

# Kajian Awal Spektrum Serapan Senyawa Hasil Ekstraksi Daun Sirih (*Piper betle L.*) Asal Kota Kupang

Sulistia Wati<sup>1</sup>, Minsyahril Bukit<sup>2</sup>, Hadi Imam Sutaji<sup>3</sup>

Program Studi Fisika, Universitas Nusa Cendana, Kupang, Indonesia

Email korespondensi: [suls.wati2023@gmail.com](mailto:suls.wati2023@gmail.com)

## Abstrak

Penelitian tentang kajian awal spektrum serapan senyawa hasil ekstraksi daun sirih (*Piper betle L.*) asal kota kupang telah dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan nilai koefisien serapan, dan celah energi senyawa hasil ekstraksi daun sirih. Berdasarkan hasil analisis data spektrum serapannya, jangkauan serapan senyawa ekstrak daun sirih dengan konsentrasi 100 ppm, 200 ppm dan 300 ppm adalah 200 nm sampai 400 nm dengan nilai koefisien serapannya sebesar  $865 \text{ m}^{-1}$  dan nilai celah energinya sebesar 4 eV. Berdasarkan nilai celah energi tersebut senyawa hasil ekstraksi daun sirih asal Kota Kupang merupakan bahan isolator dan kemungkinan bisa dijadikan bahan aktif piranti elektronik dengan penelitian lebih lanjut.

## Masuk:

09 Februari 2023

## Diterima:

05 Maret 2023

## Diterbitkan:

07 Maret 2023

## Kata kunci:

Daun Sirih, Spektrum serapan, ekstraksi, celah energi

## 1. Pendahuluan

Tanaman sirih termasuk dalam kelas Magnoliopsida dan famili Piperaceae. Tanaman sirih termasuk dalam jenis tanaman obat-obatan yang tergolong dalam famili Piperacea, satu famili dengan tanaman lada. Tumbuhan Sirih (*Piper batle L.*) adalah tanaman menjalar atau merambat pada batang pohon di sekelilingnya dengan daunnya yang berbentuk jantung, berujung runcing, tumbuh bersilang-seling, bertangkai di setiap daunnya, teksturnya agak kasar dan mengeluarkan bau jika diremas [1]. Kajian sifat-sifat fisika suatu material meliputi sifat listrik, magnet, optik dan mekanik. Salah satu sifat listrik dan optik material adalah celah energi (energi gap) [2]. Untuk mengkaji sifat listrik khususnya penentuan besarnya celah energi senyawa hasil ekstraksi daun sirih, dapat ditentukan spektrum serapan material senyawa penyusunnya. Spektrum serapan material ini diperoleh dari analisis spektroskopi UV-Vis [3].

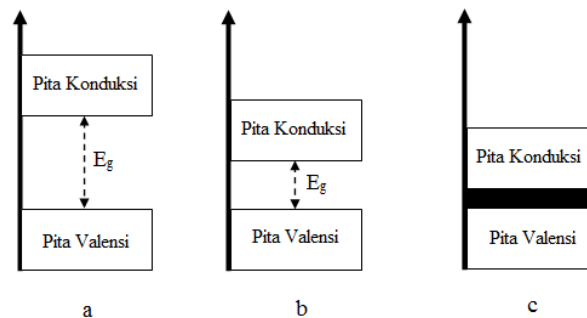
Berdasarkan spektrum serapan suatu material, celah energi suatu material tersebut dapat ditentukan sedangkan berdasarkan nilai celah energi material, dapat ditentukan apakah material ini dapat menghantarkan listrik atau tidak, yaitu jika celah energi  $< 1 \text{ eV}$ , material bersifat konduktor. Jika celah energi berada dalam interval  $1 < E_g < 3 \text{ eV}$ , material bersifat semikonduktor. Celah energi material  $> 3 \text{ eV}$ , material bersifat isolator [2]. Jika senyawa hasil ekstraksi daun sirih memiliki celah energi dalam daerah semikonduktor, maka senyawa tersebut dapat digunakan sebagai bahan aktif dalam piranti elektronik [4]. Tanaman sirih cukup banyak dijumpai di wilayah Kota Kupang. Saat ini belum ada penelitian tentang sifat listrik khususnya celah energi dari senyawa hasil ekstraksi daun sirih asal Kota Kupang. Daun sirih mengandung minyak atsiri, fenil propana, estragol, hidroksikavicol, kavicol, kavibetol, caryophyllene, allylpyrokatekol, cyneole, tanin, cadinene, diastase, pati, terpenena, seskuiterpena, dan gula. Semua zat itu, menyebabkan sirih menjadi salah satu tanaman yang dapat menyehatkan manusia, karena kaya manfaat dan kegunaannya [5].

