

**VALIDASI METODE KOLORIMETRI CITRA DIGITAL WARNA RGB
DAN APLIKASINYA DALAM PENENTUAN KADAR *REMAZOL VIOLET*
5R DENGAN PERLAKUAN ELEKTROKIMIA**

Skripsi
Untuk memenuhi sebagian
persyaratan mencapai derajat S-1



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Febri Nurul Abshari
18106030006

PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2022



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1905/Un.02/DST/PP.00.9/08/2022

Tugas Akhir dengan judul : Validasi Metode Kolorimetri Citra Digital Warna RGB dan Aplikasinya dalam Penentuan Kadar Remazol Violet 5R dengan Perlakuan Elektrokimia

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : FEBRI NURUL ABSHARI
Nomor Induk Mahasiswa : 18106030006
Telah diujikan pada : Jumat, 12 Agustus 2022
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Karmanto, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 63046fcd1363



Penguji I

Enderuji Sedyadi, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 62f8a41cbf996



Penguji II

Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 6306f0f621bc



Yogyakarta, 12 Agustus 2022
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 63079bec3aba3



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Febri Nurul Abshari

NIM : 18106030006

Judul Skripsi : Validasi Metode Kolorimetri Citra Digital Warna RGB dan Aplikasinya dalam Penentuan Kadar Zat Warna Remazol Violet 5R dengan Perlakuan Elektrokimia

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Kimia.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 2 Agustus 2022

Pembimbing

Karmanto, S.Si., M.Sc.

NIP: 19820504 200912 1 005



NOTA DINAS KONSULTASI

Hal : Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir

Lamp :-

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu 'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Febri Nurul Abshari

NIM : 18106030006

Judul Skripsi : Validasi Metode Kolorimetri Citra Digital Warna RGB dan Aplikasinya dalam Penentuan Kadar *Remazol Violet 5R* dengan Perlakuan Elektrokimia

sudah benar dan sesuai ketentuan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Kimia.

Demikian kami sampaikan. Atas perhatiannya, kami ucapkan terimakasih.

Wassalamu 'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 24 Agustus 2022

Konsultan

Endaruji Sedyadi, M.Sc.

NIP. 19820205 201503 1 003



NOTA DINAS KONSULTASI

Hal : Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir
Lamp : -

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Febri Nurul Abshari
NIM : 18106030006
Judul Skripsi : Validasi Metode Kolorimetri Citra Digital Warna RGB dan Aplikasinya dalam Penentuan Kadar *Remazol Violet 5R* dengan Perlakuan Elektrokimia

sudah benar dan sesuai ketentuan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Kimia.

Demikian kami sampaikan. Atas perhatiannya, kami ucapkan terimakasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 23 Agustus 2022

Konsultan

Priyagung Dhemi Widiakongko, M.Sc.
NIP. 19900330 201903 1 008

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Febri Nurul Abshari
NIM : 18106030006
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “Validasi Metode Kolorimetri Citra Digital Warna RGB dan Aplikasinya dalam Penentuan Kadar *Remazol Violet 5R* dengan Perlakuan Elektrokimia” merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjana di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 1 Agustus 2022



Febri Nurul Abshari
NIM. 18106030006

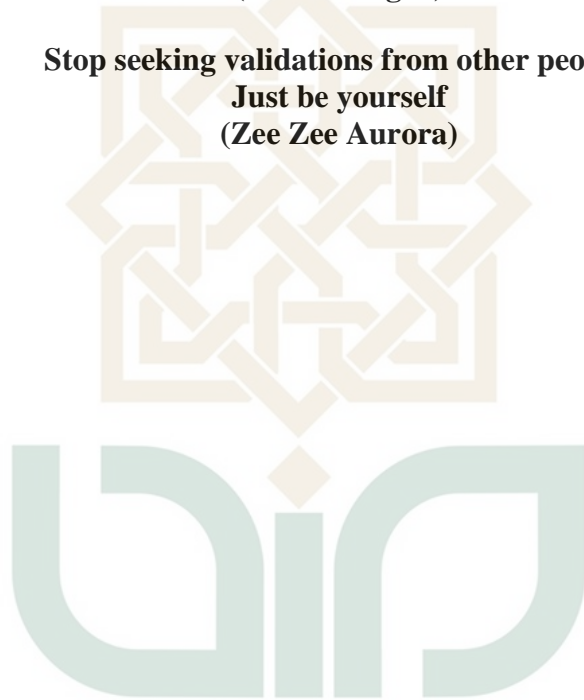
STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN MOTTO

**Dan hanya kepada Allah engkau berharap
(Q.S. Al-Insyirah: 8)**

**And I'll make a wish, Take a risk
Take a chance, Make a change
And BREAKAWAY
(Avril Lavigne)**

**Stop seeking validations from other people,
Just be yourself
(Zee Zee Aurora)**



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

**Skripsi ini Saya persembahkan untuk:
Diri sendiri, Bapak, Ibu, dan kedua Adik
Serta Almameter Program Studi Kimia
UIN Sunan Kalijaga**



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan petunjuk-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “validasi metode kolorimetri citra digital warna RGB dan aplikasinya dalam penentuan kadar *remazol violet 5R* dengan perlakuan elektrokimia” sebagai salah satu syarat untuk mencapai derajat sarjana kimia. Selesaiannya skripsi ini tidak lepas dari bantuan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Hj. Khurul Wardati, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Dr. Imelda Fajriati, M.Si., selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Bapak Karmanto, S.Si., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah sabar dan ikhlas dalam memberikan nasihat, bimbingan, masukan, serta dukungan kepada penyusun baik sebelum hingga selesainya penelitian dan pengerjaan skripsi ini.
4. Ibu Dr. Maya Rahmayanti, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penasihat Akademik.
5. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat.
6. Bapak A. Wijayanto, S.Si., selaku Pranata Laboratorium Pendidikan Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan pengarahan selama melakukan penelitian.
7. Kedua orang tua dan adik penyusun, Babah Hariyanto, Ibu Inna Irnawati, Sofianah Fitri dan Sofyan Fikri serta keluarga yang selalu memberikan dukungan moril maupun materil, doa, kasih sayang serta motivasi sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi ini.
8. Afifah Harliana a.k.a Agent Wood yang telah menjadi sahabat yang selalu memberikan motivasi dan semangat kepada penyusun.
9. Yunia Tri Puspitasari, Susanti Estiningrum, dan Emmi Dwi Nur'aini yang telah menjadi sahabat dan keluarga selama penyusun menjalankan perkuliahan.
10. Keluarga Marga Alisaponifikasi, Darmawan Alisaputra, Azura Mawaddah, Diza Haris Pratiwi, Nita Suzana, Dinda Latifah Rahmawati, Ani Rohmiyati, Annisya Sayyida Hafshah, serta teman dekat penyusun Qori'aini Yuliati yang selalu berkumpul dan berbagi canda tawa bersama.
11. Teman kelompok bimbingan, Martina Nurul Kartika, Agung Prasteyo Utomo, dan Ani Khumaeroh yang selalu bersama selama bimbingan dan penelitian untuk penyusunan skripsi.
12. Keluarga kimia angkatan 2018 (Caffeine) yang telah menemani selama masa perkuliahan.
13. Semua pihak yang tidak dapat penyusun sebutkan satu persatu atas bantuannya dalam penyelesaian skripsi ini.

