

ENGINEERING OF SUGARCANE JUICE EXTRACTION PROCESS (*Saccharum officinarum* L.) USING CELLULASE AND XYLANASE ENZYMES

REKAYASA PROSES EKSTRAKSI NIRA TEBU (*Saccharum officinarum* L.) MENGGUNAKAN ENZIM SELULASE DAN XILANASE

Andrew Setiawan Rusdianto^{1*}, Herlina², Rima Wardani¹

¹Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember, Kampus Tegal Boto, Jember, Indonesia

²Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember, Kampus Tegal Boto, Jember, Indonesia

Diterima 22 Agustus 2025/ Disetujui 15 Desember 2025

ABSTRACT

*Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) is a seasonal crop processed into white crystal sugar. The juice extraction process is carried out by milling the sugarcane, during which the plant cells are easily ruptured to maximize juice release. This process takes place in a diffuser carriage equipped with 12 trays, serving as extraction chambers between the juice and the crushed bagasse. Enzyme addition is applied to degrade structural components of the cell wall, thereby accelerating juice release. This study aimed to investigate the effect of extraction time and enzyme type on the yield and characteristics of sugarcane juice, as well as to determine the optimal combination of these factors to produce juice with favorable properties, including yield, pH, brix, pol, viscosity, juice color, and purity (HK). The best treatment was determined using the De Garmo method, while data were analyzed using ANOVA and DMRT at a 95% confidence level. Observed parameters included juice yield, pH, brix, pol, viscosity, color, and HK. Results showed that extraction time and enzyme type significantly affected pH, brix, pol, viscosity, and color attributes (L^* , a^* , b^* , chroma, hue), but had no significant effect on juice yield and HK. The best treatment (A1X1), involving cellulase addition for 10 minutes, yielded 72.13% juice, 9.29% pol, 12.68% brix, and 73.27% HK. This treatment was proven effective in enhancing sugarcane juice extraction.*

Keywords: Sugarcane juice, Enzyme, Extraction, Extraction time, Sugarcane Juice characteristics

ABSTRAK

Tebu adalah tanaman musiman yang diolah menjadi gula kristal putih. Proses pengambilan nira tebu dilakukan dengan menggiling tebu, dimana sel-sel tebu mudah hancur untuk memaksimalkan ekstraksi. Proses ini dilakukan dalam gerbong *diffuser* yang dilengkapi dengan 12 *tray* sebagai tempat ekstraksi antara nira dan ampas tebu yang dihancurkan. Penambahan enzim digunakan untuk memecah komponen struktural dinding sel, sehingga mempercepat pelepasan nira. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lama waktu ekstraksi dan jenis enzim terhadap hasil dan karakteristik nira tebu, serta untuk menentukan lama waktu ekstraksi dan jenis enzim yang tepat untuk menghasilkan nira tebu dengan karakteristik rendemen, pH, brix, pol, viskositas, warna nira, dan harkat kemurnian (HK) yang baik. Penentuan perlakuan terbaik menggunakan metode De Garmo, sedangkan analisis data dilakukan dengan ANOVA dan uji DMRT pada tingkat 95%. Parameter yang diamati meliputi hasil rendemen, pH, brix, pol, viskositas, warna, dan harkat kemurnian (HK). Hasil menunjukkan bahwa waktu ekstraksi dan jenis enzim secara signifikan mempengaruhi pH, brix, pol, viskositas, dan warna (L^* , a^* , b^* ,

* Korespondensi Penulis :
Email: andrew.ftp@unej.ac.id

chroma, hue), tetapi tidak secara signifikan mempengaruhi hasil rendemen dan HK. Perlakuan terbaik diperoleh pada perlakuan A1X1 (penambahan enzim selulase dengan lama waktu 10 menit) dengan hasil 72,13% rendemen, 9,29% pol, 12,68% brix, dan 73,27% HK. Penambahan enzim selulase dengan lama waktu 10 menit terbukti efektif dalam meningkatkan hasil nira tebu.

