryani. DEA.**, selaku dosen penguji yang telah banyak memberi masukan kepada penulis demi menyempurnakan penulisan skripsi ini. Semoga Allah senantiasa memberikan kesehatan, keselamatan serta selalu dalam lindungannya.
4. **Bapak/Ibu Dosen pengajar** Departemen Fisika Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama perkuliahan. Semoga ini menjadi amal jariyah untuk Bapak/Ibu Dosen.
5. **Staf Departemen Fisika** yang telah membantu persuratan selama perkuliahan, semoga Allah membalas kebaikan Bapak/Ibu.
6. **Saudara penulis. Anita Ela Sari, Divia Silva Sari, Cantika Sari, Nabil Wahyu Nugraha,** dan **Muh. Azka** yang penulis sayangi dan selalu mendoakan penulis. Semoga kalian sehat dan selalu dalam lindungan Allah *Subhanahu Wa Ta'ala*.
7. **Keluaga Re20nansi**, yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Kalian bukan hanya teman seperjuangan, tetapi juga teman yang selalu ada dalam suka dan duka. Terima kasih telah berbagi cerita,



ra bersama, serta saling mendukung dalam menghadapi elama jenjang kader dan perkuliahan. Cerita kita selama berarti bagi penulis dan akan selalu dikenang sebagai perjalanan hidup yang tak ternilai. Semoga kita semua

dapat terus sukses dan meraih apa yang kita impikan, dan persaudaraan ini tetap terjalin meskipun kita nantinya akan menempuh jalan yang berbeda. Tetap eratkan genggaman, tetap kuatkan kebersamaan.

8. **Keluarga MIPA 2020**, Terima kasih atas semua cerita yang telah diukir selama masa perkuliahan. Semoga seterusnya kita tetap satu dan selamanya.
9. **HIMAFI FMIPA UNHAS** dan **KM FMIPA UNHAS**, yang sangat berarti bagi penulis. Bukan hanya sebuah organisasi, tapi sudah menjadi rumah bagi penulis. Terima kasih telah memberikan keluarga baru untuk penulis.
10. **Himafi 2022**, yang telah banyak mengajar penulis menjadi lebih bertanggung jawab dan sabar. Tetaplah ingat bahwa kalian tak pernah berakhir.
11. **Teman-teman KKN Gondong Bali. Buyung, Sampson, Gabriel, Fitri, Ayu, Anny, Selvi, Pika**. Terima kasih 47 harinya dipulau Gondong Bali yang telah memberi warna baru di kehidupan penulis.
12. Kepada semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah memberikan doa, semangat, serta dukungan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik, doa yang tulus Insya Allah akan kembali kepada kalian. Semoga selalu diberikan kesuksesan di dunia dan akhirat, serta diberikan kesehatan dan senantiasa dalam lindungan Allah, di mana pun kalian berada.

Penulis,



Vicram Setiawan



ABSTRAK

VICRAM SETIAWAN. **Pembuatan Sistem Pemantauan Performa Fotokatalisis Menggunakan Karbon Aktif Dalam Degradasi Metilen Biru Berbasis Internet of Things (IoT)** (dibimbing oleh Prof. Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng.Sc).

Latar Belakang. Karbon aktif (AC) telah banyak digunakan untuk degradasi metilen biru (MB) melalui proses fotokatalisis, namun aplikasinya belum banyak diaplikasikan pada lingkungan, karena metode yang digunakan masih dengan bantuan peralatan laboratorium dan belum ada monitoring secara kontinyu dalam prosesnya. **Metode.** Pada penelitian ini, kami mengkolaborasikan proses fotokatalisis menggunakan AC dari sumber yang berbeda yaitu tempurung kemiri (AC₁, AC₁/HAp) dan tempurung kelapa (AC₂, AC₂/HAp) dengan monitoring real-time berbasis IoT sebagai sistem baru yang tidak hanya mendegradasi MB namun juga memonitoring pengaruh pH, temperatur, absorbansi, dan produksi hidrogen selama proses degradasi berlangsung. **Hasil.** Berdasarkan analisis akuisisi data dari sistem yang telah dibuat, dilaporkan bahwa AC₁ merupakan material yang menjanjikan dalam degradasi MB dengan degradasi sebesar 99,6% pada pH 4,28, temperatur 27,97°C, dan produksi hidrogen sebesar 4474 µmol/g yang merupakan hasil dari konsistensi ukuran kristalit dan ukuran pori yang lebih besar. Hasil ini menunjukkan bahwa AC dari cangkang kemiri memiliki potensi besar dalam menghilangkan pewarna MB dari air dan juga menunjukkan bahwa IoT berbasis pemantauan waktu nyata dapat menjadi metodologi baru untuk memantau fotokatalisis.

