

## **PROFIL KOMPOSISI KIMIA DAN SENYAWA BIOAKTIF NIRA AREN (*Arenga pinnata*) SERTA TURUNANNYA: TINJAUAN DEKADE TERAKHIR**

### ***(Chemical Composition and Bioactive Compounds of Palm (*Arenga Pinnata*) Sap And Its Derivatives: A Review Of The Last Decade)***

**Miftahuddin<sup>1\*</sup>, Aidil Zulhaq Paradiman<sup>2)</sup>, Mentari Mangguali<sup>3)</sup>, Reza Arianto Sultan<sup>1)</sup>, Abdi Wahid Kurniawan<sup>4)</sup>, Nurul Al Varqani<sup>5)</sup>**

<sup>1\*)</sup> Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian dan Kehutanan, Universitas Sulawesi Barat

<sup>2)</sup> Jurusan Teknologi Produksi dan Industri, Institut Teknologi Bacharuddin Jusuf Habibie

<sup>3)</sup> Program Studi Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, Fakultas Teknik, Universitas Mulia

<sup>4)</sup> Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makassar

<sup>5)</sup> Program Studi Pengembangan Produk Agroindustri, Politeknik Negeri Tanah Laut

<sup>\*</sup> email korespondensi: [miftahuddin@unsulbar.ac.id](mailto:miftahuddin@unsulbar.ac.id)

#### **ABSTRACT**

Palm sap (*Arenga pinnata*) plays a strategic role in the agro-industrial sector; however, its utilization is frequently constrained by rapid microbiological degradation. This review synthesizes research advancements over the past decade (2015-2025) to characterize the chemical properties, nutritional profiles, and bioactive potential of palm sap and its derivatives. Employing a narrative review of literature from reputable databases, this study identifies palm sap as a complex biochemical system rich in sucroses, essential amino minerals (K, Mg, Ca, and P), vitamins, and a comprehensive profile of amino acids. The identification of phenolic and flavonoid constituents further substantiates its potential as a significant source of natural antioxidants. This review highlights that the retention of these functional compounds is highly dependent on the precision of processing techniques. The implementation of vacuum evaporation and advanced drying technologies, such as spray drying and freeze-drying, has proven superior in preserving the integrity of thermolabile bioactive compounds compared to conventional open-pan heating. In conclusion, a comprehensive understanding of biochemical stability dynamics during processing provides a critical foundation for innovation and the downstream development of sugar palm commodities, facilitating the production of value-added and globally competitive functional foods.

**Keywords:** Antioxidant activity, *Arenga pinnata*, Bioactive compounds, Palm sap, Thermal stability.

#### **ABSTRAK**

Nira Aren (*Arenga pinnata*) memegang peranan strategis dalam sektor agroindustri, namun pemanfaatannya sering kali terhambat oleh laju degradasi mikrobiologis nira yang sangat cepat. Artikel tinjauan ini menyintesis perkembangan riset selama satu dekade terakhir (2015–2025) guna memetakan karakteristik kimia, profil nutrisi, dan potensi bioaktif nira aren beserta produk turunannya. Melalui pendekatan tinjauan naratif terhadap berbagai literatur dari pangkalan data bereputasi, ditemukan bahwa nira aren merupakan sistem biokimia kompleks yang kaya akan sukrosa, mineral esensial (K, Mg, Ca, P), vitamin, serta asam amino lengkap. Identifikasi komponen fenolik dan flavonoid lebih lanjut menegaskan potensi nira sebagai sumber antioksidan alami yang signifikan. Tinjauan ini secara khusus menekankan bahwa retensi senyawa fungsional tersebut sangat bergantung pada ketepatan teknik pengolahan. Penggunaan evaporasi vakum serta metode pengeringan seperti *spray drying* dan *freeze drying* terbukti jauh lebih unggul dalam menjaga

integritas senyawa bioaktif yang bersifat termolabil dibandingkan pemanasan terbuka konvensional. Sebagai simpulan, pemahaman komprehensif atas dinamika stabilitas biokimia selama pengolahan menjadi landasan penting bagi inovasi dan hilirisasi komoditas aren guna menghasilkan produk pangan fungsional yang bernilai tambah dan kompetitif di pasar global.

**Kata Kunci:** Aktivitas antioksidan, *Arenga pinnata*, Nira aren, Senyawa bioaktif, Stabilitas termal.

## PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai salah satu pusat biodiversitas tanaman palma dunia, dengan aren (*Arenga pinnata* Merr.) sebagai salah satu spesies yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Tanaman aren memiliki daya adaptasi yang tinggi terhadap berbagai kondisi agroklimat, sehingga banyak dibudidayakan di wilayah pedesaan dan berkontribusi terhadap pendapatan rumah tangga petani (Adalina & Sawitri, 2021). Hal ini didukung oleh data nasional tahun 2023 yang mencatat produksi gula aren sebesar 106.486 ton dengan luas lahan 37.434 ha. Konsentrasi produksi utama didominasi oleh wilayah Jawa (34,78%) dan Sumatera (28,56%), serta didukung oleh wilayah Sulawesi (7,41%) yang mencakup provinsi sentra seperti Jawa Barat, Sumatera Utara, Sulawesi Selatan, dan Sulawesi Barat (Rinawati, Reflinur, Dinarti, & Sudarsono, 2021; Terryana, Nugroho, & Lestari, 2020; Zuraina *et al.*, 2023). Produk utama yang dihasilkan adalah nira, yakni cairan eksudat manis yang diperoleh melalui proses penyadapan tandan bunga jantan. Dalam kondisi segar, nira merupakan larutan kaya nutrisi dengan sukrosa sebagai komponen dominan, yang disertai kandungan glukosa, fruktosa, serta berbagai asam organik seperti askorbat, malat, sitrat, asetat, laktat, dan fumarat. Selain itu, nira juga menyimpan cadangan mineral, vitamin, serta asam amino esensial yang dibutuhkan oleh tubuh (T. Anggraini, Anwar, *et al.*, 2025; Hutami *et al.*, 2023; Victor, Wikarsa, & Orsat, 2023).

Nira aren memiliki karakteristik yang sangat rentan mengalami kerusakan (*perishable*) akibat aktivitas fermentasi spontan oleh mikrobia, khususnya khamir

*Saccharomyces cerevisiae* dan bakteri *Acetobacter sp.* Aktivitas mikrobial tersebut mendegradasi komponen nutrisi nira yang menyebabkan peningkatan keasaman secara cepat, sehingga membatasi keragaman pemanfaatannya (Mussa, 2014; Nina, 2023; Sukmana, Suhada, Yanti, & Anam, 2022). Guna menghambat laju kerusakan tersebut, masyarakat umumnya mengolah nira menjadi gula cetak melalui proses evaporasi pada suhu tinggi dalam durasi yang cukup lama hingga kadar air mencapai di bawah 10% (Hutami *et al.*, 2023). Namun demikian, paparan panas yang intensif tersebut sering kali memicu degradasi mikronutrien serta senyawa bioaktif termolabil (Schutte, Hayward, & Manley, 2024), di samping menstimulasi reaksi Maillard dan karamelisasi yang berlebihan (Liu *et al.*, 2022). Reaksi tersebut menyebabkan warna produk menjadi lebih gelap dan menghasilkan aroma sangrai yang (El Hosry *et al.*, 2025; Rannou, Laroque, Renault, Prost, & Sérot, 2016). Selain itu, intensitas reaksi Maillard yang tinggi berpotensi membentuk senyawa produk sampingan seperti hidrosimetilfurfural (HMF), furfural, dan akrilamida pada sistem yang kaya akan gula dan asam amino, yang berpotensi memberikan dampak negatif bagi kesehatan tubuh.