Kata kunci: Nira tebu, Enzim, Ekstraksi, Waktu ekstraksi, dan Karakteristik nira

PENDAHULUAN

Tebu merupakan tanaman semusim yang dapat diolah menjadi gula kristal putih. Tanaman tebu dapat diolah dengan mengambil niranya sebagai bahan baku pembuatan gula merah, gula cair, dan gula pasir. Proses pemerahan nira dilakukan dengan penggilingan tebu yang telah masak, dimana sel tebu mudah pecah sehingga proses ekstraksi dapat optimal. Kualitas gula yang baik dipengaruhi oleh bahan baku utama yakni nira tebu. Nira tebu merupakan cairan hasil pemerahan yang diperoleh dari penggilingan tebu yang memiliki warna coklat kehijauan dan aroma manis menyengat. Nira tersebut dihasilkan dari proses ekstraksi dengan cara difusi. Ulfa et al. (2020) menjelaskan salah satu bagian difusi adalah osmosis yaitu perpindahan air dari larutan yang mempunyai konsentrasi rendah ke larutan yang mempunyai konsentrasi tinggi melalui membran semipermeabel.

Metode ekstraksi adalah suatu metode yang dapat memisahkan senyawa aktif dalam suatu tanaman (Sukiman et al., 2025). Salah satu metode ekstraksi yakni infusa yang merupakan metode sediaan cair yang dibuat dengan cara mengekstraksi bahan nabati dengan pelarut air pada suhu 90°C selama 15 menit.

Pabrik Gula Kedawoeng adalah salah satu industri yang bergerak dibidang pengolahan produk gula pasir kristal dalam proses produksinya menggunakan alat modern. Pada penggilingan awal tebu melalui serangkaian proses pengecilan ukuran berupa pencacahan oleh *Cane Knife* (CK) dan penumbukan oleh *Heavy Duty Hammer Shredder* (HDHS). Batang tebu diumpankan dan dicacah melalui CK 1 dan CK 2 hingga menjadi serabut-serabut halus. Cacahan tebu kemudian diumpankan ke dalam HDHS untuk ditumbuk sehingga sel-sel tebu rusak dan terbuka untuk mempermudah proses pemerahan nira.

Proses pemerahan nira dan ampas tebu dilakukan dalam bejana *diffuser* yang terdiri dari 12 gerbong yang berfungsi sebagai tempat terjadinya ekstraksi antara nira dan cacahan ampas tebu. Dalam setiap gerbong terdapat penyiraman air imbibisi bersuhu 90-95°C, pompa sirkulasi mulai dijalankan dari depan ke belakang dari *tray* nomor 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 yaitu pada saat ampas sampai pada *tray* terakhir. Kemudian pompa sirkulasi dijalankan ke nomor 1, 3, 5, 7, 9, dan 11 hingga ampas pada bejana *diffuser* tersiram air imbibisi. Penggunaan penambahan enzim berfungsi untuk menguraikan komponen struktural dinding sel, sehingga nira lebih mudah dikeluarkan dengan tekanan yang lebih rendah atau dalam waktu penggilingan yang lebih singkat. Enzim xilanase bekerja dengan cara mendegradasi hemiselulosa, sedangkan selulase memecah selulosa menjadi gula sederhana, sehingga struktur serat tebu menjadi lebih terbuka dan mudah dipecah, dengan dipengaruhi waktu dan jenis enzim yang digunakan. Sehingga tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui jenis enzim dan lama waktu ekstraksi berpengaruh terhadap rendemen, pH, brix, pol, viskositas, warna nira, dan harkat kemurnian, serta menentukan jenis enzim dan lama waktu ekstraksi yang terjadi akan mendegradasi sukrosa dalam nira tebu sehingga menghasilkan rendemen yang tinggi dan karakteristik yang baik.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Alat yang digunakan meliputi pipet, pisau, teleman, penggaris, wadah, kain saring, termometer, pH meter ATC, refractometer Atago, viscometer, sendok, neraca analitik, gelas ukur 250 ml, gelas ukur 25 ml, alumunium foil, botol sampel, mikro pipet DragonLab, tabung reaksi, waterbath Memmert, vortex Medline, spektrofotometer vis 721, polarimeter, Chroma Meter-CR-400, laptop ASUS VivoBook E410KA, dan *software microsoft excel 2021*.