Kata kunci: karbon aktif; metilen biru; IoT; fotokatalisis



ABSTRACT

VICRAM SETIAWAN. **Development of Photocatalysis Performance Monitoring System Using Activated Carbon in Methylene Blue Degradation Based on Internet of Things (IoT)** (supervised by Prof. Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng.Sc).

Background. Activated carbon (AC) has been widely used for methylene blue (MB) degradation through photocatalysis process, but its application has not been applied to the environment, because the method used is still with the help of lab equipment and there is no continuous monitoring in the process. **Method.** In this study, we collaborate the photocatalysis process using AC from different source candlenut shell (AC₁, AC₁/HAp) and coconut shell (AC₂, AC₂/HAp) with IoT-based real-time monitoring as a new system that not only degrades MB but also monitors the effect of pH, temperature, absorbance, and hydrogen production during the degradation process. **Result.** Based on the analysis of data acquisition from the system that has been made, it is reported that AC₁ is the promising material in MB degradation with a degradation of 99.6% at pH 4.28, temperature 27.97 °C, and hydrogen production of 4474 μmol/g as the consequence from crystallite size consistence and larger pore size. These results indicate that the AC from candlenut shells have great potential in removing MB dye from water and also show that real-time monitoring based IoT can be a fresh methodology of monitoring the photocatalysis.

Keyword: activated carbon; methylene blue; IoT; photocatalysis



DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian	2
I.2.1 Tujuan Penelitian.....	2
I.2.2 Manfaat Penelitian	3
BAB II METODE PENELITIAN	4
II.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	4
II.2 Alat dan Bahan Penelitian	4
II.2.1 Alat Penelitian	4
II.2.2 Bahan penelitian.....	4
Penelitian	5
Pemisahan Sampel Karbon Aktif	5
Pemisahan Komposit Karbon Aktif/Hidroksiapatit.....	5
Klasifikasi Material	6



II.3.4	Merancang dan Merangkai Perangkat Keras	6
II.3.5	Pembuatan Perangkat Lunak.....	7
II.4	Pengamatan dan Pengukuran	8
II.5	Pelaksanaan Penelitian.....	9
BAB III	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	11
III.1	Analisis <i>Fourier-Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	11
III.2	Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	12
III.3	Analisis <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	15
III.4	Analisis Proses Fotokatalisis.....	16
BAB IV	KESIMPULAN.....	20
	DAFTAR PUSTAKA.....	21
	LAMPIRAN 27	



DAFTAR TABEL

Nomor Urut	Halaman
Gugus fungsi semua bahan adsorben	11
Rata-rata ukuran kristalit.....	12
Performa degradasi dan produksi H ₂	17
Perbandingan penelitian lainnya tentang performa fotokatalisis	18



DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
1. Skema pembuatan karbon aktif.....	5
2. Proses komposit karbon aktif/hidroksiapatit	5
3. Rancangan rangkaian sistem	7
4. Pengujian sistem pemantauan dan performa karbon aktif dalam degradasi MB	8
5. Diagram blok sistem monitoring proses degradasi untuk penjernihan air terkontaminasi limbah tekstil	9
6. Bagan Alir Penelitian	10
7. Spektrum FTIR dari semua sampel.....	11
8. (a) Hasil XRD untuk semua sampel (b) indeks kristalinitas dan amorf, (c) AC ₁ (d) AC ₂ , (e) AC ₁ /HAp, (f) AC ₂ /HAp	13
9. Distribusi kristalit untuk semua puncak difraksi	14
10. Gambar SEM (kiri) dan distribusi diameter pori-pori (kanan) untuk (a) AC ₁ (b) AC ₁ /HAp (c) AC ₂ (d) AC ₂ /HAp	15
11. Grafik monitoring proses fotokatalisis untuk semua bahan adsorben	17
12. Grafik hubungan degradasi, produksi H ₂ , suhu, dan pH	18