Dalam satu dekade terakhir, terdapat pergeseran signifikan pada preferensi konsumen menuju produk pemanis alami yang dinilai lebih sehat dan praktis, seperti gula aren cair (*liquid palm sugar*) (Mahendra, Nuraeni, & Amri, 2024). Keunggulan fungsional nira aren didukung oleh nilai Indeks Glikemik (IG) yang relatif rendah (35–45), menjadikannya alternatif pemanis yang lebih aman bagi penderita diabetes dibandingkan gula rafinasi

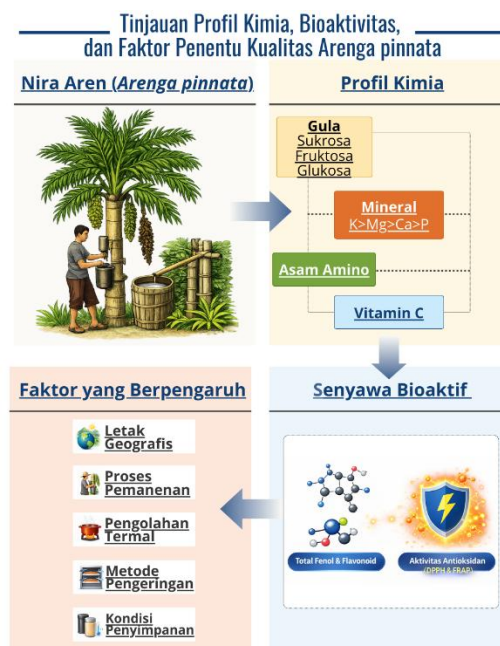
(IG 65-70). Berbeda dengan produksi gula cetak konvensional, gula aren cair yang diolah menggunakan metode evaporasi vakum atau pemanasan terkontrol memungkinkan retensi senyawa bioaktif nira yang lebih optimal, termasuk polifenol, flavonoid, dan vitamin C yang berperan sebagai antioksidan alami (ElGamal *et al.*, 2023; Erwin, Ismawati, Abdullah, Wiyono, & Maulana, 2025). Meskipun demikian, pemahaman mendalam mengenai karakteristik spesifik serta dinamika stabilitas komponen bioaktif tersebut selama berbagai tahapan proses pengolahan masih perlu dikaji secara lebih komprehensif.

Sebagian besar penelitian berfokus pada karakterisasi komposisi kimia, sementara kajian yang secara khusus mengaitkan stabilitas biokimia dengan parameter teknologi pengolahan masih terbatas. Guna menjawab tantangan tersebut, artikel tinjauan (*review article*) ini disusun untuk menyajikan tinjauan sistematis mengenai karakteristik nutrisi serta ragam senyawa bioaktif yang terkandung dalam nira aren. Studi ini diharapkan dapat menjadi rujukan ilmiah bagi pengembangan inovasi teknologi pengolahan yang mampu mempertahankan integritas nutrisi dan mutu fungsional produk secara optimal. Tinjauan ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam pengembangan teknologi pengolahan nira aren yang mampu meningkatkan mutu dan nilai tambah produk.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Jenis Penulisan

Artikel ini disusun menggunakan metode studi literatur (*literature review*) dengan pendekatan tinjauan naratif (*narrative review*). Pendekatan ini diterapkan untuk mendeskripsikan, menyintesis, serta mengevaluasi perkembangan riset terbaru mengenai karakteristik kimia, profil nutrisi, dan potensi bioaktif dari nira aren. Hal ini bertujuan untuk menyediakan rujukan ilmiah yang sistematis bagi pengembangan teknologi pengolahan nira aren yang lebih optimal. Kerangka pikir dalam metode penulisan artikel ini dirangkum secara sistematis pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Pikir Profil Nutrisi, Senyawa Bioaktif dan Penentu Kualitas Nira

### Sumber Data

Sumber informasi dalam kajian ini dihimpun dari rujukan primer yang mencakup jurnal ilmiah nasional dan internasional, prosiding seminar, serta buku teks tepercaya yang relevan. Penelusuran literatur dilakukan secara daring melalui berbagai basis data akademik bereputasi, antara lain Google Scholar, Portal Garuda (Kemdikbud), dan ScienceDirect. Strategi pencarian diterapkan dengan menggunakan kombinasi kata kunci spesifik dalam bahasa Indonesia maupun bahasa Inggris, yang meliputi: ('Kandungan gizi nira aren' atau '*Nutritional composition of palm sap*'), ('Senyawa bioaktif aren' atau '*Bioactive compounds Arenga pinnata*'), ('Pengaruh pengolahan gula aren' atau '*Effect of processing on palm sugar quality*'), serta ('Aktivitas antioksidan nira' atau '*Antioxidant activity of palm sap*').

### Kriteria Seleksi Data

Literatur yang dipilih dibatasi pada publikasi yang diterbitkan dalam rentang waktu 10 tahun terakhir (2015–2025) untuk menjamin kemutakhiran data (*up-to-date*). Artikel yang dipilih kemudian dikelompokkan berdasarkan topik bahasan utama, yaitu: (1) Komposisi kimia makro dan mikro, (2) Jenis senyawa bioaktif, dan (3) Aktifitas antioksidan. Data yang diperoleh kemudian

disintesis dan dianalisis secara deskriptif komparatif.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Komposisi Makronutrien

Komponen padatan terbesar dalam nira aren adalah karbohidrat, yang didominasi oleh sukrosa. Berbeda dengan nira kelapa yang memiliki proporsi gula pereduksi lebih tinggi (Mita, Asyik, & Sadimantara, 2022; Zulfia, Ainuri, & Khuriyati, 2019), nira aren segar memiliki kadar sukrosa yang mencapai 10-15% dari total volume cairan (O. R. Anggraini, Purwati, Kurnia, & Sukma, 2021). Keberadaan gula pereduksi (glukosa dan fruktosa) dalam jumlah kecil pada nira segar merupakan indikasi awal terjadinya inversi sukrosa akibat aktivitas mikroba atau penurunan pH (Aryani, Irawan, Putri, & Harini, 2023; Wilberta, Sonya, & Lydia, 2021). Selain itu, nira juga mengandung protein kasar dan sejumlah kecil tetapi signifikan untuk pembentukan aroma khas saat pemasakan. Reaksi pemanasan antara gula dan protein (reaksi Maillard) serta oksidasi lemak dapat menghasilkan senyawa aroma yang kompleks. Mekanisme tersebut serupa dengan pembentukan aroma pada pangan lain berbasis karbohidrat, protein, dan lemak (O. R. Anggraini *et al.*, 2021; Lina & Min, 2022). Secara detail, komposisi makronutrien nira aren disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi makronutrien nira aren

| Komponen       | Kadar rata-rata (%) | Referensi   |
|----------------|---------------------|---|
| Kadar air      | 87                  | (T. Anggraini, Azima, <i>et al.</i> , 2025)         |
| Total Gula     | 13,9                | (Mussa, 2014)                                       |
| Sukrosa        | 15                  | (Sholiha, Nyoman Semadi, & Gusti Putu Ganda, 2025)  |
| Gula Pereduksi | 2,01                | (Sukmana <i>et al.</i> , 2022)                      |
| Lemak          | 0,44                | (O. R. Anggraini <i>et al.</i> , 2021)              |
| Protein        | 0,38                | (O. R. Anggraini <i>et al.</i> , 2021; Mussa, 2014) |
| Kadar Abu      | 0,28                | (Mussa, 2014)                                       |

### Komposisi Mikronutrien (Mineral)

Berbagai studi telah mengemukakan profil mineral esensial yang terkandung dalam nira aren serta produk turunannya, yang mencakup unsur kalium (K), kalsium (Ca), fosfor (P), magnesium (Mg), natrium (Na), dan besi (Fe) (Adriani, Andalia, Hardiana, & Mustafa, 2025; O. R. Anggraini *et al.*, 2021; Lantemona, Sahupala, & Boka, 2023). Keberadaan mineral dalam bentuk terlarut berkontribusi terhadap nilai gizi nira aren dibandingkan gula rafinasi yang umumnya telah kehilangan fraksi mineralnya selama proses pemurnian.

Kalium teridentifikasi sebagai mineral dominan dalam nira aren, di mana konsentrasinya berfluktuasi secara signifikan bergantung pada variabel lingkungan seperti pola musim dan ketinggian lokasi pertumbuhan tanaman. Selain kalium, nira aren juga diperkaya oleh kalsium dan magnesium yang berkontribusi terhadap densitas tulang serta regulasi proses metabolik tubuh. Sementara itu, meskipun fosfor ditemukan dalam konsentrasi yang lebih rendah dibandingkan mineral lainnya, unsur tersebut tetap memegang peranan vital dalam memfasilitasi metabolisme energi dan integritas fungsi seluler (Lantemona *et al.*, 2023).

Unsur mikro seperti zat besi (Fe) dan natrium (Na) turut teridentifikasi dalam komposisi nira aren. Zat besi berkontribusi langsung pada potensi antioksidan nira karena fungsinya sebagai kofaktor esensial bagi enzim katalase dan peroksidase. Enzim tersebut bekerja secara spesifik dengan mengkatalisis degradasi radikal hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) menjadi molekul air dan oksigen yang lebih stabil, sehingga meminimalisir risiko kerusakan oksidatif pada komponen nutrisi lainnya (Adriani *et al.*, 2025; Yunos, Sulaiman, Yusuf, & Ghazali, 2018).