Bahan yang digunakan meliputi bahan baku utama dalam penelitian ini yaitu batang tebu yang diperoleh dari pedagang es tebu di Jl. Kalimantan, Kampus Tegal Boto, Jember, Jawa Timur. Kriteria batang tebu yang digunakan yakni batang tebu berukuran 3 meter dan bebas dari kerusakan fisik seperti bercak atau kotoran. Bahan penunjang penelitian yaitu aquades, larutan buffer pH 4, larutan buffer pH 7, serta enzim selulase dan enzim xilanase diperoleh dari PT. Sadya Balawan.

Rancangan Percobaan

Desain penelitian dianalisis menggunakan *Analisis of Varian* (ANOVA) *two way* dengan taraf kepercayaan 95%. Apabila terdapat perbedaan akan dilakukan analisis lanjutan menggunakan *Duncan's Multiple Range Test* pada signifikan 5%. Data hasil pengujian dianalisa menggunakan *software SPSS* kemudian hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel atau grafik dan disajikan secara deskriptif. Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen dengan analisis data kuantitatif. Penelitian ini dirancang dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktor ganda yakni lama waktu ekstraksi (menit) dan jenis enzim. Penelitian ini dilakukan 3 kali pengulangan pada masing-masing perlakuan. Variasi perlakuan disajikan pada tabel dibawah ini.

Waktu Ekstraksi (menit)	Enzim	
	Selulase (X1)	Xilanase (X2)
10 (A1)	A1X1	A1X2
15 (A2)	A2X1	A2X2

A1X1 : Lama waktu ekstraksi 10 menit dengan penambahan enzim selulase

A2X1 : Lama waktu ekstraksi 15 menit dengan penambahan enzim selulase

A1X2 : Lama waktu ekstraksi 10 menit dengan penambahan enzim xilanase

A2X2 : Lama waktu ekstraksi 15 menit dengan penambahan enzim xilanase

Pelaksanaan Penelitian

Ekstrak nira tebu dengan penambahan enzim dilakukan dengan menggunakan metode infusa mengacu pada (Sayah et al., 2024). Penelitian ini menggunakan 2 faktor perlakuan yaitu lama waktu ekstraksi (menit) dan jenis enzim. Batang tebu yang telah bersih dipotong menggunakan pisau menjadi ukuran 20 cm, batang yang telah dipotong dilakukan pencacahan yang mana menghasilkan berupa cacahan tebu. Kemudian tahap selanjutnya cacahan tebu di blender dengan perbandingan 1:4 dimana cacahan tebu ditimbang sebanyak 1,800 kg dan air 450 ml, sehingga menghasilkan jus tebu. Sampel yang telah di blender selanjutnya dibagi menjadi 250 ml dalam beaker glass, pencampuran menggunakan enzim selulase dan xilanase. Masing-masing enzim dilarutkan menggunakan aquades sebanyak 6,75 ml, dengan enzim selulase dan xilanase sebanyak 0,75 ml, sehingga total larutan masing-masing enzim sebanyak 7,5 ml per sampel. Proses ekstraksi infusa dilakukan menggunakan *waterbath* dengan suhu 45°C selama 10 dan 15 menit. Kemudian ekstrak yang diperoleh disaring dengan menggunakan kain saring.