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Urut	Halaman
1. Alat dan Bahan Penelitian	26
2. Data kalibrasi sensor PH-4502C	28
3. Data kalibrasi sensor DS18B20.....	29
4. Data kalibrasi sensor TCS3200.....	30
5. Data kalibrasi sensor MQ-8.....	31
6. Perubahan larutan.....	33
7. Perhitungan	34
8. Program.....	35
9. Tampilan Data	41



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Air sebagai bagian yang sangat penting bagi kehidupan kini menghadapi ancaman yang sangat signifikan akibat kontaminasi zat polutan (George et al., 2024). Industri adalah kegiatan yang sangat banyak menggunakan air, terutama industri tekstil yang banyak menghasilkan limbah cair berupa zat pewarna sintetik seperti Metilen Biru (MB) (Gunawan et al., 2022; Mandake et al., 2023). MB merupakan pewarna kationik yang banyak digunakan dalam industri seperti tekstil, menimbulkan ancaman signifikan terhadap sumber air karena sifatnya yang persisten, toksisitas, karsinogenisitas, dan tidak dapat terurai secara hayati (Mahmoudi et al., 2023; Oladoye et al., 2022; Wulansarie et al., 2023). Pembuangan air limbah yang mengandung metilen biru ke dalam air tanah dan air permukaan dari proses industri dapat menyebabkan polusi air, membahayakan kehidupan akuatik dan berpotensi membahayakan kesehatan manusia (Khan et al., 2022). Untuk menurunkan kadar metilen biru dalam air secara efektif, berbagai metode dapat digunakan berdasar pada temuan penelitian salah satunya dengan proses adsorpsi dan fotokatalisis yang juga dapat mengubah pH air dan menghasilkan hidrogen (Machado & Alves Machado, 2022; Serafin et al., 2022; Wu et al., 2023). Namun penelitian yang dilakukan saat ini masih menggunakan alat Spektrofotometri UV-Visible untuk mengukur kadar MB, dengan mengesampingkan variabel lainnya (Albiss & Abu-Dalo, 2021; Fernández-Pérez & Marbán, 2022; C. Zhang et al., 2023a). Masih sedikit penelitian yang melakukan pemantauan secara real-time terhadap perubahan kadar MB dalam air serta variabel lainnya seperti suhu, pH dan hidrogen yang dihasilkan dari proses fotokatalisis (Dimbo et al., 2024a; Ragupathy et al., 2022; Ristianingsih et al., 2022). Sedangkan semua variabel tersebut penting untuk diketahui untuk memberikan informasi terkait kelayakan air untuk digunakan dalam kehidupan sehari-hari (Khan et al., 2022). Oleh karenanya, sangat penting untuk mengembangkan teknologi yang mampu mendeteksi kondisi air dan memurnikan air dari polutan (George et al., 2024).

Berbagai penelitian telah menyoroti keberhasilan pemanfaatan berbagai jenis karbon aktif (*Activated Carbon (AC)*) yang berasal dari bahan limbah. Dengan kapasitas adsorpsi yang luar biasa, AC telah terbukti efektif dalam mendegradasi kadar limbah MB dari air yang tercemar melalui proses adsorpsi serta fotokatalisis (Lionetti et al., 2024; Ramutshatsha-Makhwedzha et al., 2023; T. Zhang et al., 2022). Pada penelitian ini AC diperoleh dari batok kemiri dan batok kelapa yang



sebagai sampah oleh masyarakat. Dalam proses degradasi
el yang juga akan berubah seperti suhu dan pH (Desai &
ngga dengan memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT),
dalam pemantauan degradasi MB secara real-time
nya pemantauan berkelanjutan untuk memastikan kondisi air
yang diinginkan (Chafa et al., 2022a; Ghazaly et al., 2019).

