

KARBONISASI HIDROTERMAL KULIT BUAH DUKU (*Lansium domesticum*) DAN AKTIVASINYA MENGGUNAKAN NaOH SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA DIRECT ORANYE DAN MALASIT HIJAU

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Bidang Studi Kimia**



**REDO ARDIANSYAH
08031181722005**

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

KARBONISASI HIDROTERMAL KULIT BUAH DUKU (*Lansium domesticum*) DAN AKTIVASINYA MENGGUNAKAN NaOH SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA DIRECT ORANYE DAN MALASIT HIJAU

SKRIPSI

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia

Oleh :

REDO ARDIANSYAH

08031181722005

Indralaya, 25 Maret 2021

Pembimbing I



Prof. Aldes Lesbani, S.Si., M.Si., Ph.D
NIP. 197408121998021001

Pembimbing II



Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si
NIP. 197711272005011003



HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi ini dengan judul "**Karbonisasi Hidrotermal Kulit Buah Duku (*Lansium domesticum*) dan Aktivasinya Sebagai Adsorben Zat Warna Direct Oranye dan Malasit Hijau**" telah dipertahankan dihadapan Tim Pengaji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada Tanggal 22 Maret 2021 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 25 Maret 2021

Ketua:

1. Prof. Aldes Lesbani, S.Si., M.Si., Ph.D
NIP. 197408121998021001

Anggota:

2. Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si
NIP. 197211092000032001
3. Dr. rer. nat. Risfidian Mohadi, M.Si
NIP. 197711272005011003
4. Dra. Fatma, M.S
NIP. 196207131991022001
5. Dr. Nirwan Syarif, S.Si., M.Si
NIP. 197010011999031003



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Redo Ardiansyah

NIM : 08031181722005

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain. Semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 25 Maret 2021

Penulis



Redo Ardiansyah

NIM. 08031181722005

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Redo Ardiansyah

NIM : 08031181722005

Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “hak bebas royalti non-ekslusif (non-exclusively royalty-free right) atas karya ilmiah saya yang berjudul: “Karbonisasi Hidrotermal Kulit Buah Duku (*Lansium domesticum*) dan Aktivasinya Menggunakan NaOH Sebagai Adsorben Zat Warna Direct Oranye dan Malasit Hijau”. Dengan hak bebas royalti non-ekslusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, menggali, edit/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 25 Maret 2021



SUMMARY

HYDROTHERMAL CARBONIZATION FROM DUKU PEEL (*Lansium domesticum*) AND ITS ACTIVATION USING NaOH AS ADSORBEN OF DIRECT ORANGE AND MALACHITE GREEN DYE

Redo Ardiansyah: Supervised by Prof. Aldes Lesbani, Ph.D. and Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si

Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University
xxii + 182 pages, 48 pictures, 24 tables, 40 attachments

In this study, the hydrochar preparation of the duku peel biomass (*Lansium domesticum*) was carried out using the hydrothermal carbonization method and its activation using NaOH at various treatments of carbonization time and temperature. Materials that have gone through the preparation process are characterized using *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Brunauer Emmet Teller* (BET) and *Scanning Electron Microscope* (SEM) analysis. In the process of biomass material through various variations in time and temperature of carbonization and activation, the best material was obtained the treatment carbonization time and temperature for 12 hours at the temperature of 200°C. The results of FT-IR analysis show that vibrational peaks in the material which indicate the presence of functional groups like –OH, –CH, =CH, C=O, C=C aromatic and aliphatic on materials. XRD analysis of biomass showed a diffraction peak appear on 15.7° and 22.79°, but decrease at the diffraction peak of 15.5° after carbonization and activation treatment. BET analysis showed an increase in the surface area and the results carbonization of biomass at 200°C from 12.343 m²/g to 22.635 m²/g. Materials that have been characterized are used as adsorbents in the adsorption process of direct orange and malachite green dyes. SEM analysis showed that surface of the biomass material has a surface morphology that tends to clump in the same phase or commonly called aggregation, after going through carbonization treatment the material tends to have heterogeneous morphology with irregular shapes, while after going through the activation treatment the material tend to have needle-shaped morphology. The adsorption study of congo red and direct orange onto adsorbent was investigated at several conditions, such as pH, adsorption time, temperature, initial concentration, desorption and regeneration adsorbent as well as dye selectivity testing. The direct orange dye adsorption process was optimum at pH 2, while the malachite green dye was optimum at pH 6. The adsorption kinetics model of the two dyes followed the *pseudo second order* kinetics model. The direct orange dye adsorption isotherm model follow the Freundlich isotherm model while the malachite green dye follow the langmuir isotherm model for biomass and hydrochar adsorbents with ΔH values reaching from 6,412 kJ/mol to 34,633 kJ/mol which can indicated the adsorption classified as physical adsorption. The desorption

process showed that ethanol as a suitable solvent for desorbing direct orange and malachite green dyes which are bound to each adsorbent used. Carbonization and activation treatments further increase the regeneration ability for the adsorbent. The adsorption selectivity test showed that malachite green dye was more easily absorbed than the direct orange dye. Characterization study for adsorbent after adsorption process using XRD analysis showed an increase in the diffraction peak of 22.3° and experienced a slight shift in the diffraction peak of 16.6° which indicated a chemical interaction that occurred during the adsorption process.

Keywords : Biomass, hydrochar, hydrothermal carbonization, adsorption, direct orange, malachite green.

Citations : 52 (2003-2020)

RINGKASAN

KARBONISASI HIDROTERMAL KULIT BUAH DUKU (*Lansium domesticum*) DAN AKTIVASINYA MENGGUNAKAN NaOH SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA DIRECT ORANYE DAN MALASIT HIJAU

Redo Ardiansyah : Dibimbing oleh Prof. Aldes Lesbani, Ph.D. dan Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya
xxii + 182 halaman, 48 gambar, 24 tabel, 40 lampiran

Pada penelitian ini telah dilakukan preparasi hidrochar dari biomassa kulit buah duku (*Lansium domesticum*) dengan menggunakan metode karbonisasi hidrotermal serta aktivasinya menggunakan NaOH pada berbagai perlakuan waktu dan temperatur karbonisasi. Material yang telah melalui proses preparasi dikarakterisasi menggunakan analisis *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Brunauer Emmet Teller* (BET) dan analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM). Pada proses preparasi material biomassa melalui berbagai variasi waktu dan temperatur karbonisasi serta aktivasinya, didapatkan material terbaik yaitu pada perlakuan waktu dan temperatur karbonisasi selama 12 jam pada temperatur 200°C. Hasil analisis FT-IR menunjukkan adanya puncak-puncak vibrasi pada material yang menandakan adanya gugus -OH, -CH, =CH, C=O, C=C aromatik dan alifatik pada material. Analisis XRD biomassa menunjukkan adanya puncak difraksi pada sudut difraksi antara 15,7° dan 22,79°, namun cenderung menurun pada sudut difraksi 15,5° setelah melalui perlakuan karbonisasi dan aktivasinya. Analisis BET menunjukkan adanya peningkatan luas permukaan pada biomassaa dan hasil karbonisasi 200°C dari 12,343 m²/g menjadi 22,635 m²/g. Analisis SEM menunjukkan bahwa pada permukaan material biomassa memiliki morfologi permukaan yang cenderung menggumpal dalam fasa sama atau yang biasa disebut agregasi, setelah melalui perlakuan karbonisasi material cenderung memiliki morfologi yang heterogen dengan bentuk yang tidak beraturan, sedangkan setelah melalui perlakuan aktivasi material cenderung memiliki morfologi berbentuk jarum-jarum yang panjang dan meruncing tidak beraturan. Material yang telah dikarakterisasi digunakan sebagai adsorben pada proses adsorpsi zat warna direct oranye dan malasit hijau. Proses adsorpsi zat warna direct oranye dan malasit hijau dipelajari melalui variasi pH, waktu kontak, temperatur, konsentrasi, desorpsi dan regenerasi adsorben serta pengujian selektivitas zat warna. Proses adsorpsi zat warna direct oranye dilakukan pada pH 2 sedangkan zat warna malasit hijau dilakukan pada pH 6. Model kinetika adsorpsi kedua zat warna pada setiap adsorben cenderung mengikuti model kinetika *pseudo second order*. Model isoterm adsorpsi zat warna direct oranye cederung mengikuti model isoterm freundlich sedangkan pada zat warna malasit hijau cenderung mengikuti model isoterm langmuir untuk