Penyusun menyadari masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan dalam penyusunan skripsi ini. Maka dari itu, penyusun mengharapkan kritik serta

saran yang membangun. Penyusun juga berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 29 Juli 2022

Penyusun



DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR | ii |
| SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR | iii |
| NOTA DINAS KONSULTASI | iv |
| SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI | vi |
| HALAMAN MOTTO | vii |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | viii |
| KATA PENGANTAR | ix |
| DAFTAR ISI | xi |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| DAFTAR GAMBAR | xiv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xv |
| ABSTRAK | xvi |
| ABSTRACT | xvii |
| BAB I PENDAHULUAN | 18 |
| A. Latar Belakang Masalah | 18 |
| B. Batasan Masalah | 23 |
| C. Rumusan Masalah | 23 |
| D. Tujuan Penelitian | 24 |
| E. Manfaat Penelitian | 25 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI | 26 |
| A. Tinjauan Pustaka | 26 |
| B. Landasan Teori | 32 |
| 1. Limbah Cair Zat Warna <i>Remazol Violet 5R</i> | 32 |
| 2. Elektrolisis | 35 |
| 3. Elektrolit Natrium Klorida | 37 |
| 4. Elektroda Karbon | 39 |
| 5. Validasi Metode Analisis Kimia | 40 |
| 6. Spektrofotometri <i>Ultra Violet-Visible</i> (UV-Vis) | 42 |
| 7. Kolorimetri | 46 |
| 8. Warna Dasar Cahaya | 47 |
| 9. Kinetika Orde Reaksi | 49 |
| C. Kerangka Berfikir dan Hipotesis | 51 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 55 |
| A. Waktu dan Tempat Penelitian | 55 |
| B. Alat-alat Penelitian | 55 |
| C. Bahan-bahan Penelitian | 55 |
| D. Cara Kerja Penelitian | 55 |
| 1. Preparasi Elektroda | 55 |
| 2. Preparasi Sampel Limbah Buatan Zat Warna <i>Remazol Violet 5R</i> | 56 |
| 3. Analisis Sampel Limbah Buatan Zat Warna <i>Remazol Violet 5R</i> Menggunakan Metode Spektrofotometri UV-Vis | 56 |
| 4. Analisis Sampel Limbah Buatan Zat Warna <i>Remazol Violet 5R</i> Menggunakan Metode Analisis Kolorimetri Citra Digital Warna RGB | 57 |

| | | |
|------------|---|-----|
| 5. | Proses Elektrolisis | 58 |
| 6. | Analisis Sampel Limbah Buatan Zat Warna <i>Remazol Violet 5R</i> Setelah Elektrolisis | 59 |
| E. | Teknik Analisis Data..... | 61 |
| 1. | Perhitungan Persen Degradasi Zat Warna <i>Remazol Violet 5R</i> | 61 |
| 2. | Uji-t..... | 61 |
| 3. | Analisis Regresi Linier | 61 |
| BAB IV | HASIL DAN PEMBAHASAN | 62 |
| A. | Validasi Metode Analisis Zat Warna <i>Remazol violet 5R</i> | 62 |
| 1. | Validasi Metode Spektrofotometri UV-Vis..... | 62 |
| 2. | Validasi Metode Kolorimetri Citra Digital Warna RGB..... | 65 |
| B. | Uji Banding Metode Spektrofotometri UV-Vis dan Metode Kolorimetri Citra Digital Warna RGB..... | 67 |
| 1. | Uji-t Perbandingan Nilai Rata-Rata Dua Kelompok Data | 67 |
| 2. | Analisis Regresi Linier Dua Kelompok Data..... | 69 |
| C. | Penanganan Limbah Cair Zat Warna dengan Metode Elektrokimia | 70 |
| 1. | Pengaruh Tegangan Listrik..... | 70 |
| 2. | Pengaruh Waktu | 72 |
| 3. | Aplikasi Metode Kolorimetri Citra Digital Warna RGB pada Penentuan Kadar Zat Warna <i>Remazol violet 5R</i> | 75 |
| BAB V | KESIMPULAN DAN SARAN | 78 |
| A. | Kesimpulan | 78 |
| B. | Saran | 79 |
| DAFTAR | PUSTAKA | 80 |
| LAMPIRAN | | 88 |
| CURRICULUM | VITAE..... | 112 |

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Panjang gelombang, warna dan warna komplementer 43
Tabel 4. 1 Penentuan Uji-t 68



DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2. 1 Struktur molekul remazol violet 5R (Firdaus et al., 2015) | 34 |
| Gambar 2. 2 Skema instrumen spektrofotometri UV-Vis (Sastrohamidjojo, 2019) | 44 |
| Gambar 2. 3 Kurva adisi standar (Skoog et al., 2018)..... | 45 |
| Gambar 2. 4 Gambaran nilai intensitas piksel dengan berbagai gabungan warna RGB (Salamah dan Ekawati, 2021) | 48 |
| Gambar 4. 1 Kurva panjang gelombang maksimum larutan remazol violet 5R... | 63 |
| Gambar 4. 2 Kurva standar metode spektrofotometri UV-Vis | 64 |
| Gambar 4. 3 Kurva standar metode kolorimetri citra digital RGB..... | 66 |
| Gambar 4. 4 Grafik hubungan antara konsentrasi remazol violet 5R hasil elektrodegradasi dengan metode kolorimetri citra digital RGB dengan metode spektrofotometri UV-Vis | 69 |
| Gambar 4. 5 Grafik hasil analisis hubungan antara % degradasi remazol violet 5R dengan tegangan listrik (Volt) metode spektrofotometri UV-Vis ... | 71 |
| Gambar 4. 6 Grafik hubungan antara % degradasi dengan waktu elektrodegradasi | 73 |
| Gambar 4. 7 Foto hasil larutan zat warna <i>remazol violet 5R</i> setelah dielektrolisis dengan variasi waktu..... | 74 |
| Gambar 4. 8 Grafik kinetika laju reaksi pseudo orde 1 pada elektrodegradasi remazol violet 5R dengan metode kolorimetri citra digital RGB | 76 |



DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|-----|
| Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian..... | 88 |
| Lampiran 2. Pembuatan Larutan Zat Warna <i>Remazol violet 5R</i> | 89 |
| Lampiran 3. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum..... | 91 |
| Lampiran 4. Validasi Metode Spektrofotometri UV-Vis..... | 92 |
| Lampiran 5. Validasi Metode Kolorimetri Citra Digital RGB | 93 |
| Lampiran 6. Persentase Degradasi Zat Warna <i>Remazol violet 5R</i> Pada Variasi Voltase Elektrolisis | 94 |
| Lampiran 7. Persentase Degradasi Zat Warna <i>Remazol violet 5R</i> Pada Variasi Waktu Elektrolisis dengan Metode Spektrofotometri UV-Vis | 97 |
| Lampiran 8. Persentase Degradasi Zat Warna <i>Remazol violet 5R</i> pada Variasi Waktu Elektrolisis dengan Metode Kolorimetri Analisis Citra Digital RGB | 105 |



ABSTRAK

Validasi Metode Kolorimetri Citra Digital Warna RGB dan Aplikasinya dalam Penentuan Kadar *Remazol violet 5R* dengan Perlakuan Elektrokimia

Oleh:

Febri Nurul Abshari

18106030006

Pembimbing:

Karmanto, S.Si., M.Sc.

