

Identification of Functional Group Compound in Nginang Process: Ethnochemistry-Based Teaching Module for High School

Dodiy Firmansyah^{1*}, Jackson Siahaan¹, Supriadi¹, Sunniarti Ariani¹, Sya'ban Putra Adiguna²

¹Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mataram, Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia;

Article History

Received : November 03th, 2024

Revised : November 25th, 2024

Accepted : December 12th, 2024

*Corresponding Author:

Dodiy Firmansyah, Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mataram, Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia;

Email:

dodiyfirmansyah@staff.unram.ac.id

Abstract: The Nginang process is one of the Sasak tribe's cultures that can be integrated into sasambo ethnochemical learning. The basic ingredients of the betel chewing process consist of betel leaves, lime, and areca nuts. These ingredients contain organic compounds that are identified as including hydroxyl (-OH) and carbonyl (C=O) groups. This study seeks to identify the functional groups present in betel leaves, areca nuts and residues after the betel chewing process in the functional group area and fingerprint area. The identification of organic compounds in this study was conducted through three stages: (1) grinding the "betel chewing" material, namely the refining and sieving process using 100 mesh; (2) washing using ethyl acetate and (3) functional group analysis using Fourier Transform Infrared Spectroscopy. Based on the results of the Fourier Transform Infrared Spectroscopy analysis of betel leaves, areca nuts, and residue after chewing betel in the functional group area containing -OH groups respectively at wave numbers 3165.73 cm⁻¹, 3280.67 cm⁻¹ and 3406.03 cm⁻¹, the C=O group shows peaks at wave numbers 1728.86, 1649.00, and 1728.08 cm⁻¹, while in the fingerprint area the C-O group appears at wave numbers 1059.61, 1056.89, and 1056.80 cm⁻¹.

Keywords: Carbonyl groups, FTIR, hydroxyl groups, Nginang.

Pendahuluan

Implementasi kurikulum Merdeka pada fase F kelas XII menekankan pada pemahaman materi sesuai dengan karakteristik lingkungan sekolah yang berkaitan erat dengan kehidupan sehari-hari dan dapat diintegrasikan dalam proses pembelajaran sehingga mudah dipahami oleh peserta didik yang merupakan tujuan pembelajaran sesuai dengan capaian pembelajaran yang diinginkan (Tahya *et al.*, 2022). Pemahaman kimia organik dan penerapannya sehari-hari merupakan salah satu capaian pembelajaran pada kelas XII dengan pembahasan gugus fungsi yang mengaitkan kebudayaan lokal (Handayani, 2016).

Integrasi produk budaya ke pembelajaran kimia sebagai sumber belajar dapat meningkatkan pemahaman konsep sehingga membuat proses belajar lebih bermakna dan berkontribusi pada capaian pembelajaran yang lebih baik (Azizah & Premono, 2021). Namun, penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa integrasi budaya dalam bahan ajar kimia maupun

proses pembelajaran masih jarang dilakukan. Akibatnya, pemahaman konsep kimia sering kali bersifat abstrak, dan kimia masih dianggap sebagai mata pelajaran yang paling sulit dipahami di semua jenjang pendidikan (Insyiroh, 2020).

Salah satu budaya di Pulau Lombok yakni nginang atau *mamaq* memiliki karakteristik tertentu yang dapat dijabarkan dalam modul ajar pada materi kimia organik dengan mengidentifikasi senyawa kimia pada bahan-bahan yang digunakan (Nurhayati dkk, 2021). Senyawa organik merupakan golongan besar senyawa kimia yang molekulnya mengandung karbon, karbonat, dan oksida karbon (Nilan dkk, 2019). Etanol termasuk gugus fungsi alkohol termasuk dalam senyawa kimia organik zat cair, tidak berwarna, berbau spesifik, mudah terakar, dan menguap (Setiadi & Qanitah, 2020). Etnanol dapat bercampur dalam air dengan segala perbandingan, secara garis besar, penggunaan etanol sebagai pelarut untuk zat organik maupun anorganik (Bintoro *et al.*, 2017).