Gula aren yang dievaporasi pada kondisi vakum menunjukkan kandungan fosfor sebesar 8.645,20 ± 15,72 mg/kg, kalsium sebesar 108,65 ± 0,36 mg/kg, magnesium 207,82 ± 0,67 mg/kg dan kalium 4.315,30 ± 104,54 mg/kg. Sementara, metode evaporasi pada panci terbuka menghasilkan kandungan magnesium sebesar 289,22 ± 0,88 mg/kg dan

kalium  $6.412,8 \pm 56,41$  mg/kg. Gula aren yang dibuat menggunakan metode pengeringan beku menunjukkan kandungan mineral yang moderat yaitu magnesium sebesar  $264,02 \pm 0,64$  mg/kg, kalium sebesar  $5.569,70 \pm 141,39$  mg/kg, kalsium sebesar  $68,83 \pm 0,56$  mg/kg, dan fosfor sebesar  $1.381,30 \pm 21,90$  mg/kg (Yunos *et al.*, 2018).

Data kuantitatif mineral spesifik pada nira aren segar lebih terbatas. Kadar abu gula aren rafinasi dilaporkan sebesar 0,016–0,018%, sementara pada nira aren segar sebesar 0,24–0,4% (Hutami *et al.*, 2023). Data tersebut menunjukkan bahwa proses pengolahan seperti pemurnian dapat mengurangi kandungan mineral secara signifikan. Nira aren segar yang diolah secara minimal memiliki kandungan nutrisi mineral yang lebih baik dibandingkan produk gula aren yang telah melalui proses pemurnian.

Perbedaan kadar mineral antar metode pengolahan menunjukkan bahwa proses evaporasi dan pengeringan memengaruhi retensi mineral pada produk akhir. Perbedaan data retensi mineral antar metode pengolahan memperlihatkan bahwa metode pengolahan tradisional menggunakan panci terbuka lebih baik dalam mempertahankan beberapa mineral seperti kalium dan magnesium dibandingkan dengan teknologi pengolahan modern (evaporasi vakum dan pengeringan beku). Secara detail, perbandingan profil mineral pada berbagai metode pengolahan dirangkum pada tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan profil mineral nira aren berbagai metode pengolahan

| Mineral        | Nira Aren Segar (%) | Evaporasi Vakum (mg/kg) | Evaporasi Terbuka (mg/kg) | Freeze Drying (mg/kg) |
|----------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Kalium (K)     | -                   | 4.315,3                 | 6.412,8                   | 5.569,7               |
| Kalsium (Ca)   | 0,06                | 108,65                  | -                         | 68,83                 |
| Magnesium (Mg) | -                   | 207,82                  | 289,22                    | 265,02                |
| Fosfor (P)     | 0,07                | 8.645,2                 | -                         | 1.381,3               |

### Profil Asam Amino

Nira aren memiliki profil asam amino yang melimpah dan cukup beragam, sebuah karakteristik yang tidak ditemukan pada gula rafinasi konvensional. Dokumentasi oleh

(Meghwal, 2021) menunjukkan adanya 17 jenis asam amino yang berperan sebagai prekursor sintesis protein serta pendukung mekanisme pertahanan imun tubuh. Kandungan asam amino ini memberikan densitas nutrisi yang lebih variatif dibandingkan gula pasir biasa. Secara khusus, nira aren berpotensi menjadi pelengkap gizi karena kadar lisinnya ( $>0,2$  g/100 g) dapat substitusi kekurangan asam amino pembatas pada komoditas beras, jagung, dan gandum. Di sisi lain, kehadiran asam glutamat dan asam aspartat berperan sebagai komponen pembentuk flavor yang khas, baik pada nira segar maupun produk turunannya (Abdurrahman Adeleye Badmus, Yus Aniza Yusof, Nyuk Ling Chin, & Norashikin Abd Aziz, 2016).

Analisis komprehensif terhadap serbuk nira aren hasil pengeringan semprot (*spray drying*) mendokumentasikan retensi asam amino yang signifikan, dengan konsentrasi lisin mencapai 0,218–0,224 g/100 g. Selain lisin, profil asam amino pada produk turunan tersebut didominasi oleh asam glutamat (0,242–0,245 g/100 g), asam aspartat (0,096–0,102 g/100 g), dan alanin (0,093–0,095 g/100 g). Meskipun ditemukan dalam kadar yang lebih rendah, kehadiran asam amino esensial dan non-esensial lainnya seperti metionin, treonin, arginin, serin, glisin, leusin, isoleusin, valin, prolin, tirosin, dan hidroksiprolin melengkapi keragaman mikronutrien yang membedakan produk olahan nira aren dengan sumber gula kristal lainnya (Abdurrahman Adeleye Badmus *et al.*, 2016).

Pengolahan termal dalam produksi gula aren secara tradisional dapat mempengaruhi komposisi asam amino pada produk yang dihasilkan. Pemanasan selama evaporasi meningkatkan interaksi antara gula pereduksi dan gugus amino bebas, sehingga mempercepat reaksi Maillard. Reaksi kimiawi kompleks ini tidak hanya memicu pembentukan pigmen cokelat (melanoidin) dan senyawa volatil aromatik, tetapi juga berkontribusi pada munculnya molekul antioksidan baru (Abdurrahman Adeleye Badmus *et al.*, 2016). Namun, jalur reaksi yang sama juga bertanggung jawab atas degradasi asam amino esensial, khususnya lisin, yang

mengakibatkan penggelapan warna produk secara berlebih (Jayanudin, Kurniawan, & Kustiningsih, 2019). Hal ini dibuktikan dengan menurunnya konsentrasi asam amino lisin, glutamin, asparagin, dan arginin selama proses pemanasan. Oleh karena itu pengaturan suhu dan lama pemanasan perlu dikontrol untuk meminimalkan degradasi asam amino esensial serta mencapai atribut sensoris yang disukai konsumensine (Gunawan *et al.*, 2020; Maryani, Rochmat, Jayanudin, & Kurniawan, 2020; Sarkar, Mukherjee, Roy, & Chakraborty, 2023). Secara detail, profil asam amino serbuk nira aren hasil *spray drying* disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. Profil asam amino serbuk nira aren hasil *spray drying*.

| Jenis Asam Amino | Konsentrasi (g/100 g)    | Kategori               |
|------------------|--------------------------|------------------------|
| Asam Glutamat    | 0,242-0,245              | Non esensial (flavor)  |
| Lisin            | 0,218-0,224              | Esensial (pembatas)    |
| Asam Aspartat    | 0,096-0,102              | Non esensial (flavor)  |
| Alanin           | 0,093-0,095              | Non esensial           |
| Lainnya          | Ditemukan (kadar rendah) | Pelengkap mikronutrien |

### Senyawa Fenolik

Kelompok senyawa polifenol merupakan komponen bioaktif utama yang ditemukan dalam nira aren. Secara fisiologis, senyawa ini berfungsi sebagai mekanisme pertahanan tanaman terhadap stres lingkungan dan serangan hama (Šamec, Karalija, Šola, Vujčić Bok, & Salopek-Sondi, 2021). Komponen fenolik bertindak sebagai prekursor dalam pembentukan karakteristik warna coklat dan profil aroma melalui reaksi polimerisasi oksidatif selama proses evaporasi. Namun, pemanasan yang terlalu ekstrem dapat merusak struktur cincin fenolik tersebut, sehingga menurunkan efektivitasnya sebagai antioksidan (Serra, Anthony, Boscolo Sesillo, Masia, & Musacchi, 2021).

Senyawa fenolik merupakan kelompok senyawa metabolit sekunder yang sangat beragam, ditandai dengan satu atau lebih gugus hidroksil yang terikat pada cincin aromatik. Pada nira aren, kandungan senyawa fenolik total (*Total Phenolic Content/TPC*)

dapat diukur menggunakan metode spektrofotometri, terutama uji Folin-Ciocalteu, dengan hasil yang dinyatakan dalam miligram ekuivalen asam galat (GAE) per gram atau liter sampel (Abdurrahman Adeleye Badmus *et al.*, 2016; Kurniawan, Jayanudin, Kustiningsih, & Adha Firdaus, 2018).