Validasi terhadap metode kolorimetri citra digital warna RGB dan aplikasinya dalam penentuan kadar *remazol violet 5R* dengan perlakuan elektrokimia telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk memvalidasi metode spektrofotometri UV-Vis dan metode analisis kolorimetri citra digital warna RGB untuk penentuan konsentrasi zat warna *remazol violet 5R* dan mengkaji hasil uji banding analisis zat warna menggunakan kedua metode tersebut, serta mengkaji pengaruh tegangan listrik dan waktu pada proses elektrodegradasi zat warna *remazol violet 5R*.

Validasi metode spektrofotometri UV-Vis dan kolorimetri citra digital warna RGB dilakukan guna menentukan parameter-parameter validitas yaitu linieritas, sensitivitas, LOD dan LOQ. Larutan zat warna *remazol violet 5R* dielektrolisis menggunakan elektrolit NaCl dan elektroda karbon. Kajian pengaruh tegangan listrik dan waktu terhadap proses elektrodegradasi zat warna dilakukan melalui variasi tegangan listrik 6;9;12 volt, dan variasi waktu 0-240 detik. Kemudian dianalisis menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis dan kolorimetri citra digital warna RGB serta dilakukan uji banding.

Hasil pengujian metode spektrofotometri UV-Vis diperoleh nilai koefisien korelasi sebesar 1, sensitivitas sebesar 0,0126, LOD sebesar 0,3478 ppm, dan LOQ sebesar 1,1592 ppm. Metode kolorimetri citra digital warna RGB diperoleh hasil koefisien korelasi sebesar 0,9812, sensitivitas sebesar 0,0049, LOD sebesar 10,9059 ppm, dan LOQ sebesar 36,3531 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua metode analisis telah memenuhi syarat validasi yang baik untuk penetapan kadar zat warna *remazol violet 5R*. Hasil uji-t menunjukkan $t_{hitung} < t_{kritik}$ dan koefisien korelasi sebesar 0,9713 pada analisis regresi linier terhadap metode spektrofotometri UV-Vis yang bermakna kedua metode tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Pengolahan limbah cair zat warna *remazol violet 5R* menggunakan metode elektrokimia (elektrodegradasi) mampu menurunkan kadar zat warna hingga 89,96% pada tegangan 9 volt. Sedangkan variasi waktu menunjukkan persentase degradasi mencapai 73,30% dalam waktu 240 detik yang laju degradasinya mengikuti kinetika pseudo orde 1 dengan konstanta laju reaksi sebesar 0,0047 detik⁻¹. Penelitian ini membuktikan bahwa metode kolorimetri citra digital warna RGB dapat dijadikan sebagai metode alternatif untuk penetapan kadar zat warna dengan *smartphone* Samsung J7 Prime dan aplikasi *color analysis pro*, serta metode elektrokimia dapat digunakan sebagai metode yang efektif untuk pengolahan limbah cair zat warna.

Kata Kunci: *Remazol violet 5R, validasi metode, spektrofotometri UV-Vis, kolorimetri citra digital warna RGB, elektrokimia, elektrodegradasi*

ABSTRACT

Validation of RGB Color Digital Image Colorimetric Method and Its Application in Determination of *Remazol violet 5R* Concentration by Electrochemical Treatment

By:

Febri Nurul Abshari

18106030006

Adviser:

Karmanto, S.Si., M.Sc.

The validation of the RGB color digital image colorimetric method and its application in determination of *remazol violet 5R* concentration by electrochemical treatment has been done. This study aims to validate the UV-Vis spectrophotometric method and RGB color digital image colorimetric analysis method for determining the concentration of *remazol violet 5R* dye and examine the results of the comparative test of dye analysis using these two methods, as well as study the effect of electric voltage and time on the electrodegradation process of *remazol violet 5R* dye.

Validation of UV-Vis spectrophotometry and RGB color digital image colorimetric methods were carried out to determine the validity parameters, such as linearity, sensitivity, LOD and LOQ. *Remazol violet 5R* dye solution was electrolyzed using NaCl electrolyte and carbon electrodes. The study of the effect of electric voltage and time on the electrodegradation process of dyes was carried out through variations of the electric voltage of 6; 9; 12 volts, and time variations of 0-240 seconds. Then analyzed using UV-Vis spectrophotometry and RGB color digital image colorimetric method and a comparative test was carried out.

The results of testing the UV-Vis spectrophotometry method obtained a correlation coefficient value of 1, sensitivity of 0,0126, LOD of 0,3478 ppm, and LOQ of 1,1592 ppm. The colorimetric method of RGB color digital images obtained a correlation coefficient of 0,9812, sensitivity of 0,0049, LOD of 10,9059 ppm, and LOQ of 36,3531 ppm. The results showed that both analytical methods had qualified the requirements of good validation for determination the concentration of *remazol violet 5R*. The results of the t-test showed $t_{\text{stat}} < t_{\text{critic}}$ and a correlation coefficient of 0,9713 in linear regression analysis of the UV-Vis spectrophotometry method, which means that the two methods have no significant difference. *Remazol violet 5R* dye wastewater treatment using electrochemical method (electrodegradation) was able to reduce dye concentration to 89,96% at a voltage of 9 volts. While the time variation shows the percentage of degradation reaches 73,30% within 240 seconds which the rate of degradation according to pseudo-first order kinetics with a reaction rate constant of 0,0047 seconds⁻¹. This study proves that the RGB color digital image colorimetric method can be used as an alternative method for determining the dye concentration with the Samsung J7 Prime smartphone and the color analysis pro application, as well as the electrochemical method can be used as an effective method for the treatment of dye wastewater.

Keywords: *Remazol violet 5R, method validation, UV-Vis spectrophotometric, RGB color digital image colorimetric, electrochemical, electrodegradation*

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Isu pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah cair industri tekstil menjadi perhatian penting pada dekade terakhir. Hal ini diakibatkan terjadinya perkembangan pesat dan meningkatnya permintaan terhadap produk tekstil (Singh et al., 2019). Christian dalam Rohayati et al., (2017), menyatakan bahwa industri tekstil memiliki peranan yang penting di Indonesia dengan pertumbuhan sebesar 0,85% setiap tahun. Industri tekstil merupakan salah satu penghasil air limbah terbesar yang berdampak signifikan terhadap pencemaran air di sungai, danau dan lautan, dimana dalam proses pencelupan dan finishing saat produksi menggunakan air dalam volume yang tergolong tinggi. Limbah cair industri tekstil mengandung senyawa kimia seperti berbagai macam pewarna, dispersan, anorganik terlarut, asam dan alkali (Singh et al., 2019).

Sebagian besar bahan yang terdapat dalam limbah tekstil adalah zat warna, terutama zat warna sintetik. Zat warna sintetik tersebut merupakan bahan pencemar yang sangat kompleks dan memiliki intensitas warna yang tinggi (Haryono et al., 2018). Keberadaan zat warna dengan konsentrasi yang rendah (1 ppm) dalam air sangat mudah terlihat sehingga dapat mengurangi proses fotosintesis biota air akibat terganggunya sinar matahari yang masuk dalam badan perairan, serta kehidupan organisme yang ada di dalamnya akan terganggu (Zainip et al., 2021). Zat warna adalah senyawa organik tunggal atau campuran yang digunakan untuk memberikan warna pada suatu substrat atau bahan seperti kertas, plastik, kain

atau kulit secara permanen (Chatwal, 2009). Salah satu jenis pewarna sintetik yang sering digunakan dalam industri tekstil adalah pewarna azo, yaitu *remazol violet 5R*. Zat warna *remazol violet 5R* merupakan zat warna reaktif yang dapat membentuk suatu golongan zat kimia yang disebut sebagai aromatik amina yang bersifat karsinogen dan dapat mengancam kesehatan. Selain itu, zat warna ini menghasilkan warna yang sangat kuat bahkan dalam konsentrasi kecil yang mengakibatkan pencemaran pada badan perairan. Oleh karena itu sangat penting untuk melakukan pengolahan limbah cair zat warna *remazol violet 5R* sebelum dibuang ke lingkungan (Firdaus et al., 2015).