Klasifikasi senyawa organik dapat

didasarkan pada jenis gugus fungsi yang dimilikinya. Gugus fungsi dimaknai berupa sekumpulan atom dalam molekul yang menentukan sifat kimia dari molekul tersebut. Contoh gugus fungsi organik meliputi alkohol, eter, aldehyd, keton, asam karboksilat, dan amina. Alkohol memiliki gugus fungsi hidroksil (-OH), di mana keberadaan gugus -OH ini membuat fenol sedikit larut dalam air, dibandingkan dengan alkohol alifatik, fenol memiliki sifat lebih asam karena dalam reaksi dengan natrium hidroksida (Antonyan *et al.*, 2016). Alkohol merupakan senyawa organik yang memiliki satu atau lebih gugus hidroksil (-OH). Karena ikatan hidroksil pada alkohol bersifat kovalen, sifatnya berbeda dengan hidroksida, meskipun lebih mendekati sifat air. (Hu *et al.*, 2010).

Senyawa organik yang terekam dalam pada instrumen FTIR dituangkan dalam pengembangan modul ajar kimia (Nurhayati *et al.*, 2021). Sesuai dengan capaian kurikulum merdeka fase F kelas XII yakni pemahaman kimia organik termasuk penerapan dalam kehidupan sehari-hari (Adawiyah *et al.*, 2022).. Penerapan etnokimia dalam Modul ajar sesuai dengan karakteristik sekolah, budaya sekitar dan karakter siswa yang senang belajar secara audio visual (Ariani *et al.*, 2024).

Penulis pada penelitian ini mempelajari tentang kandungan gugus fungsi bahan nginang” yang terdiri dari daun sirih, pinang, dan kapur. Proses ekstraksi bertujuan untuk bahan pengotor pada bahan “nginang” (Hu *et al.*, 2010). Larutan etil asetat dapat menghilangkan pengotor pada bahan “nginang” yang merupakan tradisi masyarakat suku sasak dengan konsep Etnokimia (Saraswati dkk, 2019). Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian pengembangan dari senyawa yang terkandung dalam bahan nginang menggunakan analisa FTIR dan GC-MS (Bintoro dkk, 2017), Sehingga bisa dituangkan dalam proses pembelajaran. Oleh karena itu, peneliti melakukan pengembangan hasil dari identifikasi gugus fungsi senyawa yang terkandung dalam bahan “nginang” berupa materi modul ajar berbasis etnokimia pada SMA Fase F.

Bahan dan Metode

Preparasi Sampel

Sampel dalam penelitian ini terdiri dari bahan nginang, yaitu daun sirih, buah pinang, dan residu proses nginang. Bahan nginang tersebut

ditumbuk menjadi bagian yang lebih halus (Saraswati & Palupi, 2019). Potongan serat daun nanas dikeringkan di oven dengan suhu 40°C selama 7 jam. Setelah kering, Hasil tumbukan bahan nginang selanjutnya diayak dengan ayakan 100 *mesh* untuk memperoleh serbuk sampel. (Firmansyah *et al.*, 2017).

Ekstraksi Sampel

Metode yang digunakan dalam proses ekstraksi adalah maserasi, yakni dengan menimbang 100 gram daun sirih, buah pinang, serta campuran kedua bahan tersebut. Tiga bahan yang sudah ditimbang dimasukkan dalam erlenmeyer selanjutnya dilakukan perendaman menggunakan etil asetat 100 mL (Nur *et al.*, 2020). Masing -masing erlenmeyer yang berisi bahan nginang ditutup dengan aluminum foil, didiamkan serta sesekali dihomogenkan. Hasil dari proses ekstraksi selanjutnya dilakukan penyaringan sehingga mendapatkan filtrat dan residu daun sirih, buah pinang, dan campuran dari kedua bahan tersebut. Filtrat yang dihasilkan dievaporasi pada suhu 40°C sehingga dihasilkan ekstrak kental (Maharani & Fernandes, 2021).