### 1.1 Ekstraksi dan Evaporasi

Ekstraksi adalah kegiatan penarikan kandungan kimia yang dapat larut sehingga terpisah dari bahan yang tidak dapat larut dengan menggunakan pelarut cair. Untuk mengekstrak senyawa organik tersebut diperlukan pengeksrak yang cocok dengan bahan yang hendak diidentifikasi. Agar proses ekstraksi berlangsung optimal, pelarut yang digunakan adalah pelarut yang memiliki sifat kepolaran sama dengan senyawa yang hendak diidentifikasi [6]. Dalam penelitian ini metode ekstraksi yang digunakan adalah metode ekstraksi maserasi. Proses maserasi merupakan metode yang sederhana dalam suatu proses penarikan komponen dari sampel yaitu cukup dengan menggunakan suatu bejana atau toples. Bahan baku yang sudah dibuat dalam bentuk serbuk dilembabkan terlebih dahulu kemudian di rendam dengan pelarut yang cocok [7]. Remaserasi berarti dilakukan pengulangan penambahan pelarut setelah dilakukan penyaringan maserat pertama dan seterusnya. Setelah diekstraksi larutan kemudian dievaporasi, evaporasi digunakan untuk memisahkan pelarut dengan senyawa terlarut [8].

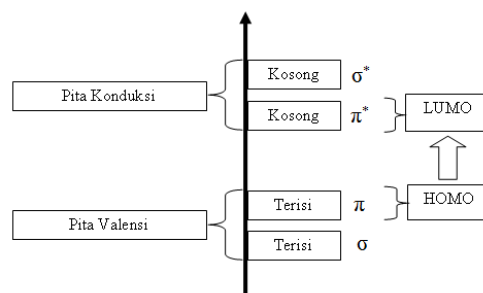
## 1.2 Sifat-Sifat Material Semikonduktor Organik

Berdasarkan daya hantar listrik, material dikelompokkan menjadi tiga bagian yaitu isolator, semikonduktor dan konduktor. Sifat-sifat fisika untuk suatu material pada umumnya ditentukan oleh besarnya konduktivitas listrik ( $\sigma_m$ ) dan celah energi ( $E_g$ ) [9]. Isolator mempunyai konduktivitas listrik  $10^{-18}$  S/cm sampai dengan  $10^{-8}$  S/cm, konduktor mempunyai nilai  $10^4 < \sigma_m < 10^6$  S/cm, dan semikonduktor mempunyai nilai nilai  $\sigma_m$  antara isolator dan konduktor. Sifat-sifat fisika untuk suatu material pada umumnya ditentukan oleh besarnya konduktivitas listrik ( $\sigma_m$ ) dan celah energi ( $E_g$ ). Ketiga jenis material tersebut ditunjukkan pada gambar 1. Celah energi merupakan perbedaan antara ujung atas pita valensi (eV) dengan ujung bawah pita konduksi ( $E_c$ ) atau celah energi adalah energi maksimum yang diperlukan untuk mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Berdasarkan nilai celah energi material ini, dapat ditentukan apakah material dapat menghantarkan listrik atau tidak. Jika celah energi  $< 1$  eV, material bersifat konduktor. Jika celah energi berada dalam interval  $1 < E_g < 3$  eV, material bersifat semikonduktor. Jika celah energi material  $> 3$  eV, maka material bersifat isolator (Sze, 2002). Celah ketiga jenis material tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pita-pita energi a). Isolator, b). Semikonduktor dan c) Konduktor