Akumulasi TPC pada nira aren menunjukkan variasi signifikan yang berkorelasi erat dengan asal geografis serta kondisi pengolahan. Studi komprehensif pada beberapa sentra produksi di Sumatera Barat mendokumentasikan fluktuasi nilai TPC yang cukup besar, yakni berkisar antara 46,32 hingga 499,32 mg GAE/g. Perbedaan komposisi fitokimia yang mencolok tersebut dipengaruhi secara fundamental oleh faktor edafik (lingkungan), diversitas genetik tanaman, serta efektivitas penanganan pascapanen. Di antara wilayah yang diobservasi, sampel asal Tanah Datar (TLM A) mencatatkan konsentrasi fenolik tertinggi, yang mengindikasikan bahwa Perbedaan kondisi tanah, suhu, dan intensitas cahaya diduga memengaruhi aktivitas enzim fenilalanin amonia-liase (PAL) yang berperan dalam biosintesis senyawa fenolik (T. Anggraini, Azima, *et al.*, 2025).

Kandungan senyawa fenolik dalam nira aren menunjukkan nilai yang sebanding, bahkan dalam beberapa kasus melampaui kadar fenolik pada berbagai spesies palma lainnya yang umum dimanfaatkan sebagai pemanis alami non-tebu. Keberadaan konstituen fenolik ini merupakan komponen kunci yang menentukan atribut sensoris sekaligus profil fungsional produk akhir (Abdurrahman Adeleye Badmus *et al.*, 2016; Sarkar *et al.*, 2023). Lebih lanjut, aplikasi teknologi pengolahan seperti *spray drying* terbukti memberikan pengaruh signifikan terhadap efisiensi retensi senyawa bioaktif tersebut. Temuan tersebut menunjukkan pentingnya pengendalian parameter pengolahan untuk mempertahankan kadar senyawa fenolik (Jayanudin *et al.*, 2019).

Secara umum, nira aren segar mencatatkan konsentrasi senyawa fenolik yang lebih tinggi dibandingkan dengan produk turunannya. Penurunan kadar ini merupakan konsekuensi dari paparan panas serta proses

oksidasi selama pengolahan yang memicu degradasi maupun transformasi struktural pada molekul-molekul yang bersifat termolabil tersebut. Pada metode produksi gula aren secara tradisional, durasi pemanasan yang panjang terbukti menurunkan retensi fenolik akibat dekomposisi termal dan reaksi oksidatif yang berkelanjutan. Fenomena ini menegaskan urgensi optimasi parameter proses guna meminimalkan kehilangan senyawa fitokimia serta mempertahankan nilai fungsional produk akhir bagi kesehatan (Maryani *et al.*, 2020).

### Senyawa Flavonoid

Flavonoid merupakan subkelas dari polifenol yang dicirikan oleh struktur kerangka karbon C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub> yang terdiri dari dua cincin aromatik dengan jembatan tiga karbon. Senyawa ini memiliki peran signifikan dalam berbagai aktivitas biologis serta mendasari kapasitas antioksidan pada berbagai produk pangan nabati (Yamamoto *et al.*, 2021). Dalam analisis nira aren, kuantifikasi flavonoid total (*Total Flavonoid Content*/TFC) umumnya ditentukan secara spektrofotometri melalui uji kolorimetri aluminium klorida (AlCl<sub>3</sub>). Data hasil analisis tersebut dipresentasikan dalam satuan miligram ekuivalen kuersetin (QE) atau ekuivalen katekin (CE) per gram atau liter sampel (Abdurrahman Adeleye Badmus *et al.*, 2016; Kurniawan *et al.*, 2018). Sementara, uji kualitatif flavonoid dalam nira aren telah dikonfirmasi melalui skrining fitokimia menggunakan reagen Mayer. Penggunaan reagen dapat mengidentifikasi senyawa flavonoid bersama dengan kelompok metabolit sekunder lainnya seperti alkaloid saponin, dan tanin. Interaksi antara flavonoid, fenolik, dan vitamin C diduga berkontribusi terhadap aktivitas antioksidan nira aren (Putri, Ratnayanti, Sugiritama, & Arijana, 2021).

Kandungan flavonoid total yang dilaporkan dalam berbagai studi mengenai nira aren dan produk turunannya menunjukkan variasi yang cukup signifikan. Perbedaan nilai kuantitatif tersebut dipengaruhi oleh asal bahan baku, kondisi fermentasi atau pemanasan, serta metode analisis yang digunakan. Sebagai contoh, pada produk turunan berupa cuka aren, analisis fitokimia menunjukkan kandungan flavonoid sebesar 1,03 mg/100 g QE yang diukur menggunakan

metode kolorimetri berbasis kuersetin sebagai standar (rentang kurva standar 0–100 µg/mL) (Indrayoni, Ananta, & Padmiswari, 2022; Kurniawan *et al.*, 2018; Maryani *et al.*, 2020).

Penelitian mengenai gulas aren yang diproses menggunakan metode evaporasi terbuka menunjukkan bahwa parameter suhu berperan penting dalam menentukan kadar flavonoid akhir. Salah satu studi melaporkan bahwa pada suhu 55°C kadar flavonoid sebesar 1,72 ± 0,013 mg QE/g gula, meningkat pada 65°C menjadi 2,46 ± 0,023 mg QE/g, kemudian menurun pada 75°C (1,32 ± 0,031 mg QE/g), 85°C (1,18 ± 0,012 mg QE/g), dan 100°C (0,88 ± 0,012 mg QE/g) (Hadi, Aulia Ramadani, Rahmadina, Qadry Sukmana, & Nastiti, 2024). Pola tersebut menunjukkan bahwa suhu menengah (65°C) memberikan retensi flavonoid tertinggi, sedangkan peningkatan suhu lebih lanjut menyebabkan penurunan kadar secara bertahap. Penurunan ini berkaitan dengan sifat flavonoid sebagai senyawa polar yang rentan terhadap oksidasi dan degradasi termal (Abdurrahman Adeleye Badmus *et al.*, 2016). Sejalan dengan hal tersebut, teknik *foam-mat drying* dengan aplikasi berbagai jenis enkapsulan telah dikembangkan sebagai strategi untuk memproteksi komponen bioaktif selama transformasi nira cair menjadi bentuk serbuk. Pemilihan bahan penyalut (seperti maltodekstrin, gum arab, atau protein *whey*) secara signifikan menentukan stabilitas serta bioavailabilitas flavonoid pada produk akhir yang dihasilkan (T. Anggraini, Azima, *et al.*, 2025).

Meskipun potensi bioaktif nira aren telah diteliti secara ekstensif, kuantifikasi flavonoid secara total maupun secara spesifik seperti kuersetin, kempferol, katekin, epikatekin, maupun rutin sangat terbatas dalam literatur ilmiah selama 10 tahun terakhir. Sebagian besar studi yang tersedia lebih menitikberatkan skrining kualitatif terhadap senyawa flavonoid. Keterbatasan data mengenai identifikasi flavonoid spesifik menunjukkan perlunya analisis berbasis kromatografi seperti HPLC atau LC-MS sehingga dapat menjadi landasan utama dalam mengungkap mekanisme bioaktivitas secara akurat

sekaligus mendukung pengembangan produk pangan fungsional yang lebih terprediksi.

### Vitamin C (Asam Askorbat)

Nira aren segar mengandung asam askorbat dalam jumlah yang signifikan dengan konsentrasi mencapai kisaran 13,25 mg/100 mL (T. Anggraini, Azima, *et al.*, 2025). Keberadaan vitamin C tersebut berkontribusi pada profil rasa asam segar yang menjadi karakteristik sensoris nira hasil sadapan sekaligus berperan sebagai agen antioksidan yang bersinergi dengan senyawa polifenol. Selain nilai fungsionalnya dalam mendukung sistem imun dan penyerapan zat besi, konsentrasi asam askorbat ini turut memengaruhi stabilitas pH nira yang berada pada rentang 6,0 hingga 7,5. Namun, sifatnya yang termolabil menyebabkan vitamin C sangat rentan terhadap degradasi selama proses pengolahan termal. Pemanasan konvensional sering kali menghasilkan distribusi panas yang tidak seragam sehingga berisiko memicu reaksi pencokelatan lanjut serta pembentukan produk degradasi gula seperti furfural dan hidrosimetilfurfural atau HMF. Sebaliknya, aplikasi teknologi ohmic heating menawarkan solusi melalui pemanasan yang lebih terkontrol sehingga mampu meminimalkan kerusakan komponen bioaktif dibandingkan metode pemanasan tradisional (Widyasari, Argo, Latriyanto, & Wijana, 2025). Profil asam organik nira aren disajikan pada tabel 4.