Pendekatan ini memastikan bahwa instalasi pengolahan air dapat menjaga kualitas air di daerah yang tercemar berdasarkan fotokatalisis, dan dapat mengetahui berapa banyak hidrogen yang dihasilkan untuk keperluan di berbagai bidang (Yakubson, 2022). Pada penelitian sebelumnya, luas permukaan AC dari *Spathodea Campanulata* telah dilaporkan sebagai adsorben yang efektif menghilangkan MB sebesar 99,95% (Dimbo et al., 2024b) dan penggabungan AC dengan HAp memberikan kinerja degradasi sebesar 62,4% (El-Naggar et al., 2022), dan proses fotokatalisis AC dari *Clitoria Ternatea* menghasilkan hidrogen sebesar 2.386 $\mu\text{mol/g}$ (Sofi'i et al., 2020). Dari hasil tersebut diperoleh potensi besar untuk membuat material yang memiliki kinerja baik dalam fotokatalisis, degradasi MB, dan produksi hidrogen dari komposit AC dan AC/HAp.

Bahan AC memiliki luas permukaan yang tinggi, gugus fungsi, dan kapasitas adsorpsi MB yang sangat baik, menjadikannya bahan penyerap yang efektif untuk pengolahan air limbah (He et al., 2023). Proses aktivasi dan optimalisasi parameter seperti suhu, waktu aktivasi, dan dosis adsorben berpengaruh signifikan terhadap efisiensi karbon aktif dalam mendegradasi MB (Saraee et al., 2023). Selain itu, pemantauan proses degradasi MB secara real-time sangat penting karena kemampuannya memberikan umpan balik langsung mengenai variabel yang berubah dalam proses degradasi (Xiong et al., 2018). Pemantauan parameter kualitas air seperti pH, absorbansi, dan suhu secara real-time IoT memungkinkan deteksi segera setiap kondisi selama proses degradasi berlangsung (Chafa et al., 2022b).

Dalam penelitian ini, AC diperoleh dari batok kelapa dan batok kemiri, yang dimana pada penggunaannya masih dianggap limbah oleh masyarakat. Dalam proses degradasi MB digunakan AC serta komposit karbon aktif/hidroksiapatit (AC/HAp). Efek dari penambahan hidroksiapatit (HAp) akan diuji melalui metode karakterisasi. Proses degradasi MB akan dimonitoring secara real-time menggunakan beberapa sensor dan ditampilkan melalui website. Sensor PH-4502C untuk mengukur pH, Sensor DS18B20 untuk mengukur suhu, Sensor TCS3200 untuk mengukur nilai absorbansi larutan, Sensor MQ-8 untuk mengukur kadar hidrogen. Tujuannya adalah untuk memberikan cara baru yang efisien dalam mendegradasi MB serta cara yang efektif untuk mengetahui kondisi air secara berkelanjutan.

1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.2.1 Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini antara lain:

1. Menganalisis gugus fungsi, sifat struktur, morfologi permukaan, dan karbon aktif dalam mendegradasi metilen biru pada proses dari material karbon aktif yang berasal dari batok kemiri dan pengaruh penambahan Hidroksiapatit pada performa karbon mendegradasi metilen biru pada proses fotokatalisis.
2. Menganalisis pengaruh variabel pH dan suhu pada proses degradasi MB dan produksi hidrogen.



4. Membuat dan menguji rancangan sistem pemantauan proses fotokatalisis berbasis IoT dengan *webserver* sebagai penampil data sensor.

I.2.2 Manfaat Penelitian

Manfaat dilaksanakannya penelitian ini antara lain:

1. Dapat Memahami karakteristik material karbon aktif dari batok kemiri dan kelapa serta inovasi dalam fotokatalisis dengan penambahan Hidroksiapatit.
2. Sebagai solusi ramah lingkungan untuk pengolahan air limbah berbahaya serta pemanfaatan limbah pertanian (batok kemiri dan kelapa) untuk nilai ekonomi.
3. Efisiensi dan akurasi pemantauan proses fotokatalisis dengan sistem berbasis IoT.
4. Optimalisasi produksi hidrogen sebagai sumber energi bersih.