Berdasarkan gambar 1, material organik mempunyai pita valensi dan pita konduksi. Isolator mempunyai celah energi sangat besar dibandingkan dengan semikonduktor dan konduktor, sehingga jumlah elektron yang berpindah dari ujung atas pita valensi (HOMO) yang terisi ke ujung bawah pita konduksi (LUMO) yang tidak terisi sangat sedikit sehingga bahan isolator tidak dapat menghantarkan listrik. Semikonduktor mempunyai celah energi antara isolator dan konduktor yang menyebabkan beberapa elektron yang menyerap energi dapat berpindah dari pita valensi terisi ke pita konduksi tidak terisi, sehingga bahan semikonduktor dapat menghantarkan arus listrik. Konduktor mempunyai celah energi sangat kecil bahkan tidak ada karena tumpang tindihnya antara pita valensi dan pita konduksi sehingga jumlah elektron yang dapat berpindah dari pita valensi ke pita konduksi sangat banyak dan bahan konduktor dapat menghantarkan arus listrik dengan baik (Sze, 2002). Material semikonduktor organik mempunyai pita valensi dan pita konduksi. Aras pita tertinggi yang dapat diisi elektron pada pita valensi disebut HOMO (*High Occupied Molecular Orbital*). Aras pita terendah dalam pita konduksi yang tidak terisi elektron disebut LUMO (*Lower Unoccupied Molecular Orbital*). Aras-aras energi ikatan suatu material dapat diperhatikan pada Gambar 2 [10]:



Gambar 2. Aras-aras energi ikatan suatu material

### 1.3 Spektrum Serapan dan Celah Energi Material

Spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk mengkaji sifat absorpsi dari material dalam rentang panjang gelombang ultraviolet (mulai sekitar 200 nm) hingga mencakup semua panjang gelombang cahaya tampak (sampai sekitar 700 nm). UV-Vis adalah singkatan dari *ultraviolet-visible*. Metode yang digunakan untuk menentukan konsentrasi serapan material dalam larutan adalah menggunakan hukum Beer-Lambert yang secara matematis dapat ditulis dalam bentuk Pers. 1 (Banwell, 1983).

$$I = I_0 \exp(-\epsilon cl) \quad (1)$$

dengan  $l, c, \epsilon$  masing masing adalah jarak yang dapat ditembusi oleh intensitas cahaya dalam material, konsentrasi material dan koefisien pematian (extinction coefficient). Spektrum serapan material diperoleh dari analisis spektroskopi UV-Vis. Pada spektroskopi, absorbansi (absorbance) ( $A$ ) didefinisikan sebagai logaritma perbandingan antara intensitas cahaya yang ditransmisikan ( $I$ ) dengan intensitas cahaya datang ( $I_0$ ). Secara matematis dapat ditulis

$$A = -\log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right) \quad (2)$$

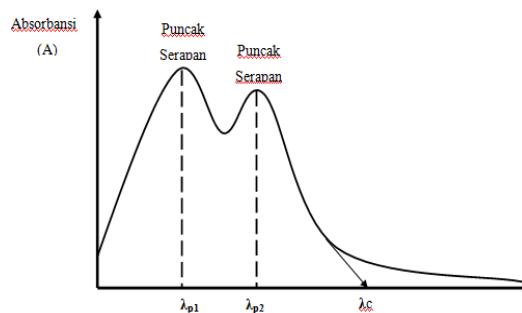
Pada Fisika material, kaitan antara absorbansi dengan koefisien serapan ( $\alpha$ ) dapat ditulis [11]:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\alpha l} \quad (3)$$

Berdasarkan Pers. 1 dan Pers. 3, koefisien serapan suatu material adalah perkalian antara konsentrasi dan koefisien pematian material. Secara matematis koefisien serapan dapat dirumuskan :

$$\alpha = \frac{2,303 A}{l} \quad (4)$$

Pita serapan (*absorption band*) adalah jangkauan panjang gelombang yang ekuivalen dengan frekuensi spektrum elektromagnet yang diserap oleh material. Spektrum serapan material organik seperti yang ditunjukkan pada gambar 3 mempunyai keistimewaan utama yaitu pada panjang gelombang tertentu yaitu pada  $\lambda_{p1}$  dan  $\lambda_{p2}$  terjadi serapan maksimum dan pada  $\lambda_c$  terjadi tepi serapan (*absorption edge*). Celah energi ( $E_g$ ) material dari spektrum serapan material dianalisis pada panjang gelombang ketika terjadi tepi serapan ( $\lambda_c$ ).