adsorben biomassa dan hidrochar dengan nilai ΔH mencapai 6,412 kJ/mol hingga 34,633 kJ/mol yang dapat menandakan bahwa adsorpsi terjadi secara fisika. Proses desorpsi menunjukkan bahwa etanol merupakan pelarut yang cocok untuk digunakan untuk mendesorpsi zat warna direct oranye dan malasit hijau yang terikat pada setiap adsorben yang digunakan. Perlakuan karbonisasi dan aktivasi semakin meningkatkan kemampuan regenerasi adsorben. Pengujian selektivitas zat warna menunjukkan bahwa zat warna malasit hijau lebih mudah terserap dibandingkan dengan zat warna direct oranye. Karakteriasi adsorben menggunakan analisis XRD setelah melalui proses adsorpsi menunjukkan peningkatan puncak difraksi pada sudut difraksi $22,3^\circ$ dan mengalami sedikit pergeseran sudut difraksi pada sudut $16,6^\circ$ yang menunjukkan adanya interaksi kimia yang terjadi ketika proses adsorpsi berlangsung.

Kata kunci : Biomassa, hidrochar, karbonisasi hidrotermal, adsorpsi, direct oranye, malasit hijau.

Situsi : 52 (2003-2020)

LEMBAR PERSEMBAHAN

“Man Jadda wajada!!”

*“Cukuplah Allah bagiku, tidak ada Tuhan selain Dia. Hanya kepada Nya
aku bertawakal ”*
-QS. At-Taubah 9:129-

**“Jadilah yang berlari ketika yang lain berjalan. Yang berjalan dengan pasti
saat yang lain berlari dengan terburu-buru. Yang terjaga saat yang lain
tertidur. Yang terjaga dengan mimpi baru, saat yang lain terjaga tanpa
angan apapun.”**

(Maktabah Sunnah)

**Di dunia ini, kita hidup dalam ketidakpastian
Tak perlu khawatir, sebab Allah telah janjikan perubahan
Bagi hambanya yang mau mengusahakan.**
(Redo Ardiansyah)

Skripsi ini ditulis sebagai tanda syukur saya kepada:

- **Allah ﷺ**
- **Nabi Muhammad ﷺ**

Dan saya persembahkan kepada :

1. **Ayah dan ibuk yang selalu mendoakan, menyayangi aku dan memberikan motivasi untuk diriku.**
2. **Adek Indah yang selalu jadi penyemangat.**
3. **Keluarga Besarku**
4. **Pembimbing (Prof. Aldes Lesbani, Ph.D dan Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si)**
5. **Teman-teman seperjuangan**
6. **Almamaterku (Universitas Sriwijaya)**

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur hanyalah milik Allah Subhanahu Wa Ta'ala, kita memujinya, memohon pertolongan dan ampunan hanya kepada-Nya hingga pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul: "Karbonisasi Hidrotermal Kulit Buah Duku (*Lansium domesticum*) dan Aktivasinya Menggunakan NaOH Sebagai Adsorben Zat Warna Direct Oranye dan Malasit Hijau". Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada **Bapak Prof. Aldes Lesbani, Ph.D dan Ibu Dr. Nurlisa Hidayati, M.Si** yang telah banyak memberikan bimbingan, motivasi, saran dan petunjuk kepada penulis hingga akhirnya tiba masanya srikpsi ini selesai ditulis.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan rahmat dan nikmat-Nya yang begitu besar.
2. Bapak Hermansyah, Ph.D selaku Dekan MIPA Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Hasanudin, M.Si, selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si selaku Sekretaris Jurusan Kimia.
5. Bapak Dr. Dasril Basir, M.Si selaku dosen pembimbing akademik.
6. Seluruh Dosen FMIPA KIMIA yang telah mendidik dan membimbing selama masa perkuliahan.
7. Kak Chosiin dan mbak Novi selaku admin jurusan kimia yang telah banyak membantu dalam kelancaran administrasi.
8. Kedua orang tua (M. Soleh dan Rusma Dewi) atas segala bentuk upaya dan doa yang dilakukan, terimakasih karena telah memberikan banyak pelajaran atas kesabaran dan kasih sayang yang tak terhingga. Hanya Allah Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang bisa membalas semua kebaikan Ayah dan Ibuk. Semoga Anakmu ini dapat menjadi apa yang Ayah dan Ibuk inginkan.

9. Kepada Adikku (Indah Dwi Oktarianti) yang sebentar lagi akan meninggalkan masa SMA, semangat terus dan ambil apa yang baik dari kakakmu ini. Maaf kakak belum bisa jadi contoh yang baik untuk dirimu.
10. Teruntuk seluruh keluarga besarku, terimakasih atas dukungan moril dan materil yang selalu diberikan demi kelancaran perkuliahan. Semoga Allah ﷺ membalaas kebaikan kalian semua.
11. Terkhusus pada TANDA KOMA, Terimakasih karena telah hadir menginspirasi dan menjadi penyemangat. Tetaplah menjadi penyambung kata demi kata menjadi kita, sebagai bentuk paragraf paling sempurna. Ketahuiah bahwa kamu bukan hanya sekadar kata yang menjelma pada sebuah buku.
12. Seluruh teman-teman seperjuangan Kimia 2017, semangat berproses ditunggu kabar baik dari kalian semua. Semoga kita akan kembali dipertemukan dimasa yang akan datang.
13. Kepada Keluarga Besar BO COIN FMIPA UNSRI, maaf tak bisa disebutkan satu persatu namanya. Terimakasih karena telah pernah menerima aku dalam lingkaran kalian. Suatu saat semoga aku akan kembali dipertemukan dengan kalian, orang-orang berpemikiran positif dan selalu semangat dalam hal apapun.
14. Tim Hydrochar Squad (Alfan, Bang Bibul, Elsha) juga kepada Dilla dan oik yang terus bersama, memberi semangat dalam menyelesaikan skripsi ini. Terimakasih karena telah banyak memberikan pengalaman yang luar biasa.
15. Kepada Keluarga Forkom (Apres, Ricky, Putra, Bang Bibul, Alfan, Putri, Utari, Indah, Ipo, Kak Vad, Sisi, Yana, Elsha) terimakasih karena sudah mengajarkan banyak hal tentang kesederhanaan dan kebersamaan, sudah mengisi hari-hari libur dengan kelas-kelas motivasi hehehe, semoga kita dipertemukan kembali suatu hari nanti.
16. Kak Tarmizi, Kak Neza, Kak Fadhil, Kak Fahmi, Kak Normah, Kak Vie, Kak Patimah, Kak Fiko, Kak Erni, Kak Aldi, Kak Rabel yang telah banyak membantu dalam memberi masukkan dan pengalaman selama berada di basecamp.
17. Teruntuk Best Couple basecamp IV (Wak Amri dan Bundo Juju) semangat berpenelitian. Selamat berjuang yaa.