BAB II METODE PENELITIAN

II.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari–Agustus 2024, di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi serta Laboratorium Material Dan Energi Departemen Fisika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar.

II.2 Alat dan Bahan Penelitian

II.2.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Arduino Uno
2. NodeMCU ESP8266
3. Sensor pH meter PH-4502C
4. Sensor TCS3200
5. Sensor DS18B20
6. Sensor MQ-8
7. Water Tester YY400
8. Spectroscopy SHIMADZU 1800
9. Laptop
10. Toolkit
11. Furnace
12. Oven
13. Cawan petri
14. Lumpang porselen
15. Ayakan 200 mesh
16. Gelas kimia
17. Kertas pH
18. Mixing (Retsch MM 400)
19. Neraca digital
20. Magnetic Stirrer
21. FT-IR (Fourier Transform Infrared)
22. XRD (X-Ray Difrraction)
23. Spectrometer Uv-Vis
24. Bosean Hydrogen Gas Detector

II.2.2 Bahan penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu :



l
e (HAp)

(H₃PO₄) 2 M

ue (MB)

II.3 Metode Penelitian

II.3.1 Preparasi Sampel Karbon Aktif

Preparasi pembuatan sampel karbon aktif menggunakan batok kemiri dan batok kelapa dilakukan seperti pada **Gambar 1**



Gambar 1. Skema pembuatan karbon aktif

Menyiapkan batok kemiri dan batok kelapa yang diperoleh dari limbah sisa yang telah dibuang. Kedua bahan dicuci berulang kali dengan aquades dan dikeringkan di bawah sinar matahari selama 3 hari. Bahan selanjutnya dibuat menjadi bubuk dengan menggunakan lumpang porselen, kemudian bahan dikarbonisasi pada 500°C selama 30 menit. Selanjutnya kedua bahan masing-masing dicampur dengan H_3PO_4 2M dengan perbandingan (1:4) lalu dikeringkan selama 7 jam dengan suhu 80°C menggunakan oven. Selanjutnya bahan dicuci berulang kali dengan aquades hingga mendapatkan pH netral (pH 7). Lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 5 jam. Terakhir bahan diayak menggunakan ayakan 200 mesh.

II.3.2 Preparasi Komposit Karbon Aktif/Hidroksiapatit

Preparasi pembuatan sampel komposit karbon aktif dan hidroksiapatit dilakukan seperti pada **Gambar 2. Gambar 1**



ar 2. Proses komposit karbon aktif/hidroksiapatit

(Ap) yang akan digunakan diperoleh dari cangkang Kepiting. masing 4,5 g AC dari batok kemiri dan batok kelapa

dicampurkan dengan 0,5 g HAp. Kemudian kedua sampel dimasukkan kedalam alat Retsch MM 400 (Mixing) dengan frekuensi 20 Hz selama 30 menit. Dalam penelitian ini, sampel diberikan penamaan sebagai berikut:

Karbon aktif dari batok kemiri : AC₁

Karbon aktif dari batok kelapa : AC₂

Karbon aktif dari batok kemiri (4,5 g) + Hidroksiapatit (0,5 g) : AC₁/HAp

Karbon aktif dari batok kelapa (4,5 g) + Hidroksiapatit (0,5 g) : AC₂/HAp

II.3.3 Karakterisasi Material

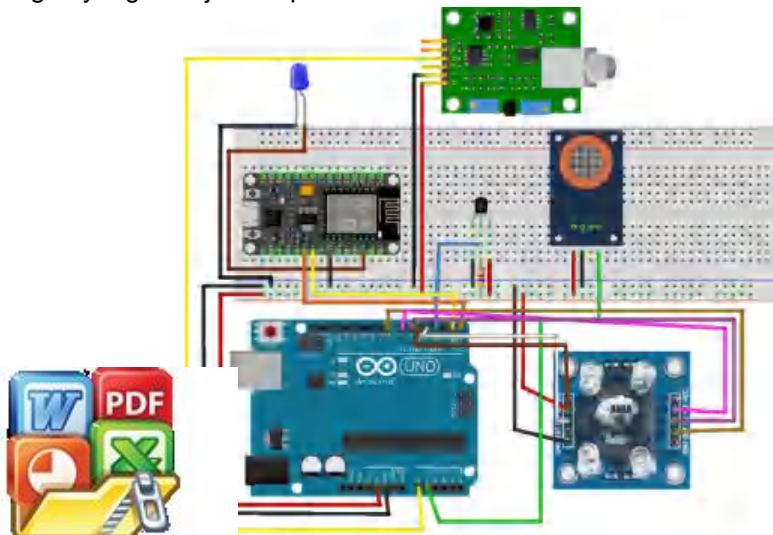
Ikatan kimia dan gugus fungsi pada karbon aktif diperoleh dari karakterisasi sampel menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared*) (IR Prestige-21 Shimadzu). Pengukuran menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) (SHIMADZU XRD 7000) untuk mengetahui sifat struktur pada sampel. Rumus Scherrer digunakan untuk mencari perkiraan ukuran rata-rata dari bahan:

$$D = \frac{K \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta} \quad (1)$$

dimana D adalah ukuran kristal, k adalah konstanta Scherrer (0,9), λ merupakan panjang gelombang dari radisasi sinar X (untuk Cu = 0,154nm), θ merupakan sudut difraksi, dan β merupakan nilai FWHM (*Full Width Half Maximum*). Morfologi dari permukaan sampel diperoleh dari observasi menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) (JIB-4610F, Jeol).

II.3.4 Merancang dan Merangkai Perangkat Keras

Pada tahap merangkai sistem, pertama-tama menyiapkan semua alat yang digunakan dalam penelitian seperti sensor suhu bertipe DS18B20, sensor pH bertipe PH-4502C, sensor TCS3200, Sensor kadar gas hidrogen bertipe MQ-8, mikrokontroler arduino uno, mikrokontroler NodeMCU ESP8266, dan *toolkit*. Kemudian melakukan perancangan bentuk perangkat yang akan dibuat sesuai dengan yang ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Rancangan rangkaian sistem monitoring fotokatalis

Sensor TCS3200 dikalibrasi dengan standar warna yang selanjutnya nilai absorbansi dari sensor dibandingkan dengan nilai pembacaan UV-Vis spectroscopy (Shimadzu Spectrophotometer 1800). Untuk mengetahui informasi pH dan suhu larutan, digunakan Sensor PH-4502C dan Sensor DS18B20 yang dikalibrasi masing-masing menggunakan Water Tester YY-400 dan termometer. Penggunaan kedua sensor ini memungkinkan perolehan nilai pH dan suhu air secara terus menerus guna meningkatkan efisiensi dalam pemantauan proses penjernihan air (Safrianti et al., 2022; Seetharaman et al., 2022). Nilai kadar Hidrogen yang dihasilkan selama proses fotokatalisis diperoleh dari pembacaan sensor MQ-8 yang dikalibrasi menggunakan Bosean Hydrogen Gas Detector yang selanjutnya dikonversi ke dalam satuan $\mu\text{mol/g}$ secara waktu nyata serta memiliki stabilitas pembacaan dan dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama (Shaikh, 2021).