Gambar 3. Model Spektrum Serapan Senyawa Organik

Panjang gelombang dimana tepi serapan terjadi disebut panjang gelombang pancung (*cut off wavelength*) ( $\lambda_c$ ) dan dalam satuan nanometer (nm). Kaitan antara celah energi ( $E_g$ ) dan panjang gelombang pancung ( $\lambda_c$ ) dapat ditulis dalam Pers. 5.

$$E_g = \frac{1240}{\lambda_c} \text{ (eV)} \quad (5)$$

## 2. Metode Penelitian

Sampel daun sirih diambil dari Kota Kupang. Kemudian dijemur di bawah sinar matahari. Setelah kering, selanjutnya dihaluskan dengan belender sehingga diperoleh sampel berukuran kecil dan halus. Serbuk daun sirih yang sudah halus kemudian diekstraksi menggunakan proses maserasi, yakni diambil sampel daun sirih yang telah dihaluskan kemudian diekstrak dengan menggunakan pelarut etanol. Selanjutnya cairan hasil ekstraksi ini dievaporasi dengan alat evaporator dan diperoleh ekstrak kental. Sampel daun sirih yang telah dievaporasi akan di analisis spektrum serapannya menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Sampel dibuat tiga perlakuan, yaitu konsentrasi 100 ppm (*Part per Million*), 200 ppm, dan 300 ppm. Masing masing sampel ini dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Koefisien serapan material dapat ditentukan berdasarkan spektrum serapan senyawa daun sirih dengan menggunakan Pers. 4. Sedangkan celah energi dapat dihitung menggunakan Pers. 5.

## 3. Hasil dan Pembahasan

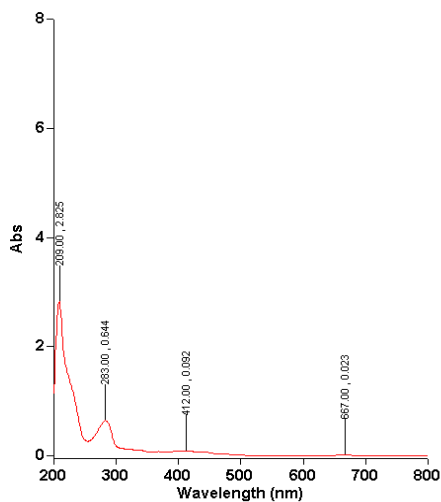
### 3.1 Hasil Ekstraksi dan Evaporasi

Proses ekstraksi menggunakan metode ekstraksi maserasi dengan pelarut etanol 96 % karena memiliki tingkat kepolaran yang sama atau hampir sama dengan senyawa yang akan diteliti. Proses ekstraksi maserasi ini menggunakan serbuk daun sirih sebanyak 1 kg dan dilarutkan dalam 2 L etanol. Proses ekstraksi dilakukan selama 24 jam. Hasil ekstraksi berupa larutan berwarna hijau tua sebanyak 350 mL. Larutan ekstrak daun sirih wangi tersebut kemudian dievaporasi menggunakan evaporator. Proses evaporasi bertujuan untuk memisahkan senyawa daun sirih wangi dari pelarut etanol. Proses ini dilakukan selama 81 menit pada suhu 64 °C. Hasil evaporasi berupa larutan berwarna hitam pekat sebanyak 20 ml. Sampel yang diperoleh lebih sedikit dan masih terlihat encer karena masih mengandung pelarut etanol sehingga dilakukan penguapan lanjutan dengan menggunakan alat freeze drying yang berfungsi untuk menghasilkan sampel yang kental.