Pada umumnya, pengolahan limbah cair industri tekstil (zat warna, polutan organik, logam berat) dapat dilakukan dengan berbagai metode, seperti, adsorpsi, koagulasi, flokulasi, membran filtrasi, dan pertukaran ion (Singh et al., 2014). Namun metode koagulasi, flokulasi, membran filtrasi akan menimbulkan polusi sekunder berupa lumpur atau *sludge* dalam jumlah yang cukup banyak (Sukarta dan Kadek, 2016); Kothari dan Shah, 2020). Sedangkan metode adsorpsi memiliki kekurangan dari material adsorben yang digunakan, dimana beberapa material adsorben sulit untuk didapat dan memiliki harga yang relatif tinggi (Atirza dan Soewondo, 2018). Selain itu, metode-metode tersebut masih kurang efektif karena banyak komponen dalam limbah industri tekstil yang tidak mudah untuk diatasi, sehingga memerlukan biaya yang besar dan waktu yang cukup lama untuk melakukan pengolahan limbah tersebut (Wiratini dan Kartowasono, 2016). Berdasarkan uraian tersebut, perlu adanya perkembangan metode alternatif yang

ramah lingkungan, mudah diaplikasikan, hemat biaya yang juga dapat mengatasi kelemahan metode-metode tersebut.

Salah satu metode pengolahan limbah yang dapat digunakan untuk mendegradasi dan menurunkan kadar zat warna dalam limbah cair tekstil adalah metode elektrolisis (Suseno dan Wibowo, 2017). Elektrolisis merupakan proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Komponen yang terpenting dari proses elektrolisis ini adalah elektroda dan larutan elektrolit. Dalam reaktor elektrolisis, penggunaan energi listrik akan menyebabkan terjadinya reaksi reduksi-oksidasi yang tidak spontan. Pengolahan limbah secara elektrolisis dipilih karena pada prosesnya tidak memerlukan banyak bahan kimia tambahan dan selama proses berlangsung kemungkinan terbentuknya polutan baru sangat kecil, sehingga tidak perlu dilakukan penetralan terhadap pemakaian bahan kimia yang berlebih (Avsar et al., 2007). Selain itu, metode ini sangat mudah dioperasikan dengan peralatan yang sederhana dan aman, proses berlangsung pada temperatur rendah, biaya operasional yang murah serta efisiensi energi yang tinggi (lebih ekonomis) (Brillas dan Martinez-Huitle, 2014).

Ariguna et al., (2014) telah melakukan penelitian mengenai metode elektrolisis untuk degradasi zat warna remazol yellow FG dan limbah tekstil buatan dengan elektrolit NaCl dan elektroda grafit. Penelitian ini menunjukkan bahwa proses degradasi zat warna terjadi secara optimum saat elektrolisis dilakukan selama 2,25 jam, dengan jarak antar elektroda 0,1 cm dan konsentrasi NaCl 0,5 M.

Analisis zat warna pada limbah cair pada umumnya menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis. Metode ini menggunakan instrumen spektrofotometer

UV-Vis yang memiliki biaya yang mahal dan sangat bergantung pada sumber listrik yang besar (Iskandar, 2017). Perawatan dan penggunaan instrumen spektrofotometer UV-Vis juga sangat rumit, sehingga diperlukan tenaga ahli dalam mengoperasikan instrumen ini untuk melakukan suatu analisis. Selain itu, hasil analisis absorbansi suatu larutan yang diukur menggunakan metode ini dipengaruhi oleh temperatur, kelembaban, pH larutan, adanya kontaminan atau zat pengganggu dan kebersihan kuvet (Sukmamei, 2018; Tetha dan Sugiarto, 2016). Sehingga diperlukan metode alternatif untuk melakukan pengukuran konsentrasi zat warna pada air limbah.

Metode analisis kimia kuantitatif yang saat ini sedang dikembangkan adalah metode gabungan antara foto digital dan metode kolorimetri yang disebut dengan metode kolorimetri analisis citra digital (Dinata et al., 2019). Metode kolorimetri citra digital merujuk pada metode analisis kolorimetri berdasarkan digitalisasi gambar atau foto yang diperoleh dari beberapa alat akuisisi gambar seperti kamera digital, alat pemindai (*scanner*), *webcam*, ponsel dan sebagainya. Ponsel pintar atau *smartphone* banyak digunakan sebagai alat akuisisi gambar dalam metode ini, karena mudah dan ringan untuk dibawa, dapat digunakan dengan cepat, peningkatan fungsi kamera yang luar biasa, dan aplikasi yang digunakan sangat beragam (Fan et al., 2021). Konsentrasi senyawa analit dapat dievaluasi pada sampel berdasarkan variasi warna yang diperoleh saat analit digabungkan dengan reagen yang memberikan larutan berwarna atau dengan perubahan warna larutan. Hasil kuantitatif dari konsentrasi suatu sampel diperoleh dengan pengambilan gambar atau foto sampel tersebut oleh kamera *smartphone* yang kemudian langsung dianalisis dengan perangkat lunak analisis citra digital (João et al., 2019). Metode

ini dapat digunakan oleh masyarakat yang memiliki sumber daya yang terbatas untuk analisis kuantitatif pada bidang kimia dan pemantauan lingkungan, karena alat yang digunakan sederhana dan sudah tersedia secara luas, hemat biaya, cepat dan dapat dilakukan dimanapun (Mohamed dan Shalaby, 2019).

Model warna yang biasanya digunakan dalam metode kolorimetri citra digital antara lain CMYK (*Cyan Magenta Yellow Black*), RGB (*Red Green Blue*), HSV (*Hue Saturation Value*), model *grayscale* dan sebagainya (Fan et al., 2021). Analisis kolorimetri dapat dilakukan dengan menentukan nilai RGB dari citra foto digital untuk hasil yang lebih presisi dan akurat. Sistem warna RGB terdiri dari tiga komponen intensitas yaitu merah atau *red*, hijau atau *green* dan biru atau *blue* yang merupakan indeks penting untuk ekspresi warna (Moonrungssee et al., 2015).

Penelitian tentang penggunaan metode kolorimetri citra digital telah dilakukan oleh João et al. (2019) menggunakan *smartphone* dan aplikasi *Color Grab* untuk mendeteksi ion besi (Fe^{3+}) dalam bahan bakar bioetanol. Parameter kinerja yang divalidasi pada metode analisis ini adalah linieritas, batas deteksi, presisi dan akurasi yang telah memenuhi persyaratan validasi metode analisis kimia. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara hasil perbandingan penentuan ion Fe^{3+} dalam bahan bakar bioetanol menggunakan metode kolorimetri citra digital dan metode spektrofotometri UV-Vis sebagai metode referensi.