Tabel 4. Profil asam organik nira aren

| Jenis Asam Organik | Peran dalam Nira/Gula Aren          | Referensi                                   |
|--------------------|-------------------------------------|---|
| Asam askorbat      | Antioksidan alami, perlindungan sel | (Victor <i>et al.</i> , 2023)               |
| Asam malat         | Memberikan aroma dan rasa segar     | (T. Anggraini, Azima, <i>et al.</i> , 2025) |
| Asam sitrat        | Regulator keasaman (pH)             | (T. Anggraini, Azima, <i>et al.</i> , 2025) |
| Asam suksinat      | Produk antara metabolisme energi    | (Hutami <i>et al.</i> , 2023)               |
| Asam laktat/asetat | Indikator awal                      | (Mussa, 2014; Nina, 2023)                   |

### Faktor-faktor yang Memengaruhi Profil Fitokimia

Berbagai faktor berperan penting dalam menentukan profil polifenol dan flavonoid pada nira aren, yang meliputi variabel intrinsik seperti aspek genetik dan fisiologis, serta variabel ekstrinsik yang mencakup kondisi lingkungan dan metode pengolahan. Uraian mengenai kontribusi setiap variabel terhadap dinamika kandungan senyawa bioaktif tersebut dijelaskan dalam poin-poin di bawah ini:

1. Letak Geografis dan Faktor Lingkungan  
 Penelitian terhadap nira aren dari berbagai sentra produksi di Sumatera Barat mengungkapkan adanya variasi kadar fenolik yang signifikan antarwilayah dengan rentang nilai antara 46,32 hingga 499,32 mg GAE/g. Perbedaan tersebut diduga berkaitan erat dengan keragaman kondisi lingkungan seperti komposisi unsur hara pada tanah, ketinggian, pola curah hujan, suhu, serta intensitas cahaya matahari. Berbagai parameter lingkungan ini secara bersama-sama memengaruhi laju biosintesis metabolit sekunder di dalam jaringan tanaman sebagai bentuk respon fisiologis. Selain pengaruh eksternal, keragaman genetik pada populasi *A. pinnata* di setiap wilayah diduga turut menentukan variabilitas profil fitokimia yang dihasilkan (T. Anggraini, Azima, *et al.*, 2025)
2. Proses pemanenan dan pascapanen  
 Tingkat kesegaran nira merupakan aspek penting yang menentukan komposisi fitokimianya. Nira segar umumnya memiliki konsentrasi senyawa bioaktif yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan nira yang telah mengalami fermentasi maupun oksidasi. Studi mengenai dinamika perubahan kualitas nira aren menunjukkan bahwa aktivitas enzimatis dan mikrobiologis secara drastis mengubah komposisi kimiawi nira sesaat setelah proses penyadapan, yang berujung pada degradasi senyawa fenolik serta penurunan kapasitas antioksidan (Victor *et al.*, 2023). Oleh karena itu, penerapan teknik pemanenan yang tepat, penanganan segera pasca penyadapan, serta penggunaan bahan pengawet alami sangat

diperlukan untuk menjaga stabilitas komponen fitokimia di dalamnya (Herdianto Lantemona, 2013).

### 3. Pengolahan Termal

Proses pemanasan merupakan tahapan utama dalam produksi gula aren secara tradisional. Prosedur ini secara signifikan memengaruhi stabilitas kadar fenolik dan flavonoid di dalamnya. Penelitian mengenai durasi pemanasan pada pengolahan gula aren menunjukkan bahwa paparan suhu tinggi yang berkepanjangan memicu degradasi termal pada polifenol dan flavonoid, yang berujung pada penurunan aktivitas antioksidan produk. Hubungan antara waktu pemanasan dan retensi fitokimia diketahui bersifat non-linear, di mana fase awal pemanasan menyebabkan kehilangan senyawa bioaktif secara drastis yang kemudian diikuti oleh laju degradasi yang lebih melambat. Oleh karena itu, optimasi parameter pemanasan yang mencakup kontrol suhu, durasi, dan teknik pengolahan menjadi faktor kunci untuk menyeimbangkan antara efisiensi kristalisasi gula, keamanan mikrobiologis, serta menjaga kandungan komponen bioaktif (Maryani *et al.*, 2020).

### 4. Metode Pengeringan

Konversi nira cair menjadi bentuk serbuk memerlukan proses pengeringan yang dapat dilakukan melalui berbagai metode, seperti spray drying, foam mat drying, pengeringan vakum, maupun freeze drying (Abdurrahman Adeleye Badmus *et al.*, 2016; T. Anggraini, Anwar, *et al.*, 2025). Setiap metode memberikan pengaruh yang berbeda terhadap persentase sisa senyawa fitokimia. Meskipun sangat efisien dan populer di industri, metode spray drying membuat bahan terpapar oleh suhu tinggi yang berisiko merusak komponen yang sensitif terhadap panas (Abdurrahman Adeleye Badmus *et al.*, 2016; Jayanudin *et al.*, 2019).

Sebaliknya, teknik *foam mat drying* dengan penambahan bahan penyalut menawarkan perlindungan yang lebih baik bagi senyawa bioaktif melalui pengurangan durasi paparan panas dan pembentukan matriks pelindung di sekitar molekul sensitif. Pemilihan metode serta pengaturan parameter operasional yang meliputi suhu inlet/outlet,

laju aliran, serta jenis dan konsentrasi bahan pengisi terbukti secara nyata memengaruhi profil fitokimia dan kapasitas antioksidan akhir pada serbuk nira aren (Abdurrahman Adeleye Badmus *et al.*, 2016).

### 5. Kondisi Penyimpanan

Meskipun studi mengenai aspek ini masih terbatas, kondisi penyimpanan yang mencakup parameter suhu, kelembapan, paparan cahaya, serta jenis kemasan diduga kuat memengaruhi stabilitas polifenol dan flavonoid, baik dalam bentuk nira cair maupun produk kering. Proses oksidasi, degradasi enzimatis, serta perubahan kimiawi akibat fluktuasi kelembapan dapat memicu penurunan kadar fitokimia selama masa simpan. Fenomena tersebut menekankan pentingnya pemilihan material kemasan yang tepat serta penerapan standar penyimpanan yang sesuai guna mempertahankan mutu produk dalam jangka panjang.

### Aktivitas Antioksidan

Evaluasi kapasitas antioksidan pada nira aren umumnya dilakukan menggunakan berbagai metode standar yang meliputi pengujian peredaman radikal bebas 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl atau DPPH, ferric reducing antioxidant power atau FRAP, serta ABTS *radical cation decolorization assay*. Kapasitas penangkapan radikal bebas tersebut memiliki korelasi positif dengan konsentrasi senyawa fenolik dan asam askorbat yang terkandung dalam nira aren maupun turunannya (Chaves, Santiago, & Alías, 2020). Konsumsi produk pemanis yang diperkaya dengan komponen antioksidan alami ini berpotensi membantu tubuh dalam mencegah stres oksidatif yang menjadi faktor risiko utama proses terjadinya berbagai penyakit degeneratif seperti diabetes tipe 2 dan penyakit jantung. Selain keunggulan fungsional tersebut, nira aren yang diproses menjadi gula juga memiliki karakteristik glikemik yang lebih baik dengan nilai Indeks Glikemik atau IG yang relatif rendah pada rentang 35 hingga 45 jika dibandingkan dengan gula tebu (Anbarasan, Ramyaa, & Mahendran, 2024; Mussa, 2014).

Uji DPPH merupakan metode yang menghitung kemampuan senyawa antioksidan dalam mendonorkan atom hidrogen atau

elektron guna menetralkan radikal bebas dan telah diaplikasikan secara luas untuk mengevaluasi kapasitas antioksidan nira A. pinnata. Berbagai penelitian melaporkan bahwa aktivitas peredaman radikal DPPH pada komoditas ini menunjukkan variasi yang dipengaruhi oleh konsentrasi sampel, teknik pengolahan, serta profil fitokimia di dalamnya. Produk serbuk nira aren yang dihasilkan melalui proses pengeringan semprot menunjukkan aktivitas peredaman radikal yang nyata dengan daya hambat yang berkorelasi positif terhadap konsentrasi senyawa fenolik dan flavonoid (Abdurrahman Adeleye Badmus *et al.*, 2016; Kurniawan *et al.*, 2018).