18. Teruntuk adik-adik kakak (Rahmad, Nur, Erika, Riski, Tasya, Rey, Budi, Darmin, Fajar, Mahdi, cici, ufiya, galuh, fira, Ulfa, Nadia, veron), semangat yaa dik.. semoga Allah ﷺ kuatkan pundak kalian untuk mengembangkan amanah akademik dan organisasi yang kalian tempati sekarang. Kalian adalah calon orang-orang hebat!!

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan untuk itu penulis mengharapkan saran dan masukan yang membangun dari para pembaca. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua.

Inderalaya, 15 Maret 2021

Penulis

DAFTAR ISI

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1. Waktu dan Tempat.....	13
3.2. Alat dan Bahan	13
3.2.1. Alat.....	13
3.2.2. Bahan.....	13
3.3. Prosedur Penelitian	13
3.3.1. Preparasi Kulit Buah Duku (<i>Lansium Domesticum</i>)....	13
3.3.2. Karbonisasi Hidrotermal	14
3.3.3. Aktivasi dengan NaOH	14
3.3.4. Penentuan pH pzc Adsorben Kulit Buah Duku, Hidrochar dan Hidrochar Teraktivasi	14
3.3.5. Pembuatan Larutan Stok Zat Warna Direct Oranye dan Malasit Hijau dengan Konsentrasi 1000 ppm.....	14
3.3.6. Penentuan Panjang Gelombang pada Absorbansi Maksimum Zat Warna Direct Oranye dan Malasit Hijau.....	15
3.3.7. Pembuatan Larutan Standar dan Penentuan Kurva Kalibrasi Zat Warna Direct Oranye dan Malasit Hijau.....	15
3.3.8. Adsorpsi Zat Warna Direct Oranye dan Malasit Hijau oleh Material Hidrochar Kulit Buah Duku (<i>Lansium domesticum</i>)	15
3.3.8.1. Pengaruh pH Adsorpsi.....	15
3.3.8.2. Pengaruh Waktu Adsorpsi	16
3.3.8.3. Pengaruh Temperatur dan Konsentrasi Adsorpsi.....	16
3.3.9. Desorpsi Zat Warna Direct Oranye dan Malasit Hijau oleh Kulit Buah Duku, Hidrochar dan Hidrochar Setelah Aktivasi.....	16
3.3.10. Regenerasi Zat Warna Direct Oranye dan Malasit Hijau.....	17
3.3.11.Uji Selektivitas Zat Warna Campuran Direct Oranye	

dan Malasit Hijau terhadap Adsorben Biomassa, Hidrochar dan Hidrochar Teraktivasi NaOH	17
3.3.12. Karakterisasi Adsorben Biomassa, Hidrochar dan Hasil aktivasinya Setelah Mengalami Proses Adsorpsi Zat Warna Direct Oranye dan Malasit Hijau.....	17
3.4. Analisis Data	18
3.4.1. Analisis Data Karakterisasi	18
3.4.2. Analisis Data Adsorpsi	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	21
4.1. Karbonisasi Hidrotermal Kulit Buah Duku (<i>Lansium domesticum</i>)	21
4.2. Analisis <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR) Material Kulit Buah Duku (<i>Lansium domesticum</i>), Hidrochar dan Hidrochar Teraktivasi.....	23
4.3. Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) Material Kulit Buah Duku (<i>Lansium domesticum</i>), Hidrochar dan Hidrochar Teraktivasi.	29
4.4. Analisis <i>Brunauer Emmet Teller</i> (BET) Material Kulit Buah Duku (<i>Lansium domesticum</i>), Hidrochar dan Hidrochar Teraktivasi	31
4.5. Analisis <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) Material Kulit Buah Duku (<i>Lansium domesticum</i>), Hidrochar dan Hidrochar Teraktivasi.....	33
4.6. Penentuan Panjang Gelombang pada Absorbansi Maksimum Zat Warna Direct Oranye dan Malasit Hijau	38
4.6.1. Zat Warna Direct Oranye.....	38
4.6.2. Zat Warna Malasit Hijau.....	38
4.7. Pengaruh pH Optimum Adsorpsi Zat Warna Terhadap Adsorben Biomassa, Hidrochar dan Hidrochar Teraktivasi NaOH.....	39
4.7.1. Zat Warna Direct Oranye.....	39
4.7.2. Zat Warna Malasit Hijau.....	40
4.8. Penentuan pH pzc (<i>Point Zero Charge</i>) Adsorben Biomassa,	

Hidrochar dan Hidrochar Teraktivasi NaOH.....	41
4.9. Pengaruh Waktu Kontak Adsorpsi Zat Warna Direct Oranye dan Malasit Hijau Terhadap Adsorben Biomassa, Hidrochar dan Hidrochar Teraktivasi NaOH	43
4.9.1. Pengaruh Waktu Adsorpsi Zat Warna Direct Oranye dan Malasit Hijau Terhadap Adsorben Biomassa	43
4.9.2. Pengaruh Waktu Adsorpsi Zat Warna Direct Oranye dan Malasit Hijau Terhadap Adsorben Hidrochar pada Temperatur 200°C (HC200).....	45
4.9.3. Pengaruh Waktu Adsorpsi Zat Warna Direct Oranye dan Malasit Hijau Terhadap Adsorben Hidrochar pada Temperatur 250°C (HC250).....	47
4.9.4. Pengaruh Waktu Adsorpsi Zat Warna Direct Oranye dan Malasit Hijau Terhadap Adsorben Hidrochar Teraktivasi pada Temperatur 200°C (ACT200)	48
4.9.5. Pengaruh Waktu Adsorpsi Zat Warna Direct Oranye dan Malasit Hijau Terhadap Adsorben Hidrochar Teraktivasi pada Temperatur 250°C (ACT250)	50
4.10. Pengaruh Konsentrasi dan Temperatur Adsorpsi Zat Warna Direct Oranye dan Malasit Hijau oleh Adsorben Biomassa, Hidrochar dan Hidrochar Teraktivasi NaOH.....	52
4.10.1. Pengaruh Konsentrasi dan Temperatur Adsorpsi Zat Warna Direct Oranye oleh Adsorben Biomassa, Hidrochar dan Hidrochar teraktivasi NaOH.....	52
4.10.2. Pengaruh Konsentrasi dan Temperatur Adsorpsi Zat Warna Malasit Hijau oleh Adsorben Biomassa, Hidrochar dan Hidrochar teraktivasi NaOH.....	60
4.11. Desorpsi Zat Warna Direct Oranye dan Malasit Hijau oleh Adsorben Biomassa, Hidrochar dan Hidrochar Teraktivasi NaOH	69
4.11.1. Desorpsi Zat Warna Direct Oranye oleh Adsorben Biomassa, Hidrochar dan Hidrochar Teraktivasi NaOH	69