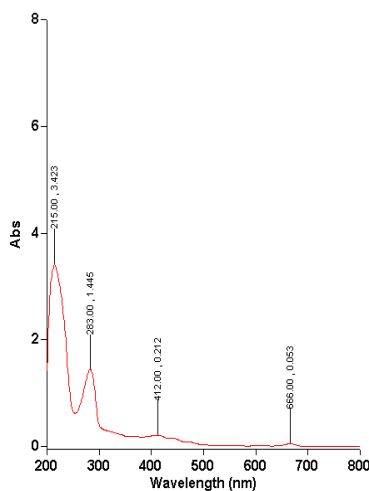
Untuk proses penguapan menggunakan freeze drying, tekanannya sebesar 32 Pa dan suhu yang digunakan sebesar 47,8 °C . Proses freeze drying berlangsung selama 8 jam. Tekanan yang digunakan rendah dengan tujuan agar kandungan air dalam langsung menguap. Suhu yang digunakan juga rendah dengan tujuan menghapus pelarut yang menguap di ruang vakum dengan mengubahnya kembali ke padat. Setelah sampel mengering, sampel ditimbang dan dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis. Sebelum sampel dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis, sampel diencerkan kembali menggunakan pelarut etanol. Pengenceran perlu dilakukan karena untuk dapat menentukan absorbansi dari senyawa yang dikarakterisasi, sinar UV yang ditembakkan dalam spektrofotometer harus melewati sampel sehingga sampel yang dikarakterisasi tidak boleh terlalu gelap. Senyawa daun sirih sebanyak 0,1 gram diencerkan dengan 100 ml etanol, sehingga menghasilkan senyawa daun sirih yang berkonsentrasi 1000 ppm. Sampel dengan konsentrasi 1000 ppm tidak bisa digunakan dalam analisis spektrofotometer UV-Vis sehingga sampel diencerkan lagi menjadi 100 ppm, 200 ppm dan 300 ppm. Kemudian dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Karakterisasi dilakukan di laboratorium Bio Sains dan hasilnya berupa spektrum serapan.

### 3.2 Spektrum Serapan Senyawa Hasil Ekstraksi Daun Sirih

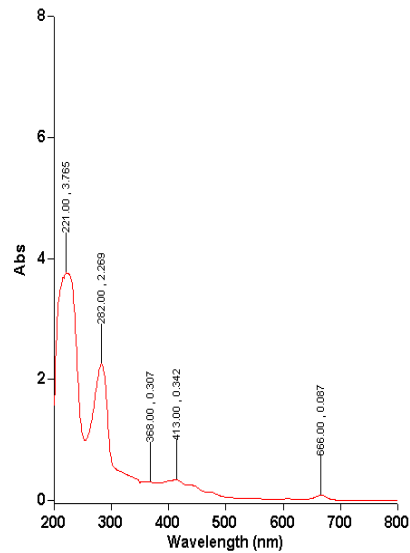
Spektrum serapan senyawa hasil ekstraksi sirih wangi untuk setiap konsentrasi 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm masing masing ditunjukkan pada gambar 4 sampai dengan gambar 6.



Gambar 4. Spektrum serapan senyawa hasil ekstrak daun sirih wangi konsentrasi 100 ppm



Gambar 5. Spektrum serapan senyawa hasil ekstrak daun sirih wangi konsentrasi 200 ppm



Gambar 6. Spektrum serapan senyawa hasil ekstrak daun sirih wangi konsentrasi 300 ppm

### 3.3 Analisis Spektrum Serapan Senyawa Hasil Ekstraksi Daun Sirih Asal Kota Kupang

Berdasarkan spektrum serapan yang ditunjukkan oleh gambar 4 sampai dengan gambar 6, jangkauan serapan senyawa daun sirih wangi adalah 200 nm sampai 400 nm. Senyawa hasil ekstrak daun sirih wangi memiliki serapan yang tinggi pada daerah ultraviolet. Setiap konsentrasi memiliki warna yang berbeda sehingga memiliki daya serap yang berbeda pula. Pada konsentrasi 100 ppm, warna larutan yang terlihat merupakan warna kuning pucat. Pada konsentrasi 200 ppm warnanya kuning dan pada 300 ppm warnanya menjadi lebih kuning kecoklatan dan menjadi lebih pekat dibandingkan dengan konsentrasi 100 ppm. Hal ini dikarenakan semakin besar konsentrasinya maka semakin banyak senyawa yang diserap.