Analisis menggunakan FTIR dan GC-MS

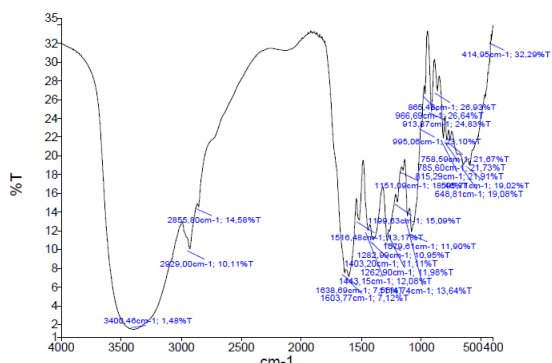
Analisa gugus fungsi menggunakan FTIR dilakukan dengan cara ekstrak kental daun sirih, buah pinang, dan campuran kedua bahan tersebut diambil sedikit menggunakan sudip kemudian dianalisa menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (Shimadzu FTIR). Analisis menggunakan metode FTIR dilakukan dengan melihat daerah gugus fungsi dan daerah sidik jari (Djanas *et al.*, 2023). Selain itu, identifikasi Gas kromatografi spektrofotometri massa dengan mencocokkan bobot molekul bahan nginang dan pola fragmentasi pada *library system* GC-MS (Antonyan *et al.*, 2016).

Hasil dan Pembahasan

Analisa menggunakan FTIR

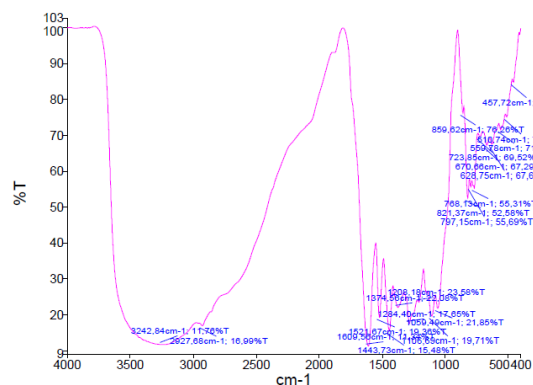
Penelitian ini merupakan pengembangan yang dituangkan dalam proses pembelajaran berupa modul ajar. Penelitian difokuskan pada kebiasaan yang dilakukan oleh suku sasak yakni proses nginang, dengan bahan baku diantara daun sirih, buah pinang, serta campuran kedua bahan tersebut. Hal ini berkaitan dengan capaian pembelajaran yang tertera pada kurikulum merdeka untuk Fase F kelas XII dengan isian

pemahaman kimia organik termasuk penerapan dalam kehidupan sehari-hari (Anugrah & Kartimi, 2022). Spektrum IR bahan ngingang dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar 1. Spektrum IR ekstrak daun sirih

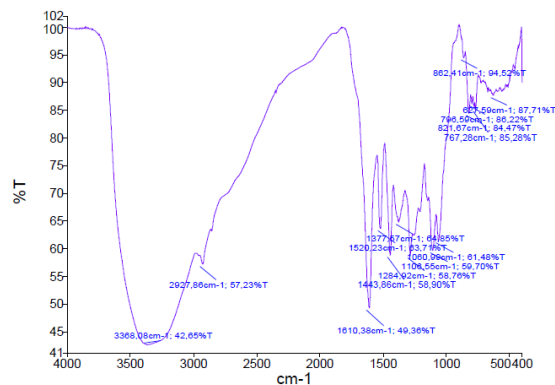
Gambar 1 menunjukkan hasil analisis *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* daun sirih ditunjukkan dengan spectra berwarna biru, pada daerah *functional group* mengandung gugus -OH pada rentang bilangan gelombang 3165,73 cm^{-1} , bilangan gelombang 1728,86 cm^{-1} menandakan gugus karbonil (C=O) dengan intensitas puncak yang kecil, sementara itu pada daerah sidik jari bilangan gelombang 1728,86 cm^{-1} terlihat gugus (C-O). Hasil spectra IR buah pinang ditandai dengan spectra warna merah menghasilkan gugus hidroksil (-OH) pada daerah *functional group* 3280,67 cm^{-1} dengan perbedaan intensitas. Spektra IR buah pinang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektrum IR ekstrak buah pinang