4.11.2. Desorpsi Zat Warna Malasit Hijau oleh Adsorben Biomassa, Hidrochar dan Hidrochar Teraktivasi NaOH	70
4.12. Regenerasi Adsorben Biomassa, Hidrochar dan Hidrochar Teraktivasi NaOH pada Adsorpsi Zat Warna Direct Oranye dan Malasit Hijau	72
4.12.1. Regenerasi Adsorben Biomassa, Hidrochar dan Hidrochar Teraktivasi NaOH pada Adsorpsi Zat Warna Direct Oranye	72
4.12.2. Regenerasi Adsorben Biomassa, Hidrochar dan Hidrochar Teraktivasi NaOH pada Adsorpsi Zat Warna Malasit Hijau	73
4.13. Uji Selektivitas Adsorben Biomassa, Hidrochar dan Hidrochar Teraktivasi NaOH Terhadap Zat Warna Campuran Direct Oranye dan Malasit Hijau.....	75
4.14. Analisis Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> Material Biomassa, Hidrochar dan Hidrochar Teraktivasi NaOH Setelah Melalui Proses Adsorpsi.....	77
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	79
5.1. Kesimpulan	79
5.2. Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	86

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Struktur zat warna direct oranye.....	8
Gambar 2. Struktur zat warna malasit hijau	8
Gambar 3. Spektrum material hidrochar	10
Gambar 4. Pola difraktogram hidrochar.....	11
Gambar 5. Klasifikasi isoterm adsorpsi fisika menurut brunauer	12
Gambar 6. Wujud fisik hidrochar hasil karbonisasi oleh variasi waktu dan temperatur karbonisasi pada temperatur 200°C dan 250°C	22
Gambar 7. % Rendemen berat kering material hidrochar hasil karbonisasi hidrotermal	23
Gambar 8. Wujud fisik hasil aktivasi hidrochar temperatur 200°C selama 12 jam (a), hidrochar temperatur 250°C selama 10 jam (b).....	23
Gambar 9. Spetrum FT-IR biomassa dan hidrocha temperatur 200°C, pada bilangan gelombang 2.000-4.000 cm ⁻¹ (a), pada bilangan gelombang 500-2.000 cm ⁻¹ (b), pada bilangan gelombang 500-4.000 cm ⁻¹ (c)	25
Gambar 10.Spetrum FT-IR biomassa dan hidrochar temperatur 250°C, pada bilangan gelombang 2.000-4.000 cm ⁻¹ (a), pada bilangan gelombang 500-2.000 cm ⁻¹ (b), pada bilangan gelombang 500-4.000 cm ⁻¹ (c)	26
Gambar 11.Spetrum FT-IR biomassa, hidrochar temperatur 200°C dan aktivasinya, pada bilangan gelombang 2.000-4.000 cm ⁻¹ (a), pada bilangan gelombang 500-2.000 cm ⁻¹ (b), pada bilangan gelombang 500-4.000 cm ⁻¹ (c)	27
Gambar 12.Spetrum FT-IR biomassa, hidrochar temperatur 250°C dan aktivasinya pada bilangan gelombang 2.000-4.000 cm ⁻¹ (a), pada bilangan gelombang 500-2.000 cm ⁻¹ (b), pada bilangan gelombang 500-4.000 cm ⁻¹ (c)	28
Gambar 13.Difraktogram XRD kulit buah duku dan hidrochar pada temperatur 200°C (a), pada temperatur 250°C (b)	30
Gambar 14.Pola difraktogram XRD hidrochar teraktivasi NaOH, pada temperatur 200°C (a), pada temperatur 250°C (b)	32

Gambar 15.Grafik isoterm adsorpsi-desorpsi N ₂ biomassa kulit buah duku (a), hidrochar pada temperatur 200°C (b), dan aktivasinya (c)	33
Gambar 16.Grafik isoterm adsorpsi-desorpsi N ₂ biomassa kulit buah duku (a), hidrochar pada temperatur 250°C (b), dan aktivasinya (c)	33
Gambar 17.Hasil analisis SEM materia kulit buah duku (a), hidrochar 200°C (b), hidrochar 250°C (c), hidrochar teraktivasi 200°C (d), dan hidrochar teraktivasi 250°C (e).....	35
Gambar 18.Diagram distribusi partikel material biomassa kulit buah duku....	36
Gambar 19.Diagram distribusi partikel material hidrochar pada temperatur 200°C (a), pada temperatur 250°C (b)	36
Gambar 20.Diagram distribusi partikel material hidrochar teraktivasi 200°C (a), material hidrochar teraktivasi 250°C (b).....	37
Gambar 21.Spektrum UV-Vis zat warna direct oranye pada konsentrasi 50 ppm	38
Gambar 22.Spektrum UV-Vis zat warna malasit hijau pada konsentrasi 8 ppm	39
Gambar 23.Pengaruh pH adsorpsi zat warna direct oranye terhadap adsorben biomassa kulit buah duku, hidrochar dan hidrochar teraktivasi NaOH	40
Gambar 24.Pengaruh pH adsorpsi zat warna malasit hijau terhadap adsorben biomassa kulit buah duku, hidrochar dan hidrochar teraktivasi NaOH	40
Gambar 25.Struktur zat warna malasit hijau pada kondisi asam (a), dan basa (b)	41
Gambar 26.Penentuan pH pzc adsorben biomassa, hidrochar dan hidrochar Teraktivasi NaOH.....	42
Gambar 27.Pengaruh waktu adsorpsi zat warna direct oranye (a), zat warna malasit hijau (b), terhadap adsorben biomassa kulit buah duku....	43
Gambar 28.Pengaruh waktu adsorpsi zat warna direct oranye (a), zat warna malasit hijau (b), terhadap adsorben hidrochar pada temperatur 200°C	45

Gambar 29.Pengaruh waktu adsorpsi zat warna direct oranye (a), zat warna malasit hijau (b), terhadap adsorben hidrochar pada temperatur 250°C	47
Gambar 30.Pengaruh waktu adsorpsi zat warna direct oranye (a), zat warna malasit hijau (b), terhadap adsorben hidrochar teraktivasi pada temperatur 200°C.....	49
Gambar 31.Pengaruh waktu adsorpsi zat warna direct oranye (a), zat warna malasit hijau (b), terhadap adsorben hidrochar teraktivasi pada temperatur 250°C.....	50
Gambar 32.Pengaruh konsentrasi dan temperatur adsorpsi zat warna direct oranye oleh adsorben biomassa	52
Gambar 33.Pengaruh konsentrasi dan temperatur adsorpsi zat warna direct oranye oleh adsorben hidrochar pada temperatur 200°C	52
Gambar 34.Pengaruh konsentrasi dan temperatur adsorpsi zat warna direct oranye oleh adsorben hidrochar pada temperatur 250°C	53
Gambar 35.Pengaruh konsentrasi dan temperatur adsorpsi zat warna direct oranye oleh adsorben hidrochar teraktivasi pada temperatur 200°C	53
Gambar 36.Pengaruh konsentrasi dan temperatur adsorpsi zat warna direct oranye oleh adsorben hidrochar teraktivasi pada temperatur 250°C	53
Gambar 37.Pengaruh konsentrasi dan temperatur adsorpsi zat warna malasit hijau oleh adsorben biomassa.....	60
Gambar 38.Pengaruh konsentrasi dan temperatur adsorpsi zat warna malasit hijau oleh adsorben hidrochar pada temperatur 200°C.....	61
Gambar 39.Pengaruh konsentrasi dan temperatur adsorpsi zat warna malasit hijau oleh adsorben hidrochar pada temperatur 250°C.....	61
Gambar 40.Pengaruh konsentrasi dan temperatur adsorpsi zat warna malasit hijau oleh adsorben hidrochar teraktivasi pada temperatur 200°C	61
Gambar 41.Pengaruh konsentrasi dan temperatur adsorpsi zat warna malasit hijau oleh adsorben hidrochar teraktivasi pada temperatur 250°C	62
Gambar 42.Pengaruh jenis pelarut pada proses desorpsi zat warna direct oranye terhadap adsorben biomassa (a), hidrochar temperatur 200°C (b), hidrochar temperatur 250°C (c), hidrochar 200°C	