Variabel yang Diamati

Variabel yang diamati dalam penelitian ini yaitu rendemen (Aristyanti et al., 2017), pH (Lestari et al., 2020), brix (Zain et al., 2020), pol (%) (Wibowo et al., 2016), viskositas/kekentalan (Sukiman et al., 2025), warna nira (Ansar et al., 2019), dan harkat kemurnian (HK) (Harjanti et al., 2024).

Perlakuan Terbaik

Penentuan perilaku terbaik dilakukan menggunakan metode indeks efektivitas De Garmo (Liputo et al., 2025). Perlakuan terbaik ditentukan dengan memberikan bobot variabel (BV) pada setiap parameter 0-1 (Aristyanti et al., 2017). Semakin tinggi bobot variabel yang diberikan, maka semakin tinggi kepentingan parameter uji. Perlakuan terbaik diperoleh dengan menjumlahkan nilai NH masing-masing variabel. Alternatif perlakuan terbaik didapatkan dari jumlah NH tertinggi. Rumus untuk menentukan nilai efektivitas (NE) dan nilai hasil (NH) sebagai berikut:

$$\text{Nilai Efektivitas (NE)} = \frac{(\text{Nilai Perlakuan} - \text{Nilai Terendah})}{(\text{Nilai Tertinggi} - \text{Nilai Terendah})} \quad (1)$$

$$\text{Nilai Hasil (NH)} = \text{Nilai Efektivitas (NE)} \times \text{Bobot normal (BN)} \quad (2)$$

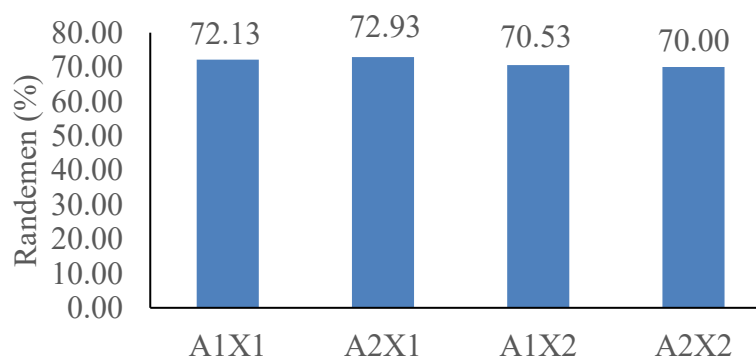
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Ekstraksi Nira Tebu

Penelitian rekayasa proses ini dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan perlakuan enzimatik terhadap ampas tebu untuk meningkatkan efisiensi ekstraksi nira. Penggunaan enzim seperti selulase dan xilanase bertujuan untuk menghidrolisis komponen penyusun dinding sel tanaman seperti selulosa dan hemiselulosa, sehingga pelepasan nira menjadi lebih optimal. Proses ini dapat diterapkan pada skala industri, khususnya di stasiun diffuser pabrik gula. Pengaplikasiannya dilakukan pada tray ke 12 yaitu tray terakhir dalam stasiun diffuser yang berfungsi sebagai tahap akhir ekstraksi nira dari ampas tebu. Pada tahap ini, sebagian besar senyawa terlarut, termasuk gula, telah diekstraksi dari ampas, sehingga perlakuan enzimatik menjadi strategis untuk memaksimalkan pelepasan nira sisa yang masih terikat dalam jaringan lignoselulosa. Penelitian ekstraksi nira tebu dengan perbedaan jenis enzim dan lama waktu ekstraksi terkait hasil parameter pengujian disajikan secara rinci berikut ini.