Jika diperhatikan spektrum serapan tersebut memiliki bentuk yang sangat mirip walaupun terdapat tiga perlakuan konsentrasi yang berbeda. Akan tetapi semakin besar konsentrasi yang diberikan, semakin besar pula absorbansinya. Hal ini menunjukkan bahwa absorbansi berbanding lurus dengan konsentrasi larutan yang dikarakterisasi. Pada konsentrasi 100 ppm absorbansinya paling rendah sedangkan pada konsentrasi 300 ppm memiliki absorbansi yang paling tinggi. Berdasarkan gambar 4 sampai dengan gambar 6, spektrum serapan senyawa ekstrak daun sirih wangi memiliki beberapa puncak serapan. Hal ini menunjukkan bahwa ekstrak daun sirih wangi mengandung beberapa senyawa. Oleh karena itu perlu dilakukan isolasi (pemisahan senyawa kimia) terhadap senyawa-senyawa tersebut akan tetapi dalam penelitian ini tidak dilakukan proses isolasi. Pada ketiga gambar ini juga memiliki panjang gelombang tepi serapan sama yaitu 310 nm. Tepi serapan itu terjadi jika tidak terjadi lagi proses penyerapan lagi dengan nilai absorbansinya mendekati nol. Tepi serapan senyawa yang digunakan untuk menghitung celah energi adalah tepi serapan pertama yang terjadi pada panjang gelombang 310 nm.

### 3.4 Penentuan Koefisien Serapan

Penentuan koefisien serapan nilai absorbansi yang digunakan adalah nilai absorbansi saat panjang gelombang maksimum. Untuk setiap perlakuan memiliki nilai absorbansi yang berbeda-beda pada panjang gelombang yang sama. Hal ini dikarenakan nilai absorbansi dipengaruhi oleh konsentrasi, sehingga koefisien serapan material juga dipengaruhi oleh konsentrasi. Apabila semakin besar konsentrasinya maka akan semakin besar pula nilai absorbansi.

Jika diambil nilai absorbansi maksimum pada panjang gelombang maksimum maka nilai panjang gelombang yang digunakan adalah 221 nm dengan nilai absorbansi sebesar 3,765 seperti ditunjukkan oleh gambar 7. Lebar kuvet yang digunakan adalah 1 cm atau 0,01 m. Berdasarkan persamaan 4 maka koefisien nilai serapannya adalah  $856 \text{ m}^{-1}$ . Dengan demikian nilai koefisien serapan senyawa hasil ekstraksi daun sirih asal Kota Kupang adalah  $856 \text{ m}^{-1}$ . Besarnya nilai koefisien serapan menunjukkan bahwa hasil ekstraksi daun sirih wangi memiliki tingkat penyerapan tinggi.

### 3.5 Penentuan Celah Energi

Spektrum serapan senyawa ekstrak daun sirih wangi asal Kota Kupang yang ditunjukkan oleh gambar 4 sampai dengan gambar 6. Ketiga perlakuan konsentrasi menunjukkan tepi serapan yang sama yaitu terjadi pada panjang gelombang 310 nm. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan konsentrasi larutan yang diberikan tidak mempengaruhi besarnya celah energi material. Berdasarkan Per. 5, celah energi senyawa tersebut sebesar 4 eV. Celah energi senyawa hasil ekstrak daun sirih wangi asal Kota Kupang adalah 4 eV. Nilai celah energi ini berada pada  $E_g > 3$  eV.

Berdasarkan nilai ini maka dapat disimpulkan bahwa senyawa ekstrak daun sirih wangi asal Kota Kupang dapat dikelompokkan ke dalam bahan isolator dan kemungkinan bisa dijadikan bahan semikonduktor dengan penelitian lebih lanjut.

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa senyawa hasil ekstraksi daun sirih wangi asal Kota Kupang memiliki jangkauan serapan 200 nm sampai 400 nm dengan nilai koefisien serapan sebesar  $865 \text{ m}^{-1}$  dan celah energi sebesar 4 eV.