teraktivasi NaOH (d), adsorben hidrochar 250°C teraktivasi NaOH (e).....	69
Gambar 43.Pengaruh jenis pelarut pada proses desorpsi zat warna malasit hijau terhadap adsorben biomassa (a), hidrochar temperatur 200°C (b), hidrochar temperatur 250°C (c), hidrochar 200°C teraktivasi NaOH (d), hidrochar 250°C teraktivasi NaOH (e).....	71
Gambar 44.Siklus regenerasi adsorben biomassa (a), hidrochar temperatur 200°C (b), hidrochar temperatur 250°C (c), hidrochar 200°C teraktivasi NaOH (d), hidrochar 250°C teraktivasi NaOH (e), terhadap zat warna direct oranye	72
Gambar 45.Siklus regenerasi adsorben biomassa (a), hidrochar temperatur 200°C (b), hidrochar temperatur 250°C (c), hidrochar 200°C teraktivasi NaOH (d), hidrochar 250°C teraktivasi NaOH (e), terhadap zat warna malasit hijau	73
Gambar 46.Spektrum UV-Vis campuran zat warna direct oranye dan malasit hijau terhadap adsorben biomassa (a), hidrochar temperatur 200°C (b), hidrochar temperatur 250°C (c), hidrochar 200°C teraktivasi NaOH (d), hidrochar 250°C teraktivasi NaOH (e).....	75
Gambar 47.Pola difraktogram XRD adsorben biomassa, hidrochar dan hidrochar teraktivasi setelah melalui proses adsorpsi terhadap zat warna direct oranye (a), zat warna malasit hijau (b)	76

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Vibrasi senyawa pada spektrum FT-IR pada berbagai perlakuan waktu dan temperatur karbonisasi.....	29
Tabel 2. Data hasil pengukuran isoterm adsorpsi-desorpsi BET Material biomassa, Hidrochar pada temperatur karbonisasi 200°C dan hasil aktivasinya	34
Tabel 3. Model kinetika adsorpsi zat warna direct oranye terhadap adsorben biomassa kulit buah duku	44
Tabel 4. Model kinetika adsorpsi zat warna malasit hijau terhadap adsorben biomassa kulit buah duku	44
Tabel 5. Model kinetika adsorpsi zat warna direct oranye terhadap adsorben hidrochar pada temperatur 200°C (HC200).....	46
Tabel 6. Model kinetika adsorpsi zat warna malasit hijau terhadap adsorben hidrochar pada temperatur 200°C (HC200).....	46
Tabel 7. Model kinetika adsorpsi zat warna direct oranye terhadap adsorben hidrochar pada temperatur 250°C (HC250).....	47
Tabel 8. Model kinetika adsorpsi zat warna malasit hijau terhadap adsorben hidrochar pada temperatur 250°C (HC250).....	48
Tabel 9. Model kinetika adsorpsi zat warna direct oranye terhadap adsorben hidrochar teraktivasi pada temperatur 200°C (ACT200)	49
Tabel 10. Model kinetika adsorpsi zat warna malasit hijau terhadap adsorben hidrochar teraktivasi pada temperatur 200°C (ACT200)	50
Tabel 11. Model kinetika adsorpsi zat warna direct oranye terhadap adsorben hidrochar teraktivasi pada temperatur 250°C (ACT250)	51
Tabel 12. Model kinetika adsorpsi zat warna malasit hijau terhadap adsorben hidrochar teraktivasi pada temperatur 250°C (ACT250)	51
Tabel 13. Data isoterm direct oranye menggunakan isoterm Langmuir dan Freundlich dengan adsorben biomassa, hidrochar dan hidrochar teraktivasi NaOH.....	54
Tabel 14. Data entalpi (ΔH), entropi (ΔS), energi bebas Gibbs (ΔG), kapasitas adsorpsi (Q_e) zat warna direct oranye terhadap adsorben biomassa kulit buah duku	55

Tabel 15.Data eltalpi (ΔH), entropi (ΔS), energi bebas Gibbs (ΔG), kapasitas adsorpsi (Qe) zat warna direct oranye terhadap adsorben hidrochar pada temperatur 200°C	56
Tabel 16.Data eltalpi (ΔH), entropi (ΔS), energi bebas Gibbs (ΔG), kapasitas adsorpsi (Qe) zat warna direct oranye terhadap adsorben hidrochar pada temperatur 250°C	57
Tabel 17.Data eltalpi (ΔH), entropi (ΔS), energi bebas Gibbs (ΔG), kapasitas adsorpsi (Qe) zat warna direct oranye terhadap adsorben hidrochar teraktivasi pada temperatur 200°C	58
Tabel 18.Data eltalpi (ΔH), entropi (ΔS), energi bebas Gibbs (ΔG), kapasitas adsorpsi (Qe) zat warna direct oranye terhadap adsorben hidrochar teraktivasi pada temperatur 250°C	59
Tabel 19.Data isoterm malasit hijau menggunakan isoterm Langmuir dan Freundlich dengan adsorben biomassa, hidrochar dan hidrochar teraktivasi NaOH.....	63
Tabel 20.Data eltalpi (ΔH), entropi (ΔS), energi bebas Gibbs (ΔG), kapasitas adsorpsi.. (Qe) zat warna malasit hijau terhadap adsorben biomassa kulit buah duku	64
Tabel 21.Data eltalpi (ΔH), entropi (ΔS), energi bebas Gibbs (ΔG), kapasitas adsorpsi (Qe) zat warna malasit hijau terhadap adsorben hidrochar pada temperatur 200°C	65
Tabel 22.Data eltalpi (ΔH), entropi (ΔS), energi bebas Gibbs (ΔG), kapasitas adsorpsi (Qe) zat warna malasit hijau terhadap adsorben hidrochar pada temperatur 250°C	66
Tabel 23.Data eltalpi (ΔH), entropi (ΔS), energi bebas Gibbs (ΔG), kapasitas adsorpsi (Qe) zat warna malasit hijau terhadap adsorben hidrochar teraktivasi pada temperatur 200°C	67
Tabel 24.Data eltalpi (ΔH), entropi (ΔS), energi bebas Gibbs (ΔG), kapasitas adsorpsi (Qe) zat warna malasit hijau terhadap adsorben hidrochar teraktivasi pada temperatur 250°C	68