Berdasarkan uraian-uraian tersebut, pengolahan limbah dengan metode elektrokimia diharapkan dapat mengurangi parameter zat warna *remazol violet 5R* dalam limbah cair industri tekstil. Selain itu, penggunaan metode analisis

kolorimetri citra digital warna RGB diharapkan dapat menjadi metode alternatif untuk analisis kadar zat warna *remazol violet 5R* dalam limbah cair.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah untuk menghindari ketidakteraturan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Senyawa pencemar yang diteliti pada penelitian ini adalah zat warna *remazol violet 5R*.
2. Sampel limbah zat warna yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel buatan.
3. Metode yang digunakan untuk mendegradasi zat warna adalah metode elektrokimia.
4. Elektrolit yang digunakan adalah natrium klorida (NaCl).
5. Elektroda yang digunakan adalah elektroda karbon.
6. Metode yang divalidasi adalah metode spektrofotometri UV-Vis dan metode analisis kolorimetri citra digital warna RGB.
7. Analisis konsentrasi zat warna *remazol violet 5R* sebelum dan sesudah proses elektrodegradasi menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis dan analisis kolorimetri citra digital warna RGB.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana validasi metode spektrofotometri UV-Vis dan metode analisis kolorimetri citra digital warna RGB menggunakan *smartphone* untuk penetapan kadar zat warna *remazol violet 5R*?
2. Bagaimana metode analisis kolorimetri citra digital warna RGB dapat digunakan sebagai metode alternatif untuk analisis zat warna *remazol violet 5R* dalam limbah cair?
3. Bagaimana pengaruh tegangan listrik terhadap proses elektrodegradasi zat warna *remazol violet 5R*?
4. Bagaimana pengaruh waktu elektrodegradasi terhadap penurunan kadar zat warna *remazol violet 5R*?

D. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Memvalidasi metode spektrofotometri UV-Vis dan metode analisis kolorimetri citra digital warna RGB menggunakan *smartphone* untuk penetapan kadar zat warna *remazol violet 5R*.
2. Mengkaji hasil uji banding antara hasil analisis sampel zat warna *remazol violet 5R* setelah proses elektrodegradasi menggunakan metode analisis kolorimetri citra digital warna RGB sebagai metode alternatif dan metode spektrofotometri UV-Vis sebagai metode rujukan.
3. Mengkaji pengaruh tegangan listrik terhadap proses elektrodegradasi zat warna *remazol violet 5R*.
4. Mengkaji pengaruh waktu elektrodegradasi terhadap penurunan kadar zat warna *remazol violet 5R*.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dan informasi sebagai berikut:

1. Memberikan alternatif metode elektrokimia dengan elektrolit NaCl untuk pengolahan limbah cair zat warna yang efektif dan efisien.
2. Memberikan informasi mengenai metode kolorimetri analisis citra digital warna RGB menggunakan *smartphone* sebagai metode alternatif baru untuk analisis kadar zat warna pada limbah cair.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Validasi metode spektrofotometri UV-Vis dan metode kolorimetri citra digital warna RGB menggunakan *smartphone* Samsung J7 Prime dan aplikasi *Color Analysis Pro* telah memenuhi syarat validasi yang baik untuk penetapan kadar zat warna *remazol violet 5R*. Data hasil pengujian untuk metode spektrofotometri UV-Vis menghasilkan nilai koefisien korelasi pada linearitas sebesar 1, nilai sensitivitas sebesar 0,0126, nilai batas deteksi sebesar 0,3478 ppm, dan nilai batas kuantitasi sebesar 1,1592 ppm. Sedangkan untuk metode kolorimetri citra digital warna RGB diperoleh hasil koefisien korelasi pada linearitas sebesar 0,9812, nilai sensitivitas sebesar 0,0049, nilai batas deteksi sebesar 10,9059 ppm, dan nilai batas kuantitasi sebesar 36,3531 ppm.
2. Metode kolorimetri citra digital warna RGB menggunakan *smartphone* Samsung J7 Prime dan aplikasi *Color Analysis Pro* dapat digunakan sebagai metode alternatif untuk penetapan kadar zat warna *remazol violet 5R* hasil proses elektrodegradasi, dengan hasil uji banding secara statistika uji-t dan analisis regresi linier antara metode spektrofotometri UV-Vis dengan metode kolorimetri citra digital warna RGB menunjukkan bahwa kedua metode tersebut tidak memiliki perbedaan yang signifikan.

3. Tegangan listrik mempengaruhi proses elektrodegradasi zat warna *remazol violet 5R* dengan kondisi optimum pada tegangan 9 volt dengan penyisihan zat warna *remazol violet 5R* sebesar 89,96%.
4. Waktu mempengaruhi elektrodegradasi zat warna *remazol violet 5R* dengan kondisi terbaik pada waktu 240 detik dengan penyisihan zat warna *remazol violet 5R* sebesar 73,30%

B. Saran

Saran yang diusulkan untuk pengembangan lebih lanjut mengenai penelitian ini antara lain:

1. Pada metode kolorimetri citra digital warna RGB, perlu dilakukan pengembangan mengenai suatu alat tempat untuk pengambilan foto atau gambar larutan agar terhindar dari faktor kesalahan pengambilan gambar seperti gangguan atau interferensi cahaya dari luar.
2. Pada validasi metode analisis kimia sebaiknya rentang konsentrasi larutan yang digunakan tidak terlalu besar antara larutan satu dengan yang lainnya untuk meminimalisir kesalahan dalam analisis.
3. Perlu dilakukan kajian mengenai akurasi dan presisi pada validasi metode kolorimetri citra digital RGB.
4. Perlu dilakukan pengukuran arus dan tegangan listrik terlebih dahulu pada adaptor menggunakan multimeter sebelum digunakan untuk proses elektrodegradasi.
5. Apabila dilakukan penentuan laju reaksi degradasi, sebaiknya saat proses elektrodegradasi berlangsung temperatur larutan dijaga agar tetap stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, A. M., Rijal, I., dan Aziz, T. 2017. Pengaruh Waktu dan Tegangan Listrik Terhadap Limbah Cair Rumah Tangga dengan Metode Elektrolisis. *Jurnal Teknik Kimia*. 2. 23. 114–119.
- Ariguna, I. W. S. P., Wiratini, N. M., dan Sastrawidana, I. D. K. 2014. Degradasi Zat Warna Remazol Yellow FG dan Limbah Tekstil Buatan dengan Teknik Elektrokodisasi. *E-Journal Kimia Visvitalis*. 2. 127–137.
- Atirza, V., dan Soewondo, P. 2018. Penyisihan Zat Warna Naphthol pada Limbah Cair Batik dengan Metode Adsorpsi Menggunakan Adsorben Tanah Liat dan Regenerasinya. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 1. 24. 93–106.
- Atkins, P. 1990. *Kimia Fisika Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Avsar, Y., Kurt, U., dan Gonullu, T. 2007. Comparison of Classical Chemical and Electrochemical Processes for Treating Rose Processing Wastewater. *Journal of Hazardous Materials*. 1–2. 148. 340–345.
- Basset, J., Denney, R. C., Jeffrey, G. H., dan Mendhom, J. 1994. *Buku Ajar Vogel Kimia Analisis Kuantitatif Anorganik*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Brillas, E., dan Martinez-Huitle, C. A. 2014. Decontamination of Wastewaters Containing Synthetic Organic Dyes by Electrochemical Methods. *Applied Catalysis B: Environmental*. 1–136.
- Cao, Y., Liu, Y., Li, F., Guo, S., Shui, Y., Xue, H., dan Wang, L. 2019. Portable Colorimetric Detection of Copper Ion in Drinking Water via Red Beet Pigment and Smartphone. *Microchemical Journal*. 150.
- Carr, C. M. 1995. *Chemistry of the Textiles Industry*. 1st ed. Springer Dordrecht.
- Chang, R. 2010. *Chemistry* (10th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Chatwal, G. R. 2009. *Synthetic Dyes*. New Delhi: Himalaya Publishing House.
- Czarnetzki, L. R., dan Janssen, L. J. J. 1992. Formation of Hypochlorite, Chlorate and Oxygen during NaCl Electrolysis from Alkaline Solutions at an RuO₂/TiO₂ Anode. *Journal of Applied Electrochemistry*. 22. 315–324.
- Damirchi, S., Khooni, M. A.-K., Heidari, T., Es'haghi, Z., dan Chamsaz, M. 2018. A Comparison between Digital Camera and Spectrophotometer for Sensitive and Selective Kinetic Determination of Brilliant Green in Wastewaters. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 1–39.
- Day, R. A., dan Underwood, A. L. 2001. *Analisis Kimia Kuantitatif*. 6th ed. Jakarta: Erlangga.
- Deborde, M., dan Gunten, U. Von. 2008. Reactions of Chlorine with Inorganic and Organic Compounds during Water Treatment-Kinetics and Mechanisms : A