Gambar 2 memperlihatkan gugus hidroksil memiliki intensitas yang sangat tinggi terlihat dari spektra yakni pada bilangan gelombang 1649,00 cm^{-1} yang menandakan adanya gugus karbonil (C=O) dengan luas puncak yang tinggi, pada daerah sidik jari terlihat gugus (C-O) pada bilangan gelombang 1056,89 cm^{-1} . Analisa gugus

fungsi yang terakhir yakni gabungan bahan – bahan ngingang berupa residu menghasilkan gugus hidroksil (-OH) pada bilangan gelombang 3406,03 cm^{-1} dengan intensitas puncak yang tinggi, terlihat juga pada bilangan gelombang 1728,08 cm^{-1} yang merupakan ciri khas gugus karbonil (C=O), sedangkan pada daerah sidik jari muncul gugus (C-O) pada bilangan gelombang 1056,80 cm^{-1} dengan intensitas puncak yang tinggi. Spektrum IR residu hasil ngingang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Spektrum IR ekstrak campuran

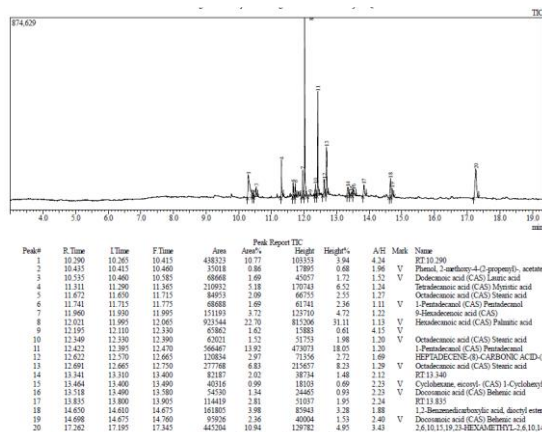
Gambar 3 menunjukkan hasil senyawa hidroksil dengan intensitas yang tinggi, hal ini menandakan hasil FTIR dari bahan ngingang menunjukkan ciri khas yang menandakan adanya gugus fungsi alkohol, aldehyd, keton, asam karboksilat, serta turunan dari alkohol dan asam karboksilat yakni eter dan ester.

Analisis menggunakan GC MS

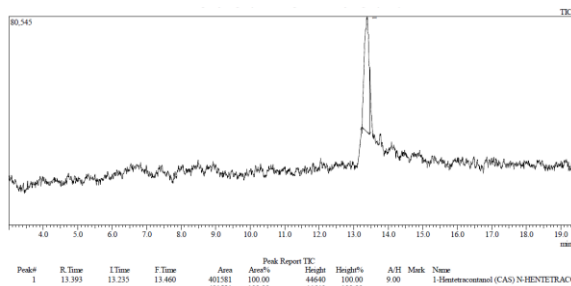
Analisis menggunakan GC MS dilakukan guna mengidentifikasi senyawa yang terdapat dalam sampel (Tembrock *et al.*, 2017). Uji menggunakan GC MS menghasilkan spektrum dari senyawa kimia yang berbeda-beda sesuai dengan kandungannya (wang *et al.*, 2018). Dalam penelitian yang dilakukan yakni untuk melihat senyawa kimia yang terdapat dalam ekstrak daun sirih, buah pinang, dan campuran. Spektrum GC-MS ekstrak daun sirih dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan ekstrak daun sirih mengandung tidak kurang dari 20 senyawa organik dengan puncak spektrum yang muncul pada waktu retensi 8 menit yang merupakan senyawa yang paling dominan terkandung di dalam sampel ekstrak daun sirih dengan bobot molekul terbesar yakni 8152,0 g/mol yakni *Hexadecanoic acid*. Selain itu, Spektrum GC-MS ekstrak buah pinang dapat dilihat pada

Gambar 5.

