

Pengaruh Kecepatan Pengadukan Terhadap Penyerapan Zat Warna *Methylene Blue* Oleh Selulosa Dari Limbah Kulit Durian (*Durio Zibethinus Murr*)

M. Raffi Heditama, Edi Nasra*, Fitri Amelia, Desy Kurniawati

Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Hamka, Air Tawar, Padang, Sumatera Barat, Indonesia, 25131

*edinasra@fmipa.unp.ac.id

Abstract — Methylene Blue is a dangerous dye produced in the textile industry. Biosorption can be used as one method to overcome textile dye waste. Biosorption is an easy-to-use method, because it is simpler, more economical, and environmentally friendly. Biosorbents that can be used, namely cellulose in durian peel (*Durio zibethinus Murr.*) can be used as an alternative to be used as a biosorbent in the absorption of methylene blue dyes. The purpose of this study was to determine the effect of stirring speed on the absorption of Methylene blue dye using cellulose adsorbents. In the study, methylene blue biosorption was carried out using durian peel cellulose biosorbent (*Durio zibethinus Murr.*) with a batch method at variations in stirring speeds of 50, 100, 150, 200, and 250 rpm. The results of this study obtained a cellulose extract from 90 grams of durian peel the extract resulted in 28.585 grams with a percentage of 31.69%. Results obtained at a speed of 200 rpm obtained an optimum absorption capacity of 25,0948 mg/g.

Keywords — Biosorption, Methylene Blue, Durian peel, Cellulose

I. PENDAHULUAN

Kemajuan industri tekstil telah mengalami perkembangan yang cukup pesat, sehingga memberikan dampak positif dan negatif dalam kehidupan manusia, dalam dampak yang positif manusia dapat meningkatkan kualitas hidup. Namun, efek negatif yang dirasakan adalah berkurangnya tingkat kenyamanan akibat pencemaran pada tanah, air, dan udara [1]. Limbah cair yang banyak dihasilkan oleh industri tekstil salah satu contohnya adalah zat warna, yang diserap dengan tidak baik. [2]. Penggunaan zat warna dalam jumlah besar untuk memberi warna pada produk menjadi sumber dari limbah zat warna dalam industri tekstil. Apabila tidak dikelola dengan baik, hal ini dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan [3].

Methylene Blue adalah salah satu jenis zat warna yang memiliki sifat berbahaya. Zat warna ini umumnya dipakai dalam industri tekstil dan termasuk dalam kelompok molekul yang sulit terurai oleh mikroorganisme. Kondisi ini menyebabkan *Methylene Blue* dapat bertahan dalam beragam kondisi lingkungan [4]. Dalam menangani limbah banyak metode sudah dikaji, di antaranya metode fotokatalisis [5], ekstraksi fase padat [6], filtrasi membran, pertukaran ion, elektrokimia, adsorpsi [7], dan penyisihan biologis.

Biosorpsi dianggap sebagai salah satu metode yang lebih efektif dalam mengatasi zat warna dalam perairan, karena metode ini lebih sederhana, ekonomis, dan memiliki dampak positif terhadap lingkungan. [8]. Dalam metode biosorpsi, digunakan suatu bahan biomassa yang disebut sebagai

biosorben, yang didominasi oleh gugus fungsi. Gugus fungsi inilah yang berperan dalam mengikat biosorbat [9]. Beberapa upaya sedang dilakukan untuk mengatasi keterbatasan penggunaan adsorben komersial dalam aplikasi industri. Salah satu upaya alternatifnya yaitu adsorben potensial yang berasal dari limbah dan produk pertanian [10]. Kulit durian merupakan biomaterial potensial namun kurang dimanfaatkan untuk digunakan sebagai adsorben. Secara proporsional, kulit durian mengandung selulosa yang tinggi (50-60%) [11]. Pemanfaatan kulit durian sebagai biosorben merupakan salah satu alternatif pengolahan limbah zat warna karena biaya yang relatif murah dan ketersediaan yang mudah [9].

II. METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu botol semprot, oven, pipet tetes, batang pengaduk, blender dan grinder, *magnetic stirrer*, peralatan gelas kimia, dan pH meter (MR *Hei Standart*), Soxhlet, neraca analitik (ABS 220-4 ayakan (BS410), desikator, *shaker* (VRN-480), adapun instrument yang digunakan yaitu, FTIR (*Fourier-Transform Infrared Spectroscopy*), Spektrofotometer UV-VIS. Bahan yang digunakan yaitu limbah kulit buah durian (*Durio zibethinus Murr*), $\text{HNO}_{3(l)}$, etanol, toluena, H_2O_2 dan $\text{NaOH}_{(s)}$, kertas saring Whatmann, Aquades, dan zat warna *Methylene Blue*

B. Prosedur Kerja

1. Preparasi Sampel

Kulit durian yang telah terkumpul sebagai bahan dalam penelitian ini akan dibersihkan dahulu dengan mencucinya menggunakan air, tujuannya adalah untuk membuang pengotor yang melekat pada kulit durian tersebut. Setelah dibersihkan, kulit durian dipotong menjadi bagian kecil-kecil, kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari selama ± 2 hari, kemudian di oven pada suhu 100°C hingga kadar air berkurang dan berat dari kulit durian stabil. Kulit durian dihaluskan dengan blender dan grinder, dan diayak dengan ukuran $180\ \mu\text{m}$ [12].

2. Ekstraksi Selulosa Kulit Durian

Tahap *Dewaxing* (Pengilangan Senyawa Ekstraktif)

Sebanyak 15 gram serbuk kulit durian diekstraksi dengan 180 mL etanol-toluena dengan perbandingan (1:2) pada temperature 85°C dalam selang waktu 4 jam menggunakan *soxhlet*. Residu yang didapatkan selanjutnya dikeringkan pada suhu 60°C dalam selang waktu 4 jam. Setelah itu, sample ditimbang dan rendemen sampel dihitung.

Tahap Delignifikasi

Residu yang telah terbebas dari senyawa ekstraktif dilarutkan dengan larutan NaOH 4% (1:10). Selanjutnya, panaskan dengan temperatur 85°C dalam selang waktu 2 jam. Kemudian dibiarkan selama 24 jam dan saring. Residu kemudian dicuci menggunakan aquades hingga didapatkan pH sampel netral, kemudian dikeringkan dalam oven dengan temperatur 60°C dalam selang waktu 4 jam, timbang dan hitung rendemen pada sampel.

Tahap *Bleaching* (Pemutihan)

Serbuk kulit durian yang telah melewati tahap delignifikasi selanjutnya dilarutkan dengan larutan H_2O_2 10% dengan perbandingan (1:10). Sampel dipanaskan menggunakan *hotplate* dengan temperatur 60°C dalam selang waktu 2 jam. Sampel kemudian dicuci dengan aquades dan disaring dengan kertas saring hingga pH sampel netral. Dikeringkan dengan temperatur 40°C dalam selang waktu 2 jam dan karakterisasi sampel dengan FTIR [13].

3. Perlakuan Dengan Metode Batch

Kecepatan Pengadukan

Sebanyak 0,2 gram hasil ekstraksi selulosa kulit durian dikontak dalam larutan *Methylene Blue* sebanyak 25 mL pada pH dan konsentrasi larutan optimum. Setiap larutan dikontakkan dengan sistem *batch*, larutan di *shaker* pada kecepatan (50, 100, 150, 200, 250) rpm selama 30 menit. selanjutnya saring larutan, lalu tampung filtratnya. Filtrat diukur dengan Panjang gelombang 664 nm menggunakan Spektrofotometer UV-Vis, hingga didapatkan kecepatan pengadukan optimum.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Preparasi dan Ekstraksi Kulit Durian

Preparasi kulit durian dilakukan dengan tahapan dehidrasi. Kulit durian yang telah dikumpulkan kemudian dilakukan pencucian agar membuang pengotor yang ada pada kulit durian. Pada tahap dehidrasi, kulit durian dikeringkan pada sinar matahari ± 2 dengan tujuan untuk mengurangi kandungan air. Kulit durian selanjutnya dikeringkan didalam oven agar dapat memastikan berat kulit durian kering telah konstan. Tujuan pengeringan kulit buah durian agar kulit durian ini bisa digiling menjadi serbuk yang digunakan pada tahap selanjutnya yaitu ekstraksi selulosa.