Penelitian yang dilakukan oleh (Abdurrahman Adeleye Badmus *et al.*, 2016) terhadap serbuk nira aren hasil *spray drying* memperlihatkan kadar polifenol yang tinggi bersamaan dengan kapasitas antioksidan yang signifikan. Serbuk tersebut menunjukkan aktivitas peredaman radikal bebas DPPH pada rentang 26,81% hingga 28,74% serta kapasitas reduksi ferri atau FRAP sebesar 0,539 hingga 0,550  $\mu\text{mol/g}$ . Temuan tersebut mengindikasikan bahwa nira aren dapat dikonversi menjadi bentuk serbuk yang stabil dengan tetap mempertahankan integritas senyawa bioaktifnya sehingga sangat potensial untuk diformulasikan menjadi minuman fungsional yang kaya akan antioksidan

Penelitian terhadap nira dari berbagai sentra produksi di Sumatera Barat menunjukkan bahwa kapasitas antioksidan menunjukkan variasi yang dipengaruhi oleh tingkat konsentrasinya. Temuan penting dalam studi tersebut mengungkapkan bahwa kandungan polifenol total bukan merupakan satu-satunya faktor penentu bagi kapasitas antioksidan yang dihasilkan. Sampel dengan aktivitas antioksidan tertinggi tidak selalu berkorelasi lurus dengan kadar polifenol total yang paling tinggi, yang mengindikasikan adanya peran signifikan dari variabel lain. Hal ini mencakup komposisi profil fenolik secara spesifik, interaksi sinergis antarmolekul, serta kontribusi dari komponen antioksidan non-fenolik seperti vitamin, mineral, dan asam amino bebas (T. Anggraini, Azima, *et al.*, 2025).

Selain uji penangkapan radikal, evaluasi kapasitas antioksidan nira aren juga dilakukan melalui uji FRAP untuk mengukur kemampuan reduksi ion ferri ( $\text{Fe}^{3+}$ ) menjadi ion fero ( $\text{Fe}^{2+}$ ) oleh senyawa bioaktif. Prosedur ini sangat dibutuhkan sebagai data pelengkap karena berfokus pada mekanisme transfer elektron tunggal (single electron transfer) yang berbeda dengan mekanisme donor hidrogen pada uji DPPH atau ABTS. Karakterisasi menggunakan metode FRAP mempertegas fungsionalitas nira aren sebagai sumber antioksidan yang memiliki daya reduksi kuat dalam mencegah stres oksidatif (Kurniawan *et al.*, 2018).

(Yunos *et al.*, 2018) mengungkapkan bahwa produk gula aren memiliki aktivitas kelasi ion logam yang merupakan mekanisme penting dalam mendukung fungsi antioksidan secara keseluruhan. Dalam studi tersebut, sirup aren yang diproses melalui penguapan vakum mencatatkan aktivitas pengikatan ion fero ( $\text{Fe}^{2+}$ ) tertinggi yaitu sebesar 28,20%, disusul oleh produk hasil *freeze drying* sebesar 26,31% serta produk hasil pemasakan suhu terbuka sebesar 12,75%. Mekanisme kelasi ini melibatkan penstabilan ion logam serta penurunan potensial redoks sehingga senyawa-senyawa tersebut dianggap efektif sebagai antioksidan sekunder. Keberadaan konstituen aktif dalam gula aren mampu mengikat ion ( $\text{Fe}^{2+}$ ) guna mencegah berlangsungnya reaksi oksidasi yang dikatalisis oleh logam yang selama ini diketahui berkontribusi pada kerusakan seluler dan proses penuaan dini.

Kapasitas antioksidan nira aren sangat dipengaruhi oleh metode pengolahan yang digunakan, di mana nira segar umumnya menunjukkan aktivitas peredaman radikal yang lebih tinggi dibandingkan dengan produk hasil olahan menggunakan panas (Maryani *et al.*, 2020; Victor *et al.*, 2023). Meskipun demikian, aplikasi teknik pengolahan yang telah dioptimalkan seperti pemanasan terkendali yang diintegrasikan dengan bahan penyalut terbukti mampu menjaga stabilitas aktivitas antioksidan pada produk akhir. Pengendalian proses pengolahan dan penyimpanan diperlukan untuk mempertahankan aktivitas antioksidan selama

masa simpan (Abdurrahman Adeleye Badmus *et al.*, 2016; T. Anggraini, Azima, *et al.*, 2025).

Sebagai perbandingan, nira aren mencatatkan kapasitas antioksidan yang sangat unggul apabila disandingkan dengan berbagai jenis pemanis alami maupun produk turunan dari tanaman palma lainnya. Kandungan senyawa fenolik pada gula aren lebih tinggi dibandingkan gula rafinasi, sehingga berpotensi memberikan aktivitas antioksidan yang lebih. Kondisi tersebut diakibatkan oleh proses pemurnian intensif pada gula tebu konvensional yang mengakibatkan hilangnya hampir seluruh senyawa bioaktif asli yang memiliki nilai fungsional bagi kesehatan (Sarkar *et al.*, 2023; Yunos *et al.*, 2018). Dengan demikian, retensi komponen antioksidan pada nira aren menjadi faktor penting yang menentukan keunggulan mutunya sebagai produk pangan fungsional.

### **Arah Penelitian Masa Depan**

Meskipun kajian mengenai komposisi kimia dan aktivitas antioksidan nira aren telah berkembang dalam satu dekade terakhir, masih terdapat sejumlah aspek yang memerlukan pendalaman lebih lanjut untuk mendukung pengembangan produk berbasis nira yang berstandar ilmiah dan bermanfaat bagi industri.

#### **1. Standarisasi Metode Analisis Senyawa Bioaktif**

Sebagian besar penelitian yang telah dilakukan masih menggunakan metode spektrofotometri konvensional seperti Folin–Ciocalteu untuk total fenolik dan uji  $AlCl_3$  untuk total flavonoid. Metode tersebut bersifat non-spesifik dan rentan terhadap interferensi senyawa lain seperti gula pereduksi dan asam askorbat. Penelitian lanjutan perlu diarahkan pada penggunaan teknik kromatografi resolusi tinggi (HPLC-DAD, LC-MS/MS, atau UPLC) untuk mengidentifikasi profil fenolik dan flavonoid secara spesifik, menentukan senyawa dominan yang berkontribusi terhadap aktivitas antioksidan, dan membandingkan variasi komposisi antar lokasi dan metode pengolahan. Pendekatan tersebut diharapkan mampu menghasilkan data yang lebih akurat dibandingkan kuantifikasi total berbasis spektrofotometri.

#### **2. Studi Kinetika Degradasi Selama Pengolahan Termal**

Sebagian besar studi hanya melaporkan perbedaan kadar sebelum dan sesudah pengolahan tanpa menganalisis mekanisme degradasi. Penelitian selanjutnya perlu mengembangkan model kinetika degradasi untuk senyawa fenolik, flavonoid, vitamin C, asam amino esensial. Pemodelan berbasis reaksi orde pertama atau pendekatan Arrhenius dapat digunakan untuk menentukan energi aktivasi degradasi selama evaporasi terbuka, evaporasi vakum, maupun teknologi pemanasan alternatif seperti ohmic heating.

#### **3. Evaluasi Bioavailabilitas dan Aktivitas Biologis In Vivo**

Sebagian besar laporan mengenai aktivitas antioksidan masih terbatas pada uji in vitro (DPPH, FRAP, ABTS). Nilai tersebut belum tentu mencerminkan efek biologis di dalam tubuh. Oleh karena itu, diperlukan uji bioaksesibilitas menggunakan simulasi pencernaan in vitro dan studi bioavailabilitas menggunakan model hewan atau uji klinis skala kecil sehingga mampu memperjelas signifikansi fisiologis klaim antioksidan nira aren.

#### **4. Stabilitas Selama Penyimpanan dan Desain Kemasan**

Data mengenai perubahan senyawa bioaktif selama penyimpanan masih terbatas. Studi lanjutan perlu mengevaluasi pengaruh lingkungan (suhu, kelembapan, dan intensitas Cahaya) serta Perubahan TPC, TFC, dan aktivitas antioksidan selama waktu simpan. Pengembangan model shelf-life yang didasarkan pada degradasi senyawa bioaktif akan sangat relevan bagi proses scale up ke skala industri.

## **KESIMPULAN**

Kesimpulan memuat rumusan inti hasil penelitian sebagai jawaban dari hipotesis dan/atau tujuan penelitian (yang tidak dinyatakan dalam pendahuluan). Kesimpulan bukan berisi perulangan dari hasil dan pembahasan. Pada bagian akhir kesimpulan dapat dituliskan hal yang akan dilakukan terkait gagasan lebih lanjut dari penelitian yang telah dilakukan (*optional*). Kesimpulan

dapat dituliskan sebagai paragraf atau per poin-poin.