## Daftar Pustaka

- [1] A. K. Putri, Q. E. Satwika, Y. Sulistyana, and Z. Arindias, "Studi morfologi Piper betle L. dan pemanfaatannya dalam kehidupan sehari - hari," *Univ. Sebel. Maret*, vol. 1, no. 1, pp. 1-7, 2019.
- [2] A. R. Kodo, K. A. C. Adelia, and Y. Boimau, "Kajian Awal Sifat Optik Senyawa Hasil Ekstraksi Daun Binahong (Anredera Cordifolia) Asal Kabupaten Kupang," *Magn. Res. J. ....*, vol. 2, no. 1, pp. 112-117, 2022, [Online]. Available: <https://ejurnal.unisap.ac.id/index.php/magnetic/article/view/157%0Ahttps://ejurnal.unisap.ac.id/index.php/magnetic/article/download/157/77>.
- [3] Y. Lau, M. Bukit, A. Z. Johannes, A. Warsito, P. S. Fisika, and U. N. Cendana, "Penentuan Sifat Optik Senyawa Hasil Ekstraksi Daun Kemiri ( Aleurites Moluccana , ( 1 . ) Wild ) Asal Desa Fohoea Kecamatan Nanaet Duabesi Kabupaten Belu," *Magn. Res. J. Phys. It's Appl.*, vol. 1, no. 2, pp. 74-80, 2021.
- [4] V. Salu, B. Bernandus, and M. Bukit, "Kajian Awal Spektrum Serapan Senyawa Hasil Ekstrak Daun Kelor (Moringaoleifera L) Asal Kelompok Usaha Bersama (Kub) Marungga Pah Meto Kabupaten Ttu," *J. Fis. Sains dan Apl.*, vol. 1, no. 2, pp. 84-92, 2016, [Online]. Available: <http://ejurnal.undana.ac.id/FISA/article/view/532>.
- [5] W. Saridewi, D. Marlina, and S. P. Meilani, "Piper Crocatum Dalam Percepatan Penyembuhan Luka Perineum Di Pmb Nia Rosmawati," *Pros. Pertem. Ilm. Nas. Penelit. Pengabd. Masy. (PINLITAMAS 1) Dies Natalis ke-16 STIKES Jenderal Achmad Yani Cimahi PINLITAMAS 1*, vol. 1, no. 1, pp. 473-479, 2018.
- [6] H. Riasari, S. N. Fitriansyah, and I. S. Hoeriah, "Perbandingan Metode Fermentasi, Ekstraksi, Dan Kepolaran Pelarut Terhadap Kadar Total Flavonoid Dan Steroid Pada Daun Sukun (Artocarpus altilis (Parkinson) Fosberg)," *J. Sains dan Teknol. Farm. Indones.*, vol. XI, no. 1, pp. 1-17, 2022.
- [7] S. Chairunnisa, N. M. Wartini, and L. Suhendra, "Pengaruh Suhu dan Waktu Maserasi terhadap Karakteristik Ekstrak Daun Bidara (Ziziphus mauritiana L.) sebagai Sumber Saponin," *J. Rekayasa Dan Manaj. Agroindustri*, vol. 7, no. 4, p. 551, 2019, doi: 10.24843/jrma.2019.v07.i04.p07.
- [8] Zulkifli, M. R. . Runtuwene, and J. Abidjulu, "Analisis Kandungan Fitokimia Dan Uji Toksisitas Dari Hasil Partisi Daun Liwas Dengan Metode Brine Shrimp Lethality Test," *Pharmacocon*, vol. 7, no. 3, pp. 230-239, 2018.
- [9] M. M. Y. Missa, R. K. Pingak, and H. I. Sutaji, "Penentuan Celah Energi Optik Ekstrak Daun Alpukat (Persea Americana Mill) Asal Desa Oinlasi Menggunakan Metode Tauc Plot," *J. Fis. Fis. Sains dan Apl.*, vol. 3, no. 1, pp. 86-90, 2018, doi: 10.35508/fisa.v3i1.606.
- [10] G. Pamungkas and I. G. M. Sanjaya, "Kajian Teoritis Untuk Menentukan Celah Energi Porfirin Terkonjugasi Logam Kalsium Menggunakan Teori Fungsional Kerapatan ( DFT )," *Unesa J. Chem.*, vol. 2, no. 1, pp. 54-61, 2013.
- [11] S. M. Sze, *Semiconductor devices, physics and technology (2nd ed)*. Wiley, 2002.