Ekstraksi selulosa merupakan tahap mengambil ekstrak selulosa yang terkandung didalam suatu sampel yang diinginkan. pada proses ekstraksi selulosa memiliki 3 tahap, yaitu tahap *Dewaxing* (pengilangan senyawa ekstraktif), tahap Delignifikasi, dan tahap *Bleaching* (pemutihan). Proses ini dilakukan secara bertahap yang dimulai dari tahap *Dewaxing* atau pengilangan senyawa ekstraktif, serbuk kulit durian di *soxhletasi* menggunakan pelarut organik yaitu etanol-toluena dengan perbandingan (1:2) dengan suhu 85°C selama 4 jam. Tahap ini memiliki tujuan untuk mencegah terbentuknya hasil kondensasi dengan lignin selama proses isolasi. Prinsipnya adalah untuk mengekstrak zat lilin, lemak, tannin, dan zat warna. Proses ekstraksi dihentikan ketika semua senyawa zat lilin telah diekstrak, yang dapat diindikasikan dengan perubahan warna pelarut pada alat sifon menjadi jernih. [14].

Tahap delignifikasi atau alkali treatment dilakukan setelah tahap *dewaxing*, tahap delignifikasi menggunakan larutan basa yaitu NaOH 4% yang bertujuan untuk menghilangkan lignin yang terkandung didalam sampel. Lignin dapat dihilangkan atau dikurangi melalui perlakuan alkali dengan menggunakan larutan NaOH karena lignin dalam larutan NaOH akan membentuk garam fenolat yang larut dalam air. Ketika didalam larutan terbentuk garam fenolat maka ikatan antara selulosa dan lignin akan lepas sehingga bisa mendapatkan selulosa bebas lignin [15].

Residu kulit matoa setelah proses alkali berubah warna coklat dan larutan yang dihasilkan ketika proses ini berwarna coklat tua, ini menandakan bahwa hemiselulosa dan lignin yang terkandung didalam sampel larut menggunakan larutan NaOH. Tahap terakhir yaitu *Bleaching* atau pemutihan menggunakan H_2O_2 yang bertujuan menghilangkan kandungan lignin dan hemiselulosa yang masih tersisa setelah proses delignifikasi sekaligus memutihkan sampel kulit durian. Pada tahap delignifikasi dan *Bleaching* residu hasil penyaringan dilakukan pembilasan menggunakan aquades guna menghilangkan sisa-sisa larutan yang masih menempel pada residu saat proses ekstraksi dilakukan serta menetralkan pH pada residu, sehingga tidak ada pengotor yang melekat pada selulosa kulit durian yang diekstrak [13].

Penelitian dalam tahap ekstraksi selulosa kulit durian yang dilakukan didapatkan hasil ekstraksi dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Hasil Ekstraksi Selulosa Kulit Durian

TABEL I
HASIL EKSTRAKSI SELULOSA KULIT DURIAN

Sampel	Berat Awal	Berat hasil ekstraksi	Selulosa (%)
Kulit Buah Durian	90 gram	28,525 gram	31,69

Pada penelitian ini didapatkan selulosa hasil ekstraksi dari 90 gram serbuk kulit durian didapatkan hasil akhirnya sebanyak 28,525 gram dengan hasil rendemen 31,69 %. Saat terjadi perbedaan hasil rendemen yang diperoleh dapat dipengaruhi jenis dari kulit durian, letak geografis, masa panen, musim serta kondisi lingkungan tumbuhan tumbuh [16].

Kulit durian yang sudah diekstrak kemudian dianalisa secara kualitatif dengan menggunakan pereaksi iodium. Uji iodium bertujuan untuk mengidentifikasi jenis polisakarida. Uji iodium mempunyai prinsip yaitu terjadinya kondensasi iodin dengan karbohidrat sehingga menghasilkan warna yang spesifik, yang bisa dilihat pada tabel II.

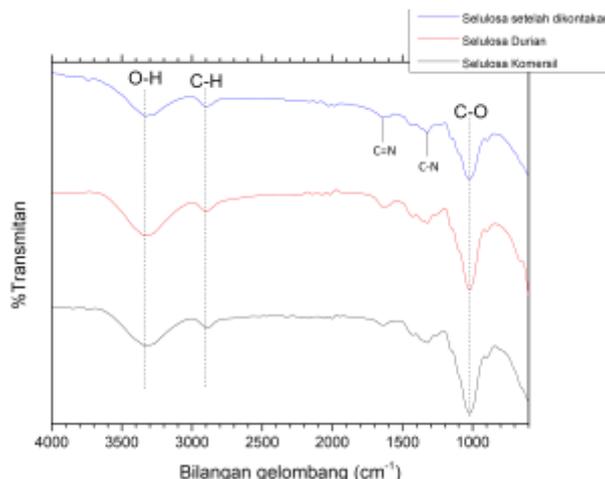
TABEL II
UJI IDENTIFIKASI SELULOSA

Sampel	Hasil Tes Iodium
Ekstrak selulosa kulit durian	Positif (Terbentuk warna coklat)