Critical Review. *Water Research*. 42. 13–51.

- Dewi, A. P. 2018. Penetapan Kadar Vitamin C dengan Spektrofotometri UV-Vis pada Berbagai Variasi Buah Tomat. *Journal of Pharmacy & Science*. 1. II. 9–14.
- Dinata, A. A., Firdaus, M. L., dan Elvia, R. 2019. Penerapan Kemometrik pada Metode Citra Digital untuk Analisis Ion Merkuri (II) dengan Indikator Nanopartikel Perak. *ALOTROP, Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*. 1. 3. 105–113.
- Dogra, S. K., dan Dogra, S. 1990. *Kimia Fisik dan Soal-soal*. Jakarta: UI Press.
- Emilia, Destiarti, L., dan Adhitiyawarman. 2021. Penentuan Kadar Mangan (Mn) Pada Air Gambut Secara Spektrofotometri UV-Vis Dengan Perbandingan Metode Kurva Kalibrasi Dan Adisi Standar. *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*. 1. 4. 1–10.
- Fakhrudin, Nurdiana, J., dan Wijayanti, D. W. 2017. Analisis Penurunan Kadar Cr (Chromium), Fe (Besi) Dan Mn (Mangan) pada Limbah Cair Laboratorium Teknologi Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Mulawarman Samarinda dengan Menggunakan Metode Elektrolisis. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi IV*. 10–15. Samarinda.
- Fan, Y., Li, J., Guo, Y., Xie, L., dan Zhang, G. 2021. Digital Image Colorimetry on Smartphone for Chemical Analysis : A Review. *Measurement*. 171.
- Fatimah, I. 2013. *Kimia Fisika*. Yogyakarta: Deepublish Publisher.
- Fauziyah, R. N. 2014. Prarancangan Pabrik Amonium Klorida Dengan Proses Amonium Sulfat-Sodium Klorida Kapasitas 50.000 Ton/Tahun. *Skripsi. Teknik Kimia. Universitas Muhammadiyah Surakarta*. Surakarta
- Firdaus, M. L., Herlina, A., Alwi, W., Sundaryono, A., dan Swistoro, E. 2015. Biosorption of Reactive Azo Dyes from Aqueous Solution Using Chitosan. *3rd International Conference on Biological, Chemical & Environmental Sciences*, 21–23. Kuala Lumpur.
- Fitriani, I. N., Puspitasari, A. R., dan Amelia, R. N. 2019. Dekolorisasi Senyawa Azo Limbah Remazol Golden Yellow oleh Bioadsorben Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*). *Walisongo Journal of Chemistry*. 2. 2. 40–46.
- Fitriani, R. D. 2016. Degradasi Elektrokimia Zat Warna Naphthol Blue Black Menggunakan Elektroda Pasta Karbon Nanopori. *Tesis. Sains dan Teknologi. Universitas Airlangga*. Surabaya.
- Gandjar, I. G., dan Rohman, A. 2018. *Spektroskopi Molekuler untuk Analisis Farmasi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Gulo, E. S. F. 2016. Aplikasi Spektrofotometri UV dan Kalibrasi Multivariat untuk Analisis Parasetamol, Guaifenesin dan Klorfeniramin Maleat dalam Sirup. *Skripsi. Fakultas Farmasi. Universitas Sanata Dharma*. Yogyakarta.

- Haifa, B. A., Bacărea, V., Iacob, O., Călinici, T., dan Șchiopu, A. 2011. Comparison between Digital Image Processing and Spectrophotometric Measurements Methods. Application in Electrophoresis Interpretation. *Applied Medical Informatics*. 1. 28. 29–36.
- Hamad, H., Bassyouni, D., El-ashtoukhy, E., Amin, N., dan El-latif, M. A. 2018. Ecotoxicology and Environmental Safety Electrocatalytic Degradation and Minimization of Specific Energy Consumption of Synthetic Azo Dye from Wastewater by Anodic Oxidation Process with an Emphasis on Enhancing Economic Efficiency and Reaction Mechanism. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 148. 501–512.
- Hamid, R. A., Purwono, dan Oktiawan, W. 2017. Penggunaan Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Karbon dengan Variasi Tegangan Listrik dan Waktu Elektrolisis dalam Penurunan Konsentrasi TSS dan COD pada Pengolahan Air Limbah Domestik. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 1. 6. 1–18.
- Handayani, H. N., Kaliawan, dan Pambudi, N. S. 2020. Perbandingan Penentuan Antosianin pada Bunga Rosella dengan Menggunakan UV-Vis Spektrometri dan Pencitraan Warna. *Jurnal Teknik: Ilmu Dan Aplikasi*. 1. 8. 15–17.
- Harmita. 2004. Petunjuk Pelaksanaan Validasi Dan Cara Penggunaannya. *Majalah Ilmu Kefarmasian*. 3. 1. 117.
- Harvey, D. 2000. *Modern Analytical Chemistry*. United States of America: McGraw-Hill.
- Haryono, Faizal D., M., Liamita N., C., dan Rostika, A. 2018. Pengolahan Limbah Zat Warna Tekstil Terdispersi dengan Metode Elektroflotasi. *EduChemia*. 1. 3. 94–105.
- Hein, M., Arena, S., dan Willard, C. 2016. *Foundations of College Chemistry*. 15th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Hermawan, R., dan Syafila, M. 2017. Pengaruh Plat Grafit dan Tembaga Terhadap Kinerja Proses Pengolahan Limbah Cair Industri Batik yang Mengandung Logam Zn Menggunakan Metode Elektrolisis. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 1. 23. 13–21.
- Hernani, Risfaheri, R., dan Hidayat, T. 2017. Ekstraksi dan Aplikasi Pewarna Alami Kayu Secang dan Jambal dengan Beberapa Jenis Pelarut. *Dinamika Kerajinan Dan Batik*. 2. 34. 113–124.
- Ho, C., Chen, L., dan Yang, C. 2011. Electrochemical Decomposition of Reactive Blue 19. *Environmental Engineering Science*. 1. 28. 53-61.
- House, J. E. 2007. *Principles of Chemical Kinetics*. 2nd ed. USA: Elsevier Inc.
- Irmanto, Suyata, dan Lestari, P. 2017. Penentuan Voltase dan Jarak Elektroda untuk Dekolorisasi Limbah Cair Industri Batik dengan Teknik Elektrokimia. *Prosiding Seminar Nasional Dan Call for Papers Pengembangan Sumber*