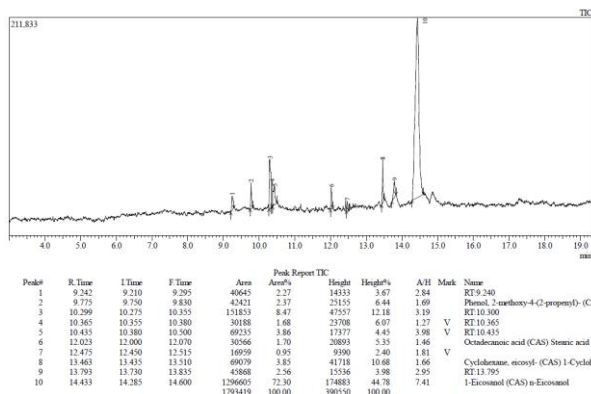


Gambar 4. Spektrum GC-MS ekstrak daun sirih



Gambar 5. Spektrum GC-MS Buah pinang

Berdasarkan Gambar 5 Puncak spektrum yang muncul pada waktu retensi 13,393 menit yang merupakan senyawa yang paling dominan terkandung di dalam sampel ekstrak buah pinang yakni 1-Hentetracontanol dengan bobot molekul terbesar yakni 4464,0 g/mol. Adapun Spektrum GC-MS ekstrak campuran daun sirih dan buah pinang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Spektrum GC-MS ekstrak Campuran

Gambar 6 menunjukkan puncak spektrum yang muncul pada waktu retensi 10 menit yang merupakan senyawa yang paling dominan terkandung di dalam sampel ekstrak campuran

daun sirih dan buah pinang yakni *n-Ecusanol* dengan bobot molekul terbesar yakni 174883 g/mol. Hasil dari penelitian yang dilakukan diintegrasikan ke dalam pembelajaran kimia berupa modul ajar fase F kelas XII (Mashami *et al.*, 2023). Modul ajar kimia disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Modul Ajar kimia

Gambar 7 menunjukkan integrasi pembelajaran kimia pada materi gugus fungsi sesuai dengan capaian pembelajaran yang bisa diakses dalam platform merdeka mengajar yakni pemahaman kimia organik serta pemanfaatannya dalam kehidupan sehari – hari (Hidayatussani dkk, 2020). Pemilihan budaya nginang merupakan tujuan pembelajaran yang dituangkan dalam proses pembelajaran yakni pembahasan pada pertemuan pertama dengan materi alkohol dan eter yang memiliki ciri khas gugus hidroksil (-OH), pertemuan kedua dengan pembahasan aldehid dan keton yang memiliki ciri khas gugus karbonil (C=O), serta pertemuan ketiga dengan pokok bahasan asam karboksilat.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan hal-hal berikut: (1). Analisis *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* daun sirih, buah pinang, dan residu setelah nginang

pada daerah *functional group* mengandung gugus -OH berturut-turut pada bilangan gelombang 3165,73 cm^{-1} , 3280,67 cm^{-1} dan 3406,03 cm^{-1} , gugus C=O menunjukkan puncak pada bilangan gelombang 1728,86 cm^{-1} , 1649,00 cm^{-1} dan 1728,08 cm^{-1} , sedangkan pada daerah sidik jari muncul gugus C-O pada bilangan gelombang 1059,61 cm^{-1} , 1056,89 cm^{-1} , dan 1056,80 cm^{-1} , (2). Pengembangan pembelajaran dengan identifikasi gugus fungsi alkohol, asam karboksilat, dan ester pada proses ngingang dapat menguatkan identitas budaya suku sasak.

Ucapan Terima Kasih

Rasa syukur ditujukan kepada keluarga peneliti, teman-teman di lingkungan program studi pendidikan kimia fakultas kegeruan dan ilmu pendidikan atas motifasi yang ditunjukkan serta kepada pimpinan Universitas Mataram yang telah mendukung kesuksesan penelitian ini.