Hasil yang didapatkan pada uji iodin berwarna coklat yang menunjukkan positif mengandung selulosa. Hasil uji iodium berwarna biru menandakan positif terbentuk senyawa amilum, warna merah kecoklatan menghasilkan senyawa glikogen serta penambahan iodin pada selulosa menghasilkan senyawa kompleks yang berwarna coklat [17]

B. Karakterisasi Selulosa Kulit Durian

Karakterisasi menggunakan FTIR dilakukan pada bilangan gelombang 4000-600 cm^{-1} . FTIR bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan selulosa yang nantinya akan dibuktikan dengan teridentifikasinya gugus fungsi yang berperan dalam proses penyerapan ekstrak selulosa dari kulit durian pada kondisi sebelum dan sesudah dikontakkan serta membandingkan dengan selulosa komersial. Karakterisasi yang didapatkan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. Spektrum Analisa FTIR Selulosa Kulit Durian

TABEL III
DAERAH SERAPAN FTIR KULIT DURIAN

Ikatan dan Jenis Gugus Fungsi	Selulosa Komersial	% T	Ekstra kksi Selulosa	% T	Selulosa setelah dikontakkan	% T
O-H stretching	3331,23 cm^{-1}	83,37	3332,77 cm^{-1}	81,27	3328,23 cm^{-1}	83,10
C-H stretching	2891,32 cm^{-1}	91,01	2899,68 cm^{-1}	90,60	2900,11 cm^{-1}	86,86
O-H bending	1638,15 cm^{-1}	92,16	1634,18 cm^{-1}	92,27	1636,79 cm^{-1}	82,58
C-H bending	1320,96 cm^{-1}	84,73	1322,38 cm^{-1}	86,22	1322,04 cm^{-1}	75,70
C-O	1021,88 cm^{-1}	54,59	1021,85 cm^{-1}	60,63	1023,77 cm^{-1}	58,54

Karakterisasi pertama diuji pada selulosa komersial (garis warna hitam) menggunakan instrument FTIR. Karakterisasi FTIR dilakukan dengan tujuan membandingkan antara selulosa komersial dan selulosa kulit durian yang telah diekstraksi. Hasil identifikasi FTIR mengindikasikan terdapat gugus O-H stretching yang teramati pada 3331,23 cm^{-1} dengan nilai transmittan sebesar 83,37%. Selanjutnya, terdapat gugus C-H stretching 2891,32 cm^{-1} dengan transmittan sebesar 91,01%. Pada 1638,15 cm^{-1} dengan transmittan sebesar 92,16%, terdapat gugus O-H bending, dan gugus C-H bending terlihat pada 1320,96 cm^{-1} dengan transmittansi sebesar 84,73%. Gugus C-O-C terlihat pada bilangan 1021,88 cm^{-1} dengan transmittan sebesar 54,59%. Gugus-gugus seperti gugus -OH, -CH, dan C-O-C yang terdeteksi adalah gugus inti penyusun selulosa [18].

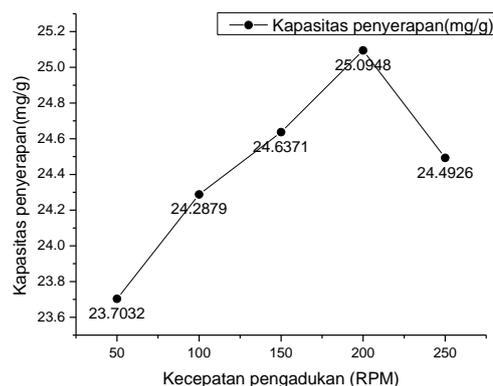
Berdasarkan hasil analisis FTIR yang kedua dapat diidentifikasi pada ekstraksi selulosa kulit buah durian (garis warna merah) teridentifikasi terdapat gugus O-H stretching pada selulosa yang terlihat pada 3332,77 cm^{-1} dengan transmittan 81,27% T. Serapan pada 2899,68 cm^{-1} dengan transmittan 90,69% T adanya gugus fungsi C-H stretching. pada 1634,18 cm^{-1} dengan transmittan 92,27% T terdapat