- Daya Perdesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan VII*. 7. 1807–1813. Purwokerto.
- Iskandar, D. 2017. Perbandingan Metode Spektrofotometri Uv-Vis dan Iodimetri dalam Penentuan Asam Askorbat sebagai Bahan Ajar Kimia Analitik Mahasiswa Jurusan Teknologi Pertanian Berbasis Open-Ended Experiment dan Problem Solving. *Jurnal Teknologi Technoscientia*. 1. 10. 66–70.
- João, A. F., Squissato, A. L., Fernandes, G. M., Cardoso, R. M., Batista, A. D., dan Muñoz, R. A. A. 2019. Iron (III) Determination in Bioethanol Fuel Using a Smartphone-Based Device. *Microchemical Journal*. 146. 1134–1139.
- Karmanto, dan Sulistya, R. 2014. Elektrokolorisasi Zat Warna Remazol Violet 5R Menggunakan Elektroda Grafit. *J. Kaunia*. 1. X. 11–19.
- Kartika, R. 2021. *Verifikasi Dan Validasi Metode Uji Kualitas Udara*. Yogyakarta: KBM INDONESIA.
- Keenan, C. W., Kleinfelter, D. C., dan Wood, J. H. 1996. *Kimia untuk Universitas Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Ketut, S. D., Oktofa, R. D., dan Ketut, S. 2018. Color Removal of Textile Wastewater Using Indirect Electrochemical Oxidation with Multi Carbon Electrodes. *Environment Asia*. 3. 11. 170–181.
- Khasri, A., Jamir, M. R. M., Ahmad, A. A., dan Ahmad, M. A. 2021. Adsorption of Remazol Brilliant Violet 5R Dye from Aqueous Solution onto Melunak and Rubberwood Sawdust Based Activated Carbon: Interaction Mechanism, Isotherm, Kinetic and Thermodynamic Properties. *Desalination and Water Treatment*. 216. 401–411.
- Khopkar, K. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: UI Press.
- Kothari, M. S., dan Shah, K. A. 2020. Electrochemical Oxidation for Decolorization of Rhodamine-B Dye Using Mixed Metal Oxide Electrode: Modeling and Optimization. *Water Science & Technology*. 4. 81. 720–731.
- Kusumanto, R., dan Tompunu, A. N. 2011. Pengolahan Citra Digital untuk Mendeteksi Obyek Menggunakan Pengolahan Warna Model Normalisasi RGB. *Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan*.
- Levin, S., Krishnan, S., Rajkumar, S., Halery, N., dan Balkunde, P. 2016. Science of the Total Environment Monitoring of Fluoride in Water Samples Using a Smartphone. *Science of The Total Environment*. 551–552. 101–107.
- Miller, J. N., dan Miller, J. C. 2000. *Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry*. 4th ed. New York: Pearson Education.
- Mohamed, A. A., dan Shalaby, A. A. 2019. Digital Imaging Devices as Sensors for Iron Determination. *Food Chemistry*. 274. 360–367.
- Moonrungsee, N., Pencharee, S., dan Jakmune, J. 2015. Talanta Colorimetric

- Analyzer Based on Mobile Phone Camera for Determination of Available Phosphorus in Soil. *Talanta*. 136. 204–209.
- Porto, I. S. A., Santos, J. H., Liz, O., Gomes, A. A., dan Ferreira, S. L. C. 2019. Determination of Ascorbic Acid in Natural Fruit Juices Using Digital Image Colorimetry. *Microchemical Journal*. 149.
- Prasetyo, J. A., Milatina, F., dan Yuliawati, I. 2017. Elektrodekolorisasi Zat Warna Indigosol Golden Yellow Irk dengan Elektroda PbO₂ dan Grafit (C). *Kajen*. 1. 1. 25–33.
- Putra, T. S. A. 2020. Gambaran Pengelolaan dan Pengolahan Limbah Cair pada Industri Sablon di Desa Pemogan Tahun 2020. *Skripsi*. Kesehatan Lingkungan. Politeknik Kesehatan Kemenkes. Denpasar.
- Prayitno, P. 2007. Kajian Kinetika Kimia Model Matematik Reduksi Kadmium Melalui Laju Reaksi, Konstante dan Orde Reaksi dalam Proses Elektrokimia. *GANENDRA Majalah IPTEK Nuklir*. 1. 10. 27–34.
- Rápó, E., Posta, K., Suci, M., Szép, R., dan Tonk, S. 2019. Adsorptive Removal of Remazol Brilliant Violet-5R Dye from Aqueous Solutions Using Calcined Eggshell as Biosorbent. *Acta Chim. Slov.* 66. 648–658.
- Ribeiro, G. A. C., Silva, D. S. A., dos Santos, C. C., Vieira, A. P., Bezerra, C. W. B., Tanaka, A. A., dan Santana, S. A. A. 2017. Removal of Remazol Brilliant Violet Textile Dye by Adsorption Using Rice Hulls. *Polímeros*. 1. 27. 16–26.
- Ridaningtyas, Y. W., Widodo, D. S., dan Hastuti, R. 2013. Pengolahan Limbah Cair Industri Percetakan Secara Elektrolisis dengan Elektroda Karbon/Karbon. *Chem Info*. 1. 1. 51–58.
- Rohayati, Z., Fajrin, M. M., Rua, J., Yulan, dan Riyanto. 2017. Pengolahan Limbah Industri Tekstil Berbasis Green Technology Menggunakan Metode Gabungan Elektrodegradasi dan Elektrodekolorisasi dalam Satu Sel Elektrolisis. *Chimica et Natura Acta*. 2. 5. 95–100.
- Rohmah, S. A. A., Muadifah, A., dan Martha, R. D. 2021. Validasi Metode Penetapan Kadar Pengawet Natrium Benzoat pada Sari Kedelai di Beberapa Kecamatan di Kabupaten Tulungagung Menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis. *Jurnal Sains Dan Kesehatan*. 2. 3. 120–127.
- Rohman, A. 2014. *Statistika dan Kemometrika Dasar dalam Analisis Farmasi*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Rohman, A. 2014. *Validasi dan Penjaminan Mutu Metode Analisis Kimia*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Rouessac, F., dan Rouessac, A. 2007. *Chemical Analysis: Modern Instrumentation Methods and Techniques*. 2nd ed. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.
- Salamah, U. G., dan Ekawati, R. 2021. *Pengolahan Citra Digital*. Bandung: Penerbit Media Sains Indonesia.