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Karbonisasi Hidrotermal adalah metode termokimia basah yang menggunakan air sebagai media dengan menggunakan temperatur yang relatif rendah untuk mendapatkan material karbon (Triyono dkk., 2016). Terdapat banyak metode yang digunakan untuk menghasilkan material karbon seperti biofuel, biobriket, biochar, hidrochar dan lain-lain (Huseini *et al.*, 2018). Perbedaan material yang dihasilkan bergantung pada jenis metode, temperatur yang digunakan ketika proses berlangsung, kegunaan serta kestabilan struktur yang dihasilkan (Pauline & Joseph., 2020). Karbonisasi hidrotermal adalah metode yang paling menjanjikan untuk dapat mengubah biomassa menjadi produk yang memiliki nilai tambah (Titirici & Antonietti., 2012). Karbonisasi hidrotermal merupakan teknik yang sangat potensial untuk dikembangkan pada pembuatan material penyerap polutan. Hal ini disebabkan karena karbonisasi hidrotermal dilakukan pada suhu yang relatif rendah, dengan menggunakan air sebagai media karbonisasinya serta mampu menghasilkan material yang kaya akan gugus fungsi yang mengandung oksigen (Sevilla & Titirici., 2012). Salah satu produk padatan yang dihasilkan dari metode karbonisasi hidrotermal berupa hidrochar (HC) yang dihasilkan pada rentang suhu 170-280 °C dengan tekanan yang dihasilkan bernilai 2-5 MPa (Khoshbouy *et al.*, 2019). Hidrochar dapat dimanfaatkan dalam berbagai keperluan, salah satunya dapat digunakan sebagai penyerap bahan pencemar (Islam *et al.*, 2017).

Material hidrochar dapat dipreparasi dari biomassa, dimana material tersebut berasal dari tumbuhan dan hewan. Salah satu contoh dari biomassa diantaranya hasil pertanian, perkebunan, sampah organik, kayu, sekam padi serta kulit buah. Pada dasarnya biomassa merupakan bahan yang jarang dimanfaatkan, sehingga ketersediaan biomassa yang melimpah memerlukan upaya yang maksimal agar memiliki nilai lebih (Nurman., 2011). Menurut para ahli, biomassa telah dilaporkan mengandung berbagai senyawa organik yang dapat meningkatkan kemampuannya dalam menyerap kontaminan zat warna (Shankar *et al.*, 2014). Untuk meningkatkan

kapasitas adsorpsi biomassa maka dapat dilakukan dengan proses karbonisasi hidrotermal dan aktivasi dari biomassa tersebut (Sevilla *et al.*, 2011).

Proses aktivasi secara kimia dengan penambahan asam fosfat atau natrium hidroksida dapat menghasilkan material yang memiliki rendemen yang cukup tinggi, memiliki struktur mesopori dan aman bagi kesehatan lingkungan (Yakout & El-Deen., 2012). Kalderis *et al* (2008) melakukan aktivasi kimia pada ampas tebu yang telah melalui proses karbonisasi hidrotermal dan menghasilkan hidrochar yang memiliki luas permukaan sebesar $173\text{ m}^2/\text{g}$, sedangkan sartika dkk (2014) melakukan kombinasi proses karbonisasi hidrotermal dan aktivasi kimia terhadap ampas tebu menggunakan asam fosfat sehingga didapatkan hidrochar yang teraktivasi dengan luas permukaan sebesar $903,48\text{ m}^2/\text{g}$ serta kapasitas adsorpsi terhadap zat warna metilen biru mencapai $170,40\text{ mg/g}$ dan kapasitas teradsorpsi terhadap iod sebesar $951,99\text{ mg/g}$. Hal ini menunjukan bahwa hidrochar dapat menjadi material yang sangat bermanfaat dalam penghilangan kontaminan zat warna tekstil.

Zat warna yang sangat sering digunakan pada industri tekstil diantaranya congo merah, metil merah, metil oranye, metilen biru, direct merah, direct oranye dan malasit hijau. Zat warna direct oranye merupakan pewarna tekstil yang mempunyai sifat reaktif (Srinivasan *et al.*, 2019). Direct oranye tergolong kedalam senyawa diazo yang memiliki toksisitas dan bersifat karsinogenik (Hubbe *et al.*, 2019). Malasit hijau adalah salah satu zat warna yang banyak digunakan di berbagai bidang tekstil terutama sebagai bahan pewarna untuk sutra, wol dan kulit atau sebagai agen antibakteri dan antimikroba dalam industri perikanan (Eltaweil *et al.*, 2020). Namun, malasit hijau berpotensi sebagai bahan teratogenik dan karsinogenik yang dapat menyebabkan kerusakan pada hati, ginjal dan jantung serta menyebabkan iritasi pada kulit, kerusakan paru-paru dan tulang (Santoso *et al.*, 2020). Dengan demikian, dibutuhkan teknik untuk menghilangkan limbah zat warna dari lingkungan perairan.

Salah satu metode yang efektif untuk menghilangkan limbah zat warna adalah metode adsorpsi. Keefektifan metode adsorpsi dapat ditentukan oleh sifat-sifat adsorben, semakin besar luas permukaan adsorben maka akan semakin besar kapasitas adsorpsinya. Penelitian ini akan menggunakan limbah kulit duku

(*Lansium domesticum*) yang telah melalui proses karbonisasi hidrotermal dan aktivasi kimia sehingga menghasilkan hidrochar untuk digunakan sebagai adsorben limbah zat warna direct oranye dan malasit hijau. Hidrochar yang dihasilkan dari kulit duku diharapkan dapat memiliki luas permukaan yang besar, porositas yang baik serta kapasitas adsorpsi yang tinggi setelah melalui proses aktivasi. Material selanjutnya dikarakterisasi dengan menggunakan analisis *Fourier Transform-Infra Red* (FT-IR) untuk menganalisa gugus fungsi yang terdapat pada adsorben, analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk melihat kestabilan struktur dari material, analisis *Brunauer Emmet Teller* (BET) untuk menganalisa luas permukaan, diameter pori serta volume pori dari material dan analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk menganalisa topografi permukaan serta unsur-unsur yang terkandung didalam material yang dianalisis. Setelah melalui proses karakterisasi material kemudian diaplikasikan sebagai adsorben zat warna direct oranye dan malasit hijau. Setelah dikarakterisasi kemudian dilakukan pengamatan perubahan parameter kinetika serta termodinamikanya meliputi pengaruh waktu adsorpsi, konsentrasi adsorpsi dan temperatur adsorpsi. Adsorben yang telah diadsorpsi selanjutnya didesorpsi untuk melepaskan kembali zat warna yang terserap dengan pemilihan beberapa pelarut organik seperti etanol dan aseton serta pelarut anorganik seperti NaOH 0,1 M, HCl 0,1 M dan akuades, selanjutnya dilakukan regenerasi terhadap adsorben yang telah didesorpsi untuk melihat kestabilan adsorben dalam pemakaiannya secara berulang. Regenerasi pada proses adsorpsi dilakukan untuk mengaktifkan kembali situs aktif yang terdapat pada adsorben sehingga dapat digunakan kembali. Adsorben yang telah dilakukan proses adsorpsi terhadap zat warna direct oranye dan malasit hijau dikarakterisasi menggunakan analisis XRD untuk melihat interaksi yang terjadi antara adsorben dengan zat warna yang diadsorpsi.