gugus O-H *bending* dan spektrum ini juga bisa diidentifikasi bahwa adanya pembengkokan air yang terserap selulosa. pada puncak serapan gugus C-H *bending* terjadi vibrasi ulur pada $1322,38\text{ cm}^{-1}$ dengan transmittan 86,22% T. Serta gugus C-O berada pada $1021,85$ dengan transmittan 60,63% T. Dari beberapa gugus fungsi yang diperoleh mengindikasikan bahwa terdapat senyawa yang terkandung selulosa. Gugus fungsi O-H, C-H, dan C-O adalah gugus utama untuk selulosa. Pada hasil FTIR yang ditampilkan dapat dilihat bahwa spektrum selulosa komersial dan selulosa hasil ekstraksi tidak terlihat adanya puncak Gugus fungsi yang menandakan masih adanya senyawa lain yang terikat seperti lignin dapat ditandai dengan adanya gugus C=C dari senyawa aromatik yang berada kisaran Panjang gelombang $1509-1609\text{ cm}^{-1}$ serta hemiselulosa yang terlihat pada $1700-1740\text{ cm}^{-1}$ [19].

Berdasarkan analisis yang ketiga yang dihasilkan oleh data FTIR pada selulosa kulit durian setelah dikontakkan (garis warna biru) terjadi pergeseran bilangan gelombang yang menandakan terjadinya interaksi antara situs aktif yang ada pada zat warna *methylene blue* dengan gugus aktif yang ada pada selulosa kulit durian dengan teridentifikasinya gugus O-H *stretching* pada selulosa setelah dikontakkan dengan *methylene blue* pada $3328,23\text{ cm}^{-1}$ dengan transmittan 83,10 %. Pada gugus C-H *stretching* juga terjadi pergeseran pada $2900,11\text{ cm}^{-1}$ dengan transmittan 86,86 %. Selanjutnya gugus O-H *bending* terdeteksi pada $1636,79\text{ cm}^{-1}$ dengan transmittan 82,58 %. Serta pada $1322,04\text{ cm}^{-1}$ terdapat gugus C-H *bending* dengan transmittan 75,70 %. Pergeseran juga terjadi pada gugus C-O-C yang terdeteksi pada $1023,77\text{ cm}^{-1}$ dengan transmittan 58,54 %. Pergeseran puncak yang terdeteksi pada masing-masing spektrum memperlihatkan bahwa adanya interaksi pada zat warna *methylene blue* dengan sisi aktif pada biosorben selulosa kulit durian [20]. Tanda selulosa telah berkontak dengan *methylene blue* ditandai dengan munculnya puncak vibrasi N=C pada bilangan gelombang $1636,79\text{ cm}^{-1}$, dan puncak vibrasi N-C pada bilangan gelombang $1322,04\text{ cm}^{-1}$ yang mana puncak vibrasi ini merupakan salah satu gugus dari *methylene blue*.

C. Pengaruh Kecepatan Pengadukan dalam Penyerapan Zat Warna Methylene Blue

Kecepatan pengadukan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kapasitas penyerapan. Kecepatan pengadukan berpengaruh agar adsorben dari selulosa kulit durian (*Durio zibethinus Murr.*) dapat tersebar secara merata di seluruh bagian dan mampu menyerap zat warna *methylene blue* dengan menyeluruh sehingga kapasitas penyerapan yang didapat juga maksimal. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan kecepatan pengadukan pada nilai 50, 100, 150, 200, dan 250 rpm, dalam kondisi pH 5 dengan konsentrasi zat warna sebanyak 250 mg/L. Dampak dari variasi kecepatan pengadukan terhadap proses penyerapan zat warna *methylene blue* dijelaskan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh Kecepatan pengadukan larutan terhadap penyerapan *Methylene Blue* menggunakan Selulosa dari Kulit Durian (*Durio zibethinus Murr.*)