II.3.5 Pembuatan Perangkat Lunak

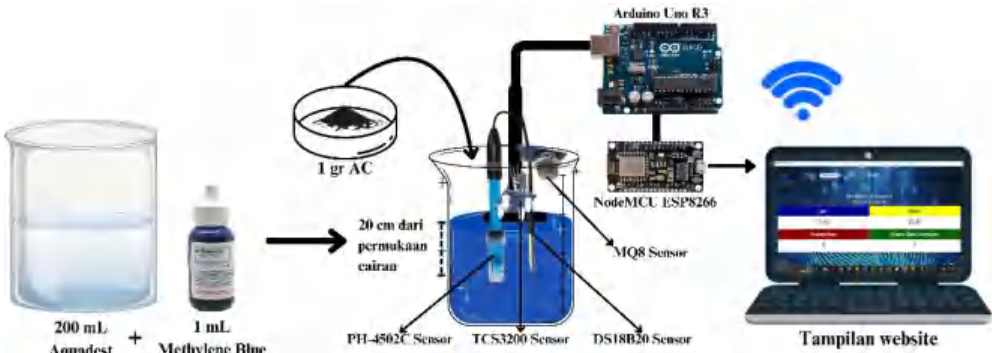
Arduino IDE digunakan dalam pemrograman mikrokontroler Arduino UNO R3 serta NodeMCU ESP8266. Melalui bahasa pemrograman C++, Arduino IDE akan menghubungkan mikrokontroler dengan sensor untuk mengumpulkan serta menganalisis hasil bacaan sensor secara waktu nyata yang kemudian NodeMCU ESP8266 akan mengirimkan ke database melalui internet. Pada bagian webserver, perancangan dilakukan pada aplikasi Sublime Text 3 dengan mengimplementasikan HTML, CSS, JavaScript, jQuery, dan Plot. HTML dan CSS dikombinasikan untuk mengatur tampilan pada halaman web. JavaScript digunakan untuk mengaktifkan tampilan dinamis dan antarmuka pengguna yang interaktif. jQuery merupakan pustaka JavaScript yang banyak digunakan karena menyederhanakan pemrograman JavaScript. Plot adalah pustaka plotting JavaScript untuk jQuery, dengan fokus pada tampilan yang menarik, sederhana, dan interaktif (Ferdoush & Li, 2014).

Dalam desain pada penelitian ini, Flot digunakan untuk memvisualisasikan data dalam tampilan grafis secara waktu nyata. Dalam mode tampilan waktu nyata, alih-alih menyegarkan dan menggambar ulang seluruh halaman web, plot mempunyai kemampuan untuk hanya memperbarui bagian dengan data baru yang diambil secara berkala dari basis data. Pada proses ini, jQuery memberikan plot aliran data berkelanjutan dari basis data MySQL di server melalui layanan web. Terdapat tiga tampilan yang dapat diakses dalam webserver yakni tampilan waktu serta pembacaan terbaru, tampilan grafik, dan tampilan tabel data seluruh hasil pembacaan sensor.



ian Pengukuran

gunakan metilen biru (MB) sebagai polutan zat pewarna. s dilakukan dengan menambahkan 1 g bahan adsorben ke engan campuran 1 mL MB yang dilarutkan dalam 200 mL



Gambar 4. Pengujian sistem pemantauan dan performa karbon aktif dalam fotokatalisis

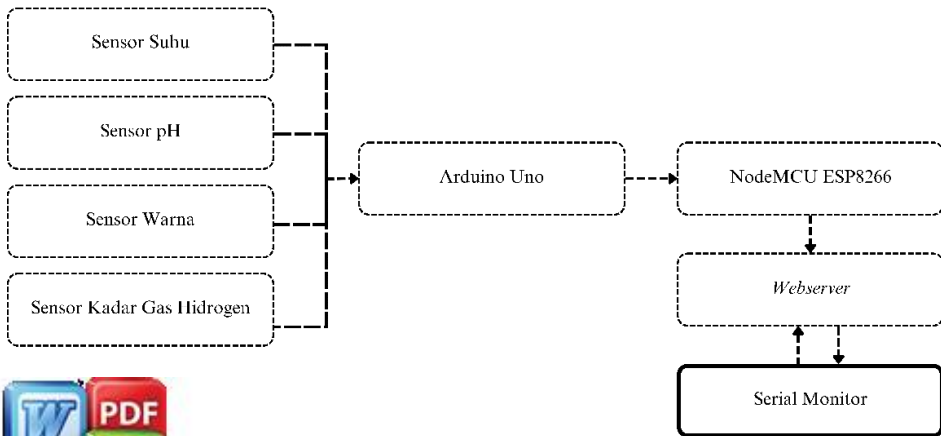
Selanjutnya alat monitoring dipasang pada kedalaman 20 cm dari permukaan larutan. Pengambilan data oleh sensor dilakukan setiap 2 menit untuk mengetahui perubahan variabel yang terjadi selama proses fotokatalisis berlangsung. Data degradasi MB dari proses fotokatalisis diperoleh dari hasil pembacaan sensor dan presentasinya dapat dihitung menggunakan rumus (Elsayed et al., 2020):

$$\%D = \left(\frac{C_0 - C_t}{C_0} \right) \times 100\% \tag{2}$$

Dimana %D menunjukkan presentasi degradasi, dan C_0 dan C_t adalah konsentrasi pewarna MB pada awal dan setelah proses fotokatalisis ($t \neq 0$).