Referensi

- Adawiyah, R., Andayani, Y., & Savalas, L. R. T. (2022). Pengembangan modul kimia etnosains terintegrasi model culturally responsive transformative teaching (CRTT). *Journal of Classroom Action Research*, 4(4), 674-680. DOI: 10.29303/jcar.v4i4.2395
- Antonyan, A., Sharoyan, S., Harutyunyan, H., Barboni, L., Lupidi, G., & Mardanyan, S. (2016). Protection of hippocampal and islet beta cells in vitro by emodin from leaves of *Rumex confertus*. *International Journal of Pharmacognosy*, 3(10), 437-444. <https://dx.doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232>
- Anugrah, I. R., & Kartimi, K. (2022). Local Wisdom-based Contextual Learning as Embedded-STEM approach in High School Chemistry. *IJIS Edu: Indonesian Journal of Integrated Science Education*, 4(1), 1-9. DOI: 10.29300/ijisedu.v4i1.5783
- Ariani, S., Hidayanti, E., Adiguna, S. P., Supriadi (2024). Pengembangan Modul Ajar Larutan Asam Basa Terintegrasi Etnokimia Berbasis Augmented Reality *Chemistry Education Practice*.7(1), 200–207. DOI: 10.29303/cep.v7i1.6083
- Azizah, N., & Premono, S. (2021). Identifikasi potensi budaya lokal berbasis etnokimia di Kabupaten Bantul. *Journal of Tropical Chemistry Research and Education*, 3(1), 53-60. <https://doi.org/10.14421/jtcre.2021.31-06>
- Bintoro, A., Ibrahim, A. M., Situmeang, B., (2017). Analisis dan identifikasi senyawa saponin dari daun bidara (*Zhipus mauritania L.*). *Jurnal ITEKIMIA*. 291), 84-94.
- Djanas, V. B., & Suoth, E. (2023). Fingerprint Analysis of Betel (Piper Betle L.) As Raw Materials of Traditional Medicine Using Ftir Spectroscopy. *Pharmakon*, 12(2), 193-198. DOI: 10.35799/pha.12.2023.40599
- Firmansyah, D. Rumhayati, B, and Masruri, (2017). Modification of Pineapple Leaf Cellulose with Citric Acid for Fe²⁺ Adsorption, *International Journal of ChemTech Research*. 10(4). 674-680.
- Handayani, T. I. (2016). Studi Tentang Penerapan Model Pembelajaran Culturally Responsive Teaching Terintegrasi dengan Etnokimia pada Materi Gugus Fungsi Senyawa Karbon Dalam Pembelajaran Kimia Kelas XII (Doctoral Dissertation, Universitas Negeri Jakarta).
- Hidayatussani, H., Hadisaputra, S., & Al-Idrus, S. W. (2020). Pengaruh Model Pembelajaran Inkuiri Terbimbing Berbasis Etnokimia Terhadap Hasil Belajar Kimia Siswa Kelas Xi Di MA Al-Aziziyah Putra Kapek Gunungsari. *Chemistry Education Practice*, 3(1), 34-40. DOI: 10.29303/cep.v3i1.1687
- Insiyroh, A. (2020). Pengembangan Modul Kimia berbasis Relating, Experiencing, Applying, Cooperating dan Transferring (REACT) bermuatan Etnokimia. *Journal of Tropical Chemistry Research and Education*, 5(2), 9-20. <https://doi.org/10.14421/jtcre.2023.52-02>
- Maharani, R., & Fernandes, A. (2021). Profil fitokimia dan GC-MS daun sirih hitam (Piper betle L.) dari sekitar khdtk Labanan, Kabupaten Berau. *Majalah Farmasi dan Farmakologi*, 25(1), 11-14. DOI: 10.20956/mff.v25i1.11966
- Mashami, R. A., Suryati, S., Harisanti, B. M., & Khery, Y. (2023). Identification of local wisdom of the Sasak tribe in chemistry learning as an effort to strengthen student character. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(1), 337-345. DOI: 10.29303/jppipa.v9i1.2434