Gambar 3 memperlihatkan bahwa kapasitas penyerapan paling tinggi berada pada kecepatan 200 rpm dengan kapasitas 25,0948 mg/g dan presentase 80,56 % telah mencapai titik kesetimbangan antara ion zat warna dengan situs aktif selulosa dari kulit durian. Tampak kenaikan kapasitas penyerapan dari kecepatan 50 rpm ke 200 rpm. Berdasarkan teori, hal ini terjadi pada kondisi kecepatan pengadukan yang semakin tinggi menyebabkan potensi selulosa berikatan dengan zat warna semakin tinggi juga. Akan tetapi, potensi selulosa akan menarik zat warna juga lebih tinggi sehingga gugus selulosa yang berperan dalam menarik ion zat warna akan lebih cepat jenuh sehingga mengakibatkan selulosa tidak dapat menarik ion zat warna. Karena ion zat warna tidak berikatan menyeluruh dengan situs yang berperan pada selulosa, sehingga selulosa akan melepaskan ion zat warna dimana mengakibatkan terjadinya penurunan penyerapan setelah mengalami kondisi optimum dan apabila telah mencapai pada titik kesetimbangan, maka penyerapan akan mengalami penurunan [21]. Pada kecepatan pengadukan 250 rpm mengalami penurunan. Kecepatan pengadukan yang terlalu cepat menyebabkan tumbukan antar partikel adsorbat dengan partikel adsorben [22]. Saat terjadinya penyerapan, tinggi dan rendahnya pengadukan mempengaruhi ikatan kimia yang terjadi. Ion *methylene blue* yang berada disekitar selulosa kembali terlepas yang dipengaruhi oleh kecepatan pengadukan.

IV. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini didapatkan ekstrak selulosa dari 90 gram kulit durian didapatkan hasil ekstrak sebanyak 28,525 gram dengan persentase 31,69 % penyerapan *methylene blue* menggunakan selulosa dari kulit durian didapatkan kapasitas penyerapan optimum sebesar 25,0948 mg/g yaitu pada keadaan kecepatan pengadukan 200 rpm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya ingin mengucapkan terima kasih kepada Bapak Edi Nasra, M.Si, S.Si., selaku dosen pembimbing dalam penyusunan artikel riset ini. Juga, rasa terima kasih saya sampaikan atas dukungan dan fasilitas yang diberikan oleh

tim analisis di Laboratorium Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