Tinjauan literatur terhadap publikasi dalam dekade terakhir menunjukkan bahwa nira aren memiliki komposisi kimia yang didominasi oleh sukrosa, serta mengandung gula pereduksi, asam amino, mineral esensial, dan senyawa bioaktif seperti fenolik, flavonoid, dan asam askorbat. Sintesis pustaka ini mengindikasikan bahwa senyawa bioaktif tersebut berperan dalam aktivitas antioksidan yang umumnya diukur dengan metode DPPH, FRAP, dan ABTS.

Berdasarkan analisis berbagai metode pengolahan yang dilaporkan, stabilitas komponen kimia nira aren dipengaruhi oleh parameter proses, terutama suhu dan durasi pemanasan. Evaporasi terbuka pada suhu tinggi cenderung menurunkan kadar vitamin C, flavonoid, dan beberapa asam amino, serta meningkatkan intensitas reaksi pencoklatan non-enzimatis. Sebaliknya, penggunaan teknologi dengan kontrol suhu yang lebih baik, seperti evaporasi vakum atau pengeringan terkontrol, menunjukkan retensi senyawa bioaktif yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional.

Selain faktor teknologi, variasi komposisi juga dipengaruhi oleh kondisi geografis, karakteristik tanah, dan tahap fisiologis tanaman saat penyadapan. Perbedaan ini menjelaskan variasi kadar fenolik dan kapasitas antioksidan antar wilayah produksi. Secara metodologis, sebagian besar penelitian masih menggunakan pendekatan kuantifikasi total berbasis spektrofotometri, sementara identifikasi senyawa spesifik masih terbatas. Hal ini menunjukkan bahwa pemahaman mengenai profil fitokimia nira aren belum sepenuhnya komprehensif.

Dengan demikian, berdasarkan tujuan kajian ini, dapat disimpulkan bahwa stabilitas dan kualitas kimia nira aren merupakan hasil interaksi antara faktor agroekologi dan parameter pengolahan. Pengembangan produk turunan nira aren memerlukan pengendalian proses yang terukur untuk mempertahankan komponen bioaktif serta pendekatan analisis yang lebih spesifik guna memperoleh karakterisasi kimia yang lebih akurat.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penyelesaian artikel ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada para kolega dan rekan sejawat yang telah meluangkan waktu untuk berdiskusi serta memberikan kontribusi pemikiran yang berharga dalam penyempurnaan naskah ini. Semoga ulasan ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang teknologi hasil pertanian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman Adeleye Badmus, Yus Aniza Yusof, Nyuk Ling Chin, & Norashikin Abd Aziz. (2016). Antioxidant Capacity and Phenolics of Spray Dried Arenga pinnata Juice Powder. *Journal of Agricultural Science and Technology B*, 6(3). <https://doi.org/10.17265/2161-6264/2016.03.009>
- Adalina, Y., & Sawitri, R. (2021). The vegetation structure and economic value of Arenga pinnata Merr by community surrounding forest of Mount Halimun Salak National Park, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 914(1), 012024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/914/1/012024>
- Adriani, A., Andalia, R., Hardiana, & Mustafa, I. (2025). Penetapan Kadar Mineral Kalsium Air Nira Aren Kabupaten Aceh Besar Secara Kompleksometri. *Jurnal Sains Dan Kesehatan Darussalam*, 5(1), 27–31. <https://doi.org/10.56690/jskd.v5i1.160>
- Anbarasan, R., Ramyaa, R. B., & Mahendran, R. (2024). Effect of Variations in the Concentration of Coconut Neera Syrup on Sugar Crystals Yield and Subsequent Physicochemical, Nutritional, and Thermal Property Changes. *Sugar Tech*, 26(3), 851–861. <https://doi.org/10.1007/s12355-024-01412-1>
- Anggraini, O. R., Purwati, E., Kurnia, Y. F., & Sukma, A. (2021). Chemical properties of

- nira aren (*Arenga pinnata*) from Lareh Sago Halaban District of West Sumatera, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 888(1), 012049. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/888/1/012049>
- Anggraini, T., Anwar, A., Hervani, D., Suhendra, D., Wisnubroto, M. P., Noflindawati, N., & Nasution, I. H. (2025). Quality of sugar palm sap (*Arenga pinnata*) from various production centers in West Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 26(2). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d260234>
- Anggraini, T., Azima, F., Anwar, A., Hervani, D., Suhendra, D., Wisnubroto, M. P., ... Putra, A. R. (2025). Characteristics of Sugar Palm Sap Powder (*Arenga pinnata* Merr.) Produced using the Foam-mat Drying Method with Various Encapsulant Agents. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, (Of). <https://doi.org/10.18805/ajdfr.DRF-490>
- Aryani, A. D., Irawan, T. A., Putri, D. N., & Harini, N. (2023). Pengaruh Lama Penyimpanan Nira Kental Sulfitasi Terhadap Karakteristik Nira Pada Proses Produksi Gula. *Agrisaintifika: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 7(2), 145–154. <https://doi.org/10.32585/ags.v7i2.2944>
- Chaves, N., Santiago, A., & Alías, J. C. (2020). Quantification of the Antioxidant Activity of Plant Extracts: Analysis of Sensitivity and Hierarchization Based on the Method Used. *Antioxidants*, 9(1), 76. <https://doi.org/10.3390/antiox9010076>
- El Hosry, L., Elias, V., Chamoun, V., Halawi, M., Cayot, P., Nehme, A., & Bou-Maroun, E. (2025). Maillard Reaction: Mechanism, Influencing Parameters, Advantages, Disadvantages, and Food Industrial Applications: A Review. *Foods*, 14(11), 1881. <https://doi.org/10.3390/foods14111881>
- ElGamal, R., Song, C., Rayan, A. M., Liu, C., Al-Rejaie, S., & ElMasry, G. (2023). Thermal Degradation of Bioactive Compounds during Drying Process of Horticultural and Agronomic Products: A Comprehensive Overview. *Agronomy*, 13(6), 1580. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061580>
- Erwin, E., Ismawati, I., Abdullah, S., Wiyono, S., & Maulana, I. (2025). Pemberdayaan UMKM melalui Inovasi Teknologi Vacuum Evaporasi untuk Peningkatan Kualitas Gula Aren di Provinsi Banten. *Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*, 10(3), 703–710. <https://doi.org/10.30653/jppm.v10i3.1494>
- Gunawan, W., Maulani, R. R., Hati, E. P., Awaliyah, F., Afif, A. H., & Albab, R. G. (2020). Evaluation of Palm Sap (*Neera*) Quality (*Arenga pinnata* Merr.) in Processing of House Hold Palm Sugar (Case Study on Aren Farmers in Gunung Halu Village, Gunung Halu District, West Bandung Regency). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 466(1), 012001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/466/1/012001>
- Hadi, S., Aulia Ramadani, R., Rahmadina, N., Qadry Sukmana, M. L., & Nastiti, K. (2024). Influence temperature to Flavonoid stability of palm sugar (*Arenga pinnata* Merr.) as antioxidant. *Journal of Midwifery and Nursing*, 6(2), 417–423. <https://doi.org/10.35335/jmn.v6i2.4950>
- Herdianto Lanterna, H. L. (2013). Impact of Altitude and Seasons to Volume, Brix Content, and Chemical Composition of Aren Sap in North Sulawesi. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 4(2), 42–48. <https://doi.org/10.9790/2402-0424248>
- Hutami, R., Pribadi, M. F. I., Nurcahali, F., Septiani, B., Andarwulan, N., Sapanli, K., ... Wahyudi, S. (2023). Proses Produksi Gula Aren Cetak (*Arenga pinnata* Merr.) Di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Pangan Halal*, 5(2), 119–130. <https://doi.org/10.30997/jiph.v5i2.10237>
- Indrayoni, P., Ananta, I., & Padmiswari, A. (2022). Model Aren Vinegar (*Arenga pinnata* Merr.) Phytochemical Analysis and Hypoglycemic Effects in Streptozotocin-Niacinamide-Induced