- Sariasih, N. W., Suyanto, H., dan Wendri, N. 2016. Aplikasi Karbon Grafit untuk Imobilisasi Ion Pb dalam Cairan dengan Metode Elektrolisis. *Buletin Fisika*. 2. 17. 8–15.
- Sastrawidana, I. D. K., dan Racmawati, D. O. 2016. Efisiensi Perombakan Warna Air Limbah Tekstil Buatan yang Diolah Secara Elektrokodisasi Pada Variasi pH, Konsentrasi Garam dan Beda Potensial. *Prosiding Seminar Nasional MIPA*. 35–362. FMIPA Undhiksha.
- Sastrohamidjojo, H. 2001. *Kimia Dasar*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Sastrohamidjojo, H. 2019. *Dasar-Dasar Spektroskopi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Selpiana, E., Destiarti, L., dan Nurlina. 2016. Perbandingan Metode Penentuan Pb (II) di Sungai Kapuas Secara Spektrofotometri Uv-Vis Cara Kalibrasi Terpisah dan Adisi Standar. *JKK*. 1. 5. 17–23.
- Sembiring, T., Dayana, I., dan Rianna, M. 2019. *Alat Penguji Material*. Bogor: Guepedia.
- Siahaan, P. 2000. Analisa Data Kinetika dengan Mathcad: Reaksi Dekomposisi Etilen Oksida Asumsi Orde-1, Orde-2, dan Orde-3. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*. 3. 3. 197–202.
- Singh, R. P., Singh, P. K., Gupta, R., dan Singh, R. L. 2019. *Treatment and Recycling of Wastewater from Textile Industry*.
- Singh, R., Singh, P., dan Singh, R. 2014. Bacterial Decolorization of Textile Azo Dye Acid Orange by Staphylococcus Hominis RMLRT03. *Toxicology International*. 2. 21. 160–166.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., dan Crouch, S. R. 2018. *Principles of Instrumental Analysis*. 7th ed. Vol. 9. Boston: Cengage Learning.
- Soloman, P. A., Basha, C. A., Velan, M., Ramamurthi, V., Koteeswaran, K., dan Balasubramanian, N. 2009. *Electrochemical Degradation of Remazol Black B Dye Effluent This study focused on the electrochemical degradation of hydrolyzed Remazol Black*. 11. 37. 889–900.
- Subangga, B. T. 2014. Pengaruh Variasi Anoda dan Waktu Pelapisan Elektroplating Terhadap Laju Keausan Grinding Ball. *Skripsi*. Teknik. Universitas Brawijaya. Malang.
- Sugiyana, D., dan Notodarmojo, S. 2015. A Study of Photocatalytic Degradation Mechanism of Acid. *Arena Tekstil*. 2. 30. 83–94.
- Sukarta, I. N., dan Kadek, N. K. S. 2016. Adsorpsi Zat Warna Azo Jenis Remazol Brilliant Blue oleh Limbah Daun Ketapang (*Terminalia Catappa*.L.). *Prosiding Seminar Nasional MIPA*. 311–316.

- Sukmamei, E. M. 2018. Perbedaan Kadar Asam Urat Serum Alat Semi Auto Chemistry Analyzer dan Point of Care Testing (POCT). Skripsi. Analisis Kesehatan. Universitas Muhammadiyah. Semarang.
- Sukmawati, Sudewi, S., dan Pontoh, J. 2018. Optimasi dan Validasi Metode Analisis dalam Penentuan Kandungan Total Flavonoid pada Ekstrak Daun Gedi Hijau (*Abelmoscus Manihot L.*) yang Diukur Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. *PHARMACON Jurnal Ilmiah Farmasi-UNSRAT*. 3. 7. 32–41.
- Sulistyaningrum, I., Utami, M. P. G., dan Istiningrum, R. B. 2014. Perbandingan Metode Kalibrasi dan Adisi Standar untuk Penentuan Timbal Terlarut dalam Air Bak Kontrol Candi Borobudur Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-Nyala. *Jurnal Konservasi Cagar Budaya Borobudur*. 2. 8. 62–67.
- Sunarto. 1996. Kelebihan Metode Standar Adisi Dalam Menentukan Tingkat Pencemaran Lingkungan. *Cakrawala Pendidikan*. 2. 95–101.
- Suseno, dan Wibowo, I. Y. M. 2017. Penentuan Waktu Proses dan Tegangan Optimum Degradasi Zat Warna Tekstil Menggunakan Metode Elektrokimia Multi Elektroda dengan Sistem Kontinyu. *Prosiding SNST Ke-8*. 43–48. Semarang.
- Tahir, H., Shah, A. R., Iqbal, S., dan Kifayatullah, H. 2017. The Statistical Optimization of Indirect Electrochemical Oxidation Process for the Treatment of Dye from Simulated Textile Discharge. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*. 2. 2. 48–65.
- Tahir, I. 2008. Arti Penting Kalibrasi Pada Proses Pengukuran Analitik: Aplikasi Pada Penggunaan PHmeter dan Spektrofotometer UV-Vis. *Paper Seri Manajemen Laboratorium*.
- Tarr, M. A. 2003. *Chemical Degradation Methods for Wastes and Pollutants*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Tetha E. S., D. A., dan Sugiarsa K. S., R. D. 2016. Pebandingan Metode Analisa Kadar Besi antara Serimetri dan Spektrofotometer UV-Vis dengan Kompleks 1,10-Fenantrolin. *Akta Kimindo*. 1. 1. 8–13.
- Topayung, D. 2011. Pengaruh Arus Listrik dan Waktu Proses Terhadap Ketebalan dan Massa Lapisan yang Terbentuk pada Proses Elektroplating Pelat Baja. *Jurnal Ilmiah Sains*. 1. 11. 97–101.
- Upadhyay, S. K. 2006. Chemical Kinetics and Reaction Dynamics. In *Chemical Kinetics and Reaction Dynamics*. New Delhi: Springer.
- Wahyono, Y., Sutanto, H., dan Hidayanto, E. 2017. Produksi Gas Hydrogen Menggunakan Metode Elektrolisis dari Elektrolit Air dan Air Laut dengan Penambahan Katalis NaOH. *Youngster Physics Journal*. 4. 6. 353–359.
- Widodo, D. S., Suyati, L., Gunawan, dan Haris, A. 2018. Decolorization of

- Artificial Waste Remazol Black B Using Electrogenerated Reactive Species. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*. 1. 21. 29–33.
- Wiharti, Riyanto, dan Fitri, N. 2018. Aplikasi Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Platina (Pt), Tembaga (Cu) dan Karbon (C) untuk Penurunan Kadar Cr dalam Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit di Desa Sitimulyo, Piyungan, Bantul, Yogyakarta. *Indonesian Journal of Chemical Research*. 1. 1. 59–66.
- Wulansari, R., Nuryanto, R., dan Suyati, L. 2013. Pengaruh Elektroda Grafit-Grafit, Almunium-Grafit, dan Seng-Grafit pada Elektrolisis Kobalt (Co^{2+}) Dengan Pengotor Ion Seng (Zn^{2+}). *Chem Info*. 1. 1. 1–5.
- Zainip, V. J., Adnan, L. A., dan Elshikh, M. S. 2021. Decolorization of Remazol Brilliant Violet 5R and Procion Red MX-5B by Trichoderma Species. *Tropical Aquatic and Soil Pollution*. 2. 1. 108–117.
- Zou, J., Peng, X., Li, M., Xiong, Y., Wang, B., Dong, F., dan Wang, B. 2017. Chemosphere Electrochemical Oxidation of COD from Real Textile Wastewaters : Kinetic Study and Energy Consumption. *Chemosphere*. 171. 332–338.