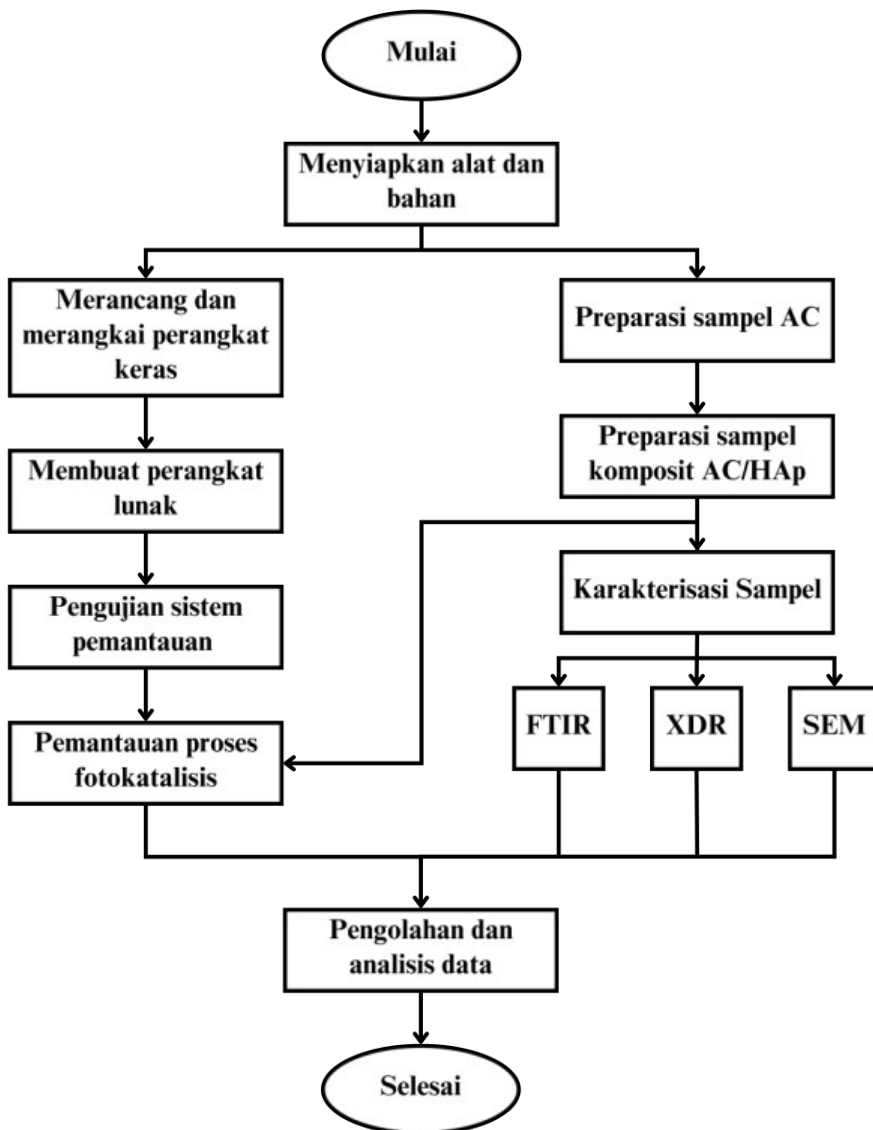
II.5 Pelaksanaan Penelitian

Adapun diagram blok monitoring performa fotokatalisis ditunjukkan pada **Gambar 5**.



5. Diagram blok alat monitoring proses fotokatalisis

Adapun secara umum bagan alur penelitian sistem pemantauan performa fotokatalisis menggunakan karbon aktif dalam degradasi metilen biru berbasis Internet of Things (IoT) ditunjukkan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Bagan Alir Penelitian