- Rats. *Proceedings of the 2nd Bali Biennial International Conference on Health Sciences*, 64–68. SCITEPRESS - Science and Technology Publications. <https://doi.org/10.5220/0011939200003576>
- Jayanudin, J., Kurniawan, T., & Kustiningsih, I. (2019). Phenolic Analysis and Characterization of Palm Sugar (*Arenga pinnata*) Produced by The Spray dryer. *Oriental Journal of Chemistry*, 35(1), 150–156. <https://doi.org/10.13005/ojc/350116>
- Kurniawan, T., Jayanudin, J., Kustiningsih, I., & Adha Firdaus, M. (2018). Palm Sap Sources, Characteristics, and Utilization in Indonesia. *Journal of Food and Nutrition Research*, 6(9), 590–596. <https://doi.org/10.12691/jfnr-6-9-8>
- Lantemona, H., Sahupala, R., & Boka, R. Y. (2023). Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) trunk bark as palm sap preservative. *Food Research*, 7(3), 98–104. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.7\(3\).942](https://doi.org/10.26656/fr.2017.7(3).942)
- Lina, G., & Min, Z. (2022). Formation and release of cooked rice aroma. *Journal of Cereal Science*, 107, 103523. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103523>
- Liu, S., Sun, H., Ma, G., Zhang, T., Wang, L., Pei, H., ... Gao, L. (2022). Insights into flavor and key influencing factors of Maillard reaction products: A recent update. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.973677>
- Mahendra, Y. I., Nuraeni, N., & Amri, A. A. (2024). Analisis Preferensi Konsumen Terhadap Produk Gula Aren. *Wiratani: Jurnal Ilmiah Agribisnis*, 7(2), 203. <https://doi.org/10.33096/wiratani.v7i2.473>
- Maryani, Y., Rochmat, A., Jayanudin, J., & Kurniawan, T. (2020). Effect of heating time on the nutritional value of sap during traditional brown sugar processing from *Arenga pinnata*. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*, 25(4), 1–7.
- Meghwal, M. (2021). An Update on Uses, Benefits and Potential Application of Neera. *Nutrition and Food Processing*, 4(8), 01–18. <https://doi.org/10.31579/2637-8914/072>
- Mita, S., Asyik, N., & Sadimantara, M. S. (2022). Karakteristik Kimia dan Organoleptik Gula Aren yang Diproduksi oleh Masyarakat Desa Tanjung Batu dan Kabangka. *Jurnal Berkala Ilmu-Ilmu Pertanian (Journal of Agricultural Sciences)*, 2(2). <https://doi.org/10.56189/jagris.v2i2.27579>
- Mussa, R. (2014). Kajian Tentang Lama Fermentasi Nira Aren (*Arenga pinnata*) Terhadap Kelimpahan Mikroba dan Kualitas Organoleptik Tuak. *BIOPENDIX: Jurnal Biologi, Pendidikan Dan Terapan*, 1(1), 56–60. <https://doi.org/10.30598/biopendixvol1issue1page56-60>
- Nina, T. (2023). Effect of Nira (*Arenga pinnata* Merr) Tapping Tools on The Abundance and Identification of Microorganisms. *Journal of Engineering and Scientific Research*, 5(2), 112–117. <https://doi.org/10.23960/jesr.v5i2.150>
- Putri, I. D. A. E. W., Ratnayanti, I. G. A. D., Sugiritama, I. W., & Arijana, I. G. K. N. (2021). Analisis Fitokimia Nira Aren dan Tuak Aren (*Arenga pinnata* (Wurmb) Merr.). *E-Jurnal Medika Udayana*, 10(6), 18. <https://doi.org/10.24843/MU.2021.V10.i6.P04>
- Rannou, C., Laroque, D., Renault, E., Prost, C., & Sérot, T. (2016). Mitigation strategies of acrylamide, furans, heterocyclic amines and browning during the Maillard reaction in foods. *Food Research International*, 90, 154–176. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.037>
- Rinawati, D. Y., Reflinur, R., Dinarti, D., & Sudarsono, S. (2021). Genetic diversity of sugar palm (*Arenga pinnata*) derived from nine regions in Indonesia based on SSR markers. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(9). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220919>
- Šamec, D., Karalija, E., Šola, I., Vujčić Bok, V., & Salopek-Sondi, B. (2021). The Role of Polyphenols in Abiotic Stress

- Response: The Influence of Molecular Structure. *Plants*, 10(1), 118. <https://doi.org/10.3390/plants10010118>
- Sarkar, T., Mukherjee, M., Roy, S., & Chakraborty, R. (2023). Palm sap sugar an unconventional source of sugar exploration for bioactive compounds and its role on functional food development. *Heliyon*, 9(4), e14788. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14788>
- Schutte, M., Hayward, S., & Manley, M. (2024). Nonenzymatic Browning and Antioxidant Properties of Thermally Treated Cereal Grains and End Products. *Journal of Food Biochemistry*, 2024, 1–20. <https://doi.org/10.1155/2024/3865849>
- Serra, S., Anthony, B., Boscolo Sesillo, F., Masia, A., & Musacchi, S. (2021). Determination of Post-Harvest Biochemical Composition, Enzymatic Activities, and Oxidative Browning in 14 Apple Cultivars. *Foods*, 10(1), 186. <https://doi.org/10.3390/foods10010186>
- Sholiha, M., Nyoman Semadi, A., & Gusti Putu Ganda, P. (2025). Karakteristik Vinegar Nira Aren terhadap Penambahan Gula dan Lama Fermentasi. *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian Agrotechno*, 10(2), 22–36. <https://doi.org/10.24843/JITPA.2025.v10.i02.p04>
- Sukmana, D. J., Suhada, A., Yanti, I. G. A. N. D., & Anam, H. (2022). Pengaruh Lama Penyimpanan terhadap Kadar “Gula Reduksi” Nira Aren dengan Penambahan Kapur Sirih. *Journal of Authentic Research*, 1(1), 33–39. <https://doi.org/10.36312/jar.v1i1.636>
- Terryana, R. T., Nugroho, K., & Lestari, P. (2020). Genetic Diversity of Sugar Palm Populations from Cianjur and Banten revealed by Simple Sequence Repeat (SSR) Markers. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 418(1), 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/418/1/012038>
- Victor, I., Wikarsa, L., & Orsat, V. (2023). Identification of Changes in the Freshness of Palm (*Arenga pinnata*) Sap. *Sugar Tech*, 25(1), 250–256. <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01181-9>
- Widyasari, R., Argo, B. D., Latriyanto, A., & Wijana, S. (2025). Changes in Volatile Components and Sugar Content of Arenga Sap (*Arenga pinnata* Sap) during the Ohmic Heating Process. *Food Science and Technology*, 13(3), 280–287. <https://doi.org/10.13189/fst.2025.130305>
- Wilberta, N., Sonya, N. T., & Lydia, S. H. R. (2021). Analisis Kandungan Gula Reduksi pada Gula Semut dari Nira Aren yang Dipengaruhi pH dan Kadar Air. *BIOEDUKASI (Jurnal Pendidikan Biologi)*, 12(1), 101. <https://doi.org/10.24127/bioedukasi.v12i1.3760>
- Yamamoto, Y., Kawamura Satoru, Ichimaru, T., Pasolon, Y. B., Pasulu, A. D., Yoshida, T., & Miyazaki, A. (2021). Sap Collection from Sugar Palms (*Arenga pinnata* Merr.) on Muna Island, Southeast Sulawesi, Indonesia. *Tropical Agriculture and Development*, 2(2), 75–83.
- Yunos, N. J., Sulaiman, A., Yusuf, N. A., & Ghazali, D. R. (2018). Sugars, Minerals Composition and Metal Ion Chelating Activity of Arenga Pinnata Syrup Using Vacuum Evaporation. *Malaysian Journal of Analytical Science*, 22(2), 264–269. <https://doi.org/10.17576/mjas-2018-2202-11>
- Zulfia, V., Ainuri, M., & Khuriyati, N. (2019). Modifikasi Parameter Produksi untuk Meningkatkan Mutu Kimia Gula Kelapa Cetak di Kabupaten Indragiri Hilir, Provinsi Riau. *Industria: Jurnal Teknologi Dan Manajemen Agroindustri*, 8(3), 197–208. <https://doi.org/10.21776/ub.industria.2019.008.03.4>
- Zuraina, W. K., Pudjianto, E., Udin, A., Kurniawati, N., Magdalena, E., & Damarjati, S. N. (2023). *Buku Statistik Perkebunan Non Unggulan 2021-2023 Revisi* (1st ed., Vol. 1; D. Gartina & R. L. L. Sukriya, Eds.). Jakarta: Sekretariat Direktorat Jenderal Perkebunan.