1.2. Rumusan Masalah

1. Belum maksimalnya pemanfaatan biomassa kulit buah duku menjadi bahan yang memiliki nilai jual yang tinggi
2. Metode adsorpsi merupakan metode yang paling menjanjikan dalam upaya penghilangan zat warna, serta keberadaan material adsorben yang

mudah ditemui seperti biomassa kulit buah duku menjadikan suatu hal yang menarik untuk dikembangkan

3. Penggunaan material adsorben secara berulang dalam menyerap zat warna dapat menambah nilai lebih dari adsorben yang digunakan. Semakin stabil adsorben digunakan secara berulang menandakan semakin banyaknya jumlah zat warna yang dapat dihilangkan.
4. Kecocokan antara sifat-sifat zat warna dengan adsorben yang digunakan merupakan hal yang dapat mempengaruhi banyaknya jumlah zat warna yang teradsorpsi.

1.3. Tujuan Penelitian

1. Preparasi hidrochar dari kulit buah duku (*Lansium domesticum*) dengan metode karbonisasi hidrotermal dan karakterisasinya menggunakan analisis FT-IR, XRD, BET dan SEM.
2. Mempelajari adsorpsi zat warna direct oranye dan malasit hijau oleh adsorben hidrochar melalui pengaruh pH, pengaruh waktu adsorpsi, pengaruh konsentrasi serta pengaruh temperatur.
3. Mempelajari proses desorpsi dan regenerasi adsorben hidrochar terhadap zat warna direct oranye dan malasit hijau.
4. Mempelajari selektivitas zat warna direct oranye dan malasit hijau terhadap proses adsorpsi dengan menggunakan adsorben biomassa kulit buah duku, hidrochar dan hasil aktivasinya.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai proses preparasi material hidrochar dan penerapannya sebagai adsorben zat warna direct oranye dan malasit hijau untuk menghilangkan kontaminan zat warna.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M. H. M., Al-saad, K., Popelka, A., & Tilborg, G. Van. (2016). Application of Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy and Atomic Force Microscopy in Stroke- Affected Brain Tissue . *Journal of Medicine and Medical Sciences*, 2(2), 11–24.
- Allafchian, A., Mousavi, Z. S., & Hosseini, S. S. (2019). Application of Cress Seed Musilage Magnetic Nanocomposites for Removal of Methylene Blue Dye from Water. *International Journal of Biological Macromolecules*, 136, 199–208.
- Ariyanto, T., Prasetyo, I., & Rochmadi, R. (2012). Pengaruh Struktur Pori terhadap Kapasitansi Elektroda Superkapasitor yang Dibuat dari Karbon Nanopori. *Reaktor*, 1(14), 25–32.
- Asip, F., Mardhiah, R., & Husna. (2008). Uji Efektifitas Cangkang Telur dalam Mengadsorpsi Ion Fe dengan Proses Batch. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(2), 22–26.
- Basso, D., Weiss-Hortala, E., Pattuzi, F., Castello, D., Baratieri, M., & Fiori, L. (2015). Bioresour. *Technol.* 182, 217-24.
- Cyprianus, S., & Muzakky, M. (2010). Proses Desorpsi Logam Berat pada Sedimen Sungai Daerah Muria dengan Pelarut Asam. *Ganendra Majalah Iptek Nuklir*, 13(1), 11–18.
- Daneshvar, E., Vazirzadeh, A., Niazi, A., Kousha, M., Naushad., & Bhatnagar, A. (2017). Desorption of Methylene Blue Dye from Brown Macroalga: Effects of Operating Parameters Isotherms Study and Kinetic Modeling. *Journal of Cleaner Production*, 152, 443-453.
- Demirbas, A. (2009). Agricultural Based Activated Carbons for The Removal of Dyes from Aqueous Solutions: A Review. *Journal of Hazardous Materials*, 167(1–3), 1–9.
- Eltaweil, A. S., Mohamed, H. A., Monaem, E. M., & El-Subruit, G. M. (2020). Mesoporous Magnetic Biochar Composite for Enhanced Adsorption of Malachite Green Dye: Charaacterization, Adsorption Kinetic, Thermodynamic and Isotherms. *Advanced Powder Technology The Society of Powder Technology Japan*. 1-11.
- Farikhin, F. (2016). Analisa Scanning Electron Microscope Komposit Polyester dengan Filler Karbon Aktif dan Karbon Non Aktif. *Publikasi Ilmiah*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Funke, A., & Ziegler, F. (2010). Hydrothermal Carbonization of Biomass: A Summary and Discussion of Chemical Mechanism for Process Engineering. *Biofuels Bioproduct & Biorefining-Biofpr*, 4, pp. 160-177.

- Guo, S., Dong, x., Liu, K., Yu, H., & Zhu, C. (2015). Chemical, Energetic, and Structural Characteristics of hydrothermal carbonization solid products for lawn grass, *BioResources*. 10(3), pp. 4613–4625.
- Hasyim, U. H., & Fitriyano, G. (2017). Pengaruh Konsentrasi HCl dan Massa Adsorben dalam Pengolahan Limbah Pelumas Bekas dengan Kajian Keseimbangan Adsorpsi Bentonit Terhadap Logam Fe. *Jurnal Integrasi Proses*. 6(4): 191-196.
- Hubbe, M. A., Chandra, R. P., Dogu, D., & Velzen, S. T. J. (2019). Analytical Staining of Cellulosic Materials: a Review. *Bioresources*. 14(3): 7387-7464.
- Huseini, R. M., Marjuki, E. I., Iryawan, D., & Hendrawati, T. Y. (2018). Pengaruh Variasi Temperatur Pengolahan Hidrotermal Ampas Kopi Terhadap Yield Energi untuk Bahan Baku Pembuatan Biobriket. *Jurnal UMJ*. 2407-1846.
- Hwang, I. H., Aoyama, H., Matsuto, T., Nakagishi, T., & Matsuo, T. (2012). Recovery of Solid Fuel from Municipal Solid Waste by Hidrothermal Treatment Using Subcritical Water. *Waste Management*. 32(3), pp. 410-416.
- Irawan, A. (2019). Kalibrasi Spektrofotometer Sebagai Penjamin Mutu Hasil Pengukuran Dalam Kegiatan Penelitian dan Pengujian, *Indonesian Journal of Laboratory*, 1(2), pp. 1–9.
- Islam, M. A., Ahmed, M. J., Khanday, W. A., Asif, M., & Hameed, B. H. (2017). Mesoporous Activated Coconut Shell-Derived Hydrochar Prepared Via Hydrothermal Carbonization-NaOH Activation for Methylene Blue Adsorption. *Journal of Environmental Management*. 203, 237-244.
- Kantakanit, P., Tippayawong, N., Koonaphapdeelert, S., & Pattiya, A. (2018). Hydrochar Generation from Hydrothermal Carbonization of Organic Wastes, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 159(1).
- Islam, Md. A., Ahmed, M. J., Khanday, W. A., Asif, M., & Hameed, B. H. (2017). Mesoporous Activaed Coconut Shell-Derived Hydrochar Prepared via Hydrothermal Carbonization-NaOH Activation for Methylene Blue Adsroption. *Journal of Enviromental Management*. 203, 237-244.
- Kalderis, D., Bethanis, S., Paraskeva, P., & Diamadopoulos, E. (2008). Production of Activated Carbon from Bagasse and Rice Husk by A Single Stage Chemical Activation Method at Low Retention Times. *Bioers Technol*. 99: 6809-6816.
- Kantakanit, P., Tippayawong, N., Koonaphapdeelert, S., & Pattiya, A. (2018). Hydrochar Generation from Hydrothermal Carbonization of Organic Wastes. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 159.
- Keiliweit, M., Nico, P. S., Johnson, M. G., & Kleber, M. (2010). Dynamic Molecular Stucture of Plant Biomass-Derived Black Carbon (Biochar). *Environ Sci Technol*. 44(4), 1247-1253.