REFERENSI

- [1] A. F. Widiyanto, S. Yuniarno, and K. Kuswanto, "Polusi Air Tanah," *J. Kesehat. Masy.*, vol. 10, no. 2, p. 246, 2015.
- [2] S. B. Etika and E. Nasra, "Utilization of C-Cinnamal Calix[4] Resorcinarene as Adsorbent for Methanil Yellow," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1788, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1788/1/012012.
- [3] N. A. Youssef, S. A. Shaban, F. A. Ibrahim, and A. S. Mahmoud, "Degradation of methyl orange using Fenton catalytic reaction," *Egypt. J. Pet.*, vol. 25, no. 3, pp. 317–321, 2016, doi: 10.1016/j.ejpe.2015.07.017.
- [4] B. C. S. Ferreira, F. S. Teodoro, A. B. Mageste, L. F. Gil, R. P. de Freitas, and L. V. A. Gurgel, "Application of a new carboxylate-functionalized sugarcane bagasse for adsorptive removal of crystal violet from aqueous solution: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies," *Ind. Crops Prod.*, vol. 65, no. 1, pp. 521–534, 2015, doi: 10.1016/j.indcrop.2014.10.020.
- [5] Hardeli, A. Ramadhani, D. Kurniawati, N. Andriko, and H. Sanjaya, "Degradasi Methyl Violet dan Methylen Blue Oleh Fotokatalis TiO₂," *Eksakta*, vol. 1, pp. 107–114, 2014.
- [6] S. Safitri, D. Sri, B. Etika, and M. Si, "Pengujian Senyawa C-Sinamalkaliks [4] Resorsinarena Hasil Sintesis Dari Limbah Minyak Kayu Manis (Cinnamomum Burmanii) Sebagai Antioksidan," vol. 10, no. 2, pp. 1–6, 2022.
- [7] E. Nasra, D. Kurniawati, S. B. Etika, R. Silvia, and A. Rahmatika, "Effect of pH and Concentration on Biosorption Malachite Green and Rhodamine B Dyes using Banana Peel (Musa balbisiana Colla) as Biosorbent," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1788, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1788/1/012003.
- [8] Y. Zhou and M. Zhang, "Response to 'Comment on 'removal of Crystal Violet by a Novel Cellulose-Based Adsorbent: Comparison with Native Cellulose,'" *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 55, no. 4, p. 1148, 2016, doi: 10.1021/acs.iecr.5b04874.
- [9] A. Ulya, E. Nasra, A. Amran, and D. Kurniawati, .. "AdsorpsiZat Warna Rhodamine B Dengan Karbon . Aktif Kulit Durian Sebagai Adsorben ...," vol. 11, no. 2, pp. 74–77, 2022.
- [10] A. Kurniawan *et al.*, "Evaluation of cassava peel waste as lowcost biosorbent for Ni-sorption: Equilibrium, kinetics, thermodynamics and mechanism," *Chem. Eng. J.*, vol. 172, no. 1, pp. 158–166, 2011, doi: 10.1016/j.cej.2011.05.083.
- [11] A. Husin and A. Hasibuan, "Studi Pengaruh Variasi Konsentrasi Asam Posfat (H₃PO₄) dan Waktu Perendaman Karbon terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Kulit Durian," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 9, no. 2, pp. 80–86, 2020, doi: 10.32734/jtk.v9i2.3728.
- [12] F. Harahap, S. Bariyah, N. A. Sofyan, and M. Simorangkir, "Pemanfaatan limbah kulit durian dan daun sirsak sebagai biopestisida alami," *J. Biosains*, vol. 5, no. 3, pp. 116–120, 2019.
- [13] R. Sulisty Dhamar Lestari *et al.*, "Pengaruh Konsentrasi H₂O₂ Terhadap Tingkat Kecerahan Pulp Dengan Bahan Baku Eceng Gondok Melalui Proses Organosolv," *J. Integr. Proses*, vol. 6, no. 1, pp. 45–49, 2016, [Online]. Available: <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jip>
- [14] W. R. Kunusa, "Kajian Tentang Isolasi Selulosa Mikrokrystalin (SM) dari Limbah Tongkol Jagung," *Entropi*, vol. 12, no. 1, pp. 105–108, 2017.
- [15] B. Yusuf, Allimuddin, C. Saleh, and D. R. Rahayu, "Pembuatan Selulosa dari kulit Singkong Termomodifikasi 2-Merkaptobenzotiazol Untuk Pengendalian Pencemaran Logam Kadmium (II)," *Carbohydr. Polym.*, vol. 247, no. 2, pp. 169–173, 2020.
- [16] J. Ortiz *et al.*, "Dietary fiber, amino acid, fatty acid and tocopherol contents of the edible seaweeds *Ulva lactuca* and *Durvillaea antarctica*," *Food Chem.*, vol. 99, no. 1, pp. 98–104, 2006, doi: 10.1016/j.foodchem.2005.07.027.
- [17] N. L. M. Desyanti, "Metode Analisis Kualitatif Dan Kuantitatif Karbohidrat," *Kementeri. Kesehat. Republik Indones. Politek. Kesehat. Denpasar Jur. Anal. Kesehat.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–23, 2013.
- [18] F. A. Akbar and E. Nasra, "Pengaruh pH Pada Biosorpsi Ion Logam Cr(VI) Menggunakan Selulosa Hasil Isolasi Kulit Buah Matoa (*Pometia pinnata*)," *Chem. J. Univ. Negeri Padang*, vol. 10, no. 1, pp. 1–6, 2021.
- [19] M. K. Mohamad Haafiz *et al.*, "Microcrystalline cellulose from oil palm empty fruit bunches as filler in polylactic acid," *Polym. Polym. Compos.*, vol. 24, no. 9, pp. 675–680, 2016, doi: 10.1177/096739111602400901.
- [20] A. M. Tanasal, N. La Nafie, and P. Taba, "BIOSORPTION OF Cd(II) ION BY DRAGON FRUIT PEEL (*Hylocereus polyrhizus*)," *J. Akta Kim. Indones. (Indonesia Chim. Acta)*, vol. 8, no. 1, pp. 18–30, 2015, [Online]. Available: <http://journal.unhas.ac.id/index.php/ica/article/view/2478>
- [21] L. Dwi, R. Hayu, E. Nasra, M. Azhar, and S. B. Etika, "Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue Menggunakan Karbon Aktif dari Kulit Durian (*Durio zibethinus Murr .*)," vol. 10, no. 2, pp. 8–13, 2021.
- [22] R. Afrianita and Y. Dewilda, "POTENSI FLY ASH SEBAGAI ADSORBEN DALAM MEYISIHKAN LOGAM BERAT CROMIUM (Cr) PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI," *J. Dampak*, vol. 11, no. 1, p. 67, 2014, doi: 10.25077/dampak.11.1.67-73.2014.