- Meiyanto, E., Susidarti, R. A., Handayani, S., Rahmi, F., (2008). Ekstrak Etanolik Biji Pinang (*Areca catechu L.*) Mampu Menghambat Proliferasi dan Memacu Apoptosis sel MCF-7. *Majalah Farmasi Indonesia*, vol. 19, no.1, pp. 12 – 19. <https://core.ac.uk/download/pdf/326766543.pdf>
- Nilan, C., Inayah, A., & Handayani, D. (2019). Ekstraksi daun sirih, batang sereh dan bawang merah untuk produksi pestisida organik. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 4(1), 21-25 <http://dx.doi.org/10.31942/inteka.v4i1.2682>
- Nur, Y., Cahyotomo, A., & Fistoro, N. (2020). Profil GC-MS senyawa metabolit sekunder dari jahe merah (*Zingiber officinale*) dengan metode ekstraksi etil asetat, etanol dan destilasi. *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 2(3), 198-204. <https://jsk.ff.unmul.ac.id/index.php/JSK/article/view/145>
- Nurhayati, E., Andayani, Y., Hakim, A., (2021). Pengembangan E-Modul Kimia Berbasis STEM dengan Pendekatan Etnosains,” *Chemistry Education Practice*. 4(2). 106–112. DOI: 10.29303/cep.v4i2.2768
- Sahribulan, S., & Pagarra, H. (2022). Identifikasi Gugus Fungsi dari Senyawa Metabolit Sekunder Ekstrak Etanol Daun Kayu Jawa *Lannea coromandelica*. *Jurnal Binomial*, 5(2), 161-168. DOI: <https://doi.org/10.46918/bn.v5i2.1534>
- Saraswati, A., & Palupi, S. (2019). Analisis Kualitatif dan Kuantitatif Minyak Atsiri Daun Sirih Hijau (*Piper betle L.*) dan Daun Sirih Merah (*Piper crocatum Ruiz & Pav.*) Berasal Dari Kupang, NTT. *CALYPTRA*, 7(2), 1640-1659. <https://journal.ubaya.ac.id/index.php/jimus/article/view/3410>
- Saraswati, R.A., Rahmah, D.N.A., Safitri, M., Camalin, C.M.S., Putri, C.S., Setyaningsih, E., (2019) “Potensi Tanaman Ramuan Nginang Sebagai Pasta Gigi Herbal Warisan Nenek Moyang”. *Proceeding Biology Education Confrance*. 16(1). 288 – 292. <https://jurnal.uns.ac.id/prosbi/article/view/38352>
- Setiyadi, G., & Qonitah, A. (2020). Optimasi Masker Gel Peel-Off Ekstrak Etanolik Daun Sirih (*Piper Betle L.*) dengan Kombinasi Carbomer dan Polivinil Alkohol. *Pharmacoon: Jurnal Farmasi Indonesia*, 17(2), 174-183. <https://journals.ums.ac.id/index.php/pharmacoon/article/view/11976>
- Tahya, D., Dahoklory, F. S., & Dahoklory, S. R. (2022). The Development of Local Wisdom-Based Chemistry Modules to Improve Students' Science Process Skills. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 8(2), 731-739. DOI: 10.29303/jppipa.v8i2.1424
- Tembrock, L. R., Broeckling, C. D., Heuberger, A. L., Simmons, M. P., Stermitz, F. R., & Uvarov, J. M. (2017). Employing Two-stage Derivatisation and GC-MS to Assay for Cathine and Related Stimulant Alkaloids Accros the Celastraceae. *Phytochemical Analysis*, 28(1). 257-266. <https://doi.org/10.1002/pca.2671>
- Wang, M. R., Li, W., Luo, S., Zhao, X., Ma, C. H., and Liu, S. X. GC-MS Study of the Chemical Components of Different *Aquilaria sinensis* (Lour.) Gilgorgans and Agarwood from Different Asian Countries. *Molecules Journal*, 2018; 23. doi: 10.3390/molecules23092168
- Widiarti, L., Febriani, H., Dur, S., Agustin, R., Nurcayani., Andry, M. (2023). Gas Chromatography-Mass Spectrometry and Functionl Group Analysis of MethanolExtract od Bidara Leaves (*Zizipus mauritiana*). *Journal of Pharmaceutical and Sciences*. 1(1), 353-360. <https://doi.org/10.36490/journal-jps.com.v6i5-si.449>
- X. Hu, M. Zhao, and H. Huang, (2010) “Modification of pineapple peel fiber as metal ion adsorbent through reaction with succinic anhydride in pyridine and dimethyl sulfoxide solvents”, *Water Environ*. 82(8),733–741. DOI: 10.2175/106143009x12529484816150.