- Khosbouy, R., Takahashi, F., & Yoshikaw, K. (2019). Preparation of High Surface Area Sludge-based Activated Hydrochar via Hydrothermal Carbonization and Application in The Removal of Basic Dye. *Enviromental Research.* 175, 457-467.
- Kusmierek, K., Swiatkowski, A., Wierzbicka, E., & Legocka, I. (2020). Enhanced Adsorption of Direct Orange 26 Dye in Aqueous Solutions by Modified Halloysite. *Physicochem, Probl, Miner, Process.* 56(4), 693-701.
- Kusumaningtyas, M. P. (2017). Analisis Struktur Nano Batu Apung Lombok Menggunakan Metode BET (*Brunauer Emmett Teller*). *Skripsi.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Lam, Y. F., Lee, L. Y., Chua, S. J., Lim, S. S., & Gan, S.. (2016). Insights Into The Equilibrium, Kinetic and Thermodynamics of Nickel Removal by Environmental Friendly Lansium Domesticum Peel Biosorbent. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 127, pp. 61–70.
- Lequin, S., Chassagne, D., Karbowiak, T., Gougeon, R., Brachais, L., and Bellat, J. (2010). Adsorption Equilibria of Water Vapor on Cork. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 58(6): 3438-3445.
- Lyu, F., Yu, H., Hou, T., Yan, L., Zhang, X., & Du, B. (2019). Efficient and Fast Removal of Pb²⁺ and Cd²⁺ from An Aqueous Solution Using A Chitosan/Mg-Al-Layered Double Hydroxide Nanocomposite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 539, 184–193.
- Milovanović, Bojan, and Ivana Banjad Pečur. (2016). Review of Active IR Thermography for Detection and Characterization of Defects in Reinforced Concrete. *Journal of Imaging* 2(2): 1–27.
- Munasir., Triwikantoro., Zainuri, M., & Darminto. (2012). Uji XRD dan XRF pada Bahan Mineral (Batuan dan Pasir) Sebagai Sumber Material Cerdas (CaCO₃ dan SiO₂). *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*. 2(1): 24.
- Nurman, A. (2011). Studi Karakteristik Pembakaran Biomassa Tempurung Kelapa pada *Fluidized Bed Combustor* Universitas Indonesia dengan Partikel *Bed* Berukuran *Mesh* 40-50. *Skripsi.* Depok: Universitas Indonesia.
- Pauline, A. L., & Joseph, K. (2020). Hydrothermal Carbonization of Organic Wastes to Carbonaceous Solid Fuel- A Review of Mechanisms and Process Parameters. *Fuel*, 279.
- Perwira, G, (2014). Analisis Luas Permukaan Arang Aktif Dengan Menggunakan Metode BET (SAA). Semarang.
- Priyono, S., & Prihandoko, B. (2015). Pengaruh Penambahan Serbuk Al₂O₃ dan Na₂CO₃ pada Karakter Termal Prekusor Li₄Ti₅O₁₂. *Prosiding Seminar Nasional Fisika.* 4(1): 2.

- Rahman, S. N. F. A., Wahid, R., & Rahman, N. A. (2015). Drying Kinetics of Nephelium Lappaceum (Rambutan) in A Drying Oven. *Procedia*. 195, 2734-2741.
- Sankari, G., E. Kriahnamoorthy, S. Jayakumaran, S. Gunaeakaran, V.V. Priya, S. Subramanlam, S. Subramanlam, and S.K. Mohan. (2010). Analysis of Serum Immunoglobulins Using Fourier Transform Infrared Spectral Measurements. *Biol. Med.* 2(3): 42-48.
- Santana, R. M. R., Nascimento, G. E. Silva, P. K. A., Lucena, A. L. A., Procopio, T. F., Napoleao, T. H., Duarte, M. M. B., Napoleao, D. C. (2018). Kinetic and Ecotoxicological Evaluation of The Direct Orange 26 Dye Degradation by Fenton and Solar Photo-Fenton Processes. *Reget*. 22(5).
- Santoso, E., Ediati, R., Kusumawati, Y., Bahruji, H., Sulistino, D. O., & Prasetyoko, D. (2020). Review on Recent Advances of Carbon Based Adsorbent for Methylene Blue Removal from Waste Water. *Materials Today Chemistry*. 16.
- Sevilla, M., & Titirici, M. M. (2012). Hydrothermal Carbonization: a Greener Route Towards The Synthesis of Advanced Carbon Materials. *Bol. Grupo Espanol Carbon*. 25: 7-17.
- Sevilla, M., Fuertesa, A. B., & Mokaya, R. (2011). High Density Hydrogen Storage in Super-activated Carbons from Hydrothermally Carbonized Renewable Organic Materials. *Energi Environ. Sci.* 4, 1400-1410.
- Sevilla, M., & Fuertesa, A. B. (2009). The Production of Carbon Materials by Hydrothermal Carbonization of Cellulose. *Carbon*. 47: 2281-2289.
- Srinivasan, P., Basco, A. J., Kalaivizhi, R., Selvi, J. A., & Sivakumar, P. (2019). Adsorption Isotherm and Kinetic Study of Direct Oranye 102 Dyes on TNJ Activated Carbon. *Materials Today: Proceedings*.
- Suharianto. (2019). Perkembangan Indeks Produksi Industri Manufaktur 2017-2019. *Badan Pusat Statistik (BPS)*.
- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana., & Dimyati, A. (2015). Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*. 9(2): 45.
- Titirici, M. M., & Antonietti, M. (2012). Chemistry and Materials Options of Sustainable Carbon Materials Made by Hydrothermal Carbonization. *Chem. Soc. Rev.* 39, 103-116.
- Triyono, B., Gusman, M. H., Hutapea, D., Prawisudha, P., & Pasek, A. D. (2016). *State of The Art* Teknologi Hidrotermal untuk Pengolahan Sampah Kota Menjadi Bahan Bakar Padat. *SNNTM XV*. 435.
- Tyas, A. H., Zaharah, T. A., & Shofiyani, A. (2018). Penentuan Kemampuan Penggunaan Ulang Komposit Kitosan-Karbon pada Proses Adsorpsi Ce(VI). *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 7(2), 61-68.

- Yakout, S. M., & El-Deen, G. S. (2012). Characterization of Activated Carbon Prepared by Phosphoric Acid Activation of Olive Stones. *Arab J Chem.* 1-8.
- Zakaria. (2003). Analisis Kandungan Mineral Magnetik pada Batuan Beku Dengan Metode X-Ray Difraction. *Skripsi*. Kendari: Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Kendari.
- Zhang, B., Dong, Z., Sun, D., Wu, T., & Li, Y. (2017). Enhanced Adsorption Capacity of Dyes by Surfactant-Modified Layered Double Hydroxides from Aqueous Solution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 49(2016), 208–218.