Rendemen Nira

Rendemen nira dianalisis dengan menggunakan metode ANOVA taraf kepercayaan 95% p -value $< 0,05$ menunjukkan bahwa ekstraksi nira tebu menggunakan enzim selulase dan xilanase berpengaruh tidak nyata terhadap nilai rendemen ekstraksi nira tebu yang dihasilkan sebesar 0,358. Hasil interaksi perbedaan jenis enzim dan lama waktu ekstraksi keduanya tidak terdapat interaksi secara signifikan sebesar 0,602. Diagram pengujian rendemen nira ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Nilai Rendemen Nira Tebu

A1X1 = enzim selulase;waktu10 menit
A2X1 = enzim selulase;waktu15 menit

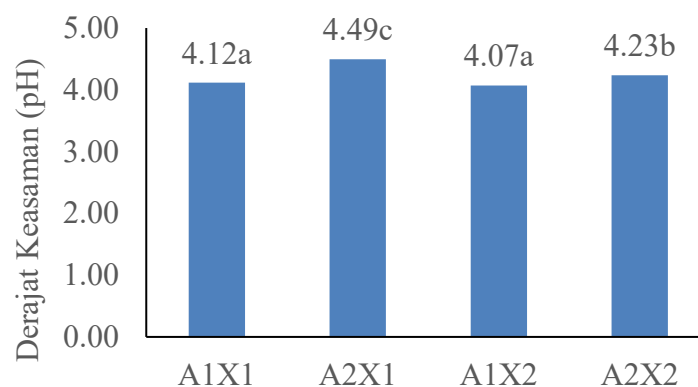
A1X2 = enzim xilanase;waktu10 menit
A2X2 = enzim xilanase;waktu15 menit

Hasil analisis berdasarkan Gambar 1 diketahui nilai rata-rata rendemen terhadap perlakuan lama waktu dan penambahan jenis enzim pada kode A1X1, A2X1, A1X2, dan A2X2 secara berurutan yaitu 72,13; 72,93; 70,53; dan 70,00. Hal ini menunjukkan bahwa jenis enzim dan lama waktu ekstraksi berpengaruh tidak nyata terhadap rendemen nira, disebabkan oleh jenis enzim selulase dan xilanase memiliki fungsi yang sama yaitu menghidrolisis hemiselulosa sehingga rendemen yang dihasilkan relatif sama. Selain itu, waktu ekstraksi pada setiap perlakuan mempunyai rentang yang dekat sehingga mempengaruhi rendemen. Faktor lain seperti homogenitas bahan baku, suhu dan pH selama proses ekstraksi juga dapat mempengaruhi efektivitas enzim. Penelitian terdahulu oleh Bhagia et al.(2019) menjelaskan bahwa secara umum, rendahnya konsentrasi jenis enzim menjadi faktor pembatas utama dalam efektivitas proses hidrolisis (memecah struktur selulosa).

Sementara itu, penggunaan enzim selulase dan xilanase merupakan kombinasi yang relatif setara untuk meningkatkan efisiensi dalam mendegradasi komponen dinding sel tebu untuk memfasilitasi pelepasan nira. Hal tersebut diperkuat oleh penelitian (Senapitakkul et al., 2020) waktu inkubasi yang singkat dapat menghambat proses degradasi, sedangkan waktu yang terlalu lama berpotensi menyebabkan denaturasi enzim dan pembentukan produk samping yang tidak diinginkan. Secara teori, kedua enzim tersebut memiliki target substrat yang berbeda, dimana selulase mendegradasi selulosa (Hidayat, 2022) dan xilanase mendegradasi hemiselulosa (Tania Widani Imanisa et al., 2023).

Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) dianalisis dengan menggunakan metode ANOVA dengan taraf kepercayaan 95% p -value < 0,05 menunjukkan bahwa ekstraksi nira tebu menggunakan enzim selulase dan xilanase memiliki pengaruh yang nyata terhadap nilai pH ekstraksi nira tebu yang dihasilkan sebesar 0,000. Hasil interaksi antara perbedaan jenis enzim dan lama waktu ekstraksi keduanya terdapat interaksi secara signifikan sebesar 0,012. Diagram pengujian derajat keasaman (pH) nira ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Nilai pH Ekstrak Nira Tebu

A1X1 = enzim selulase;waktu10 menit
A2X1 = enzim selulase;waktu15 menit

A1X2 = enzim xilanase;waktu10 menit
A2X2 = enzim xilanase;waktu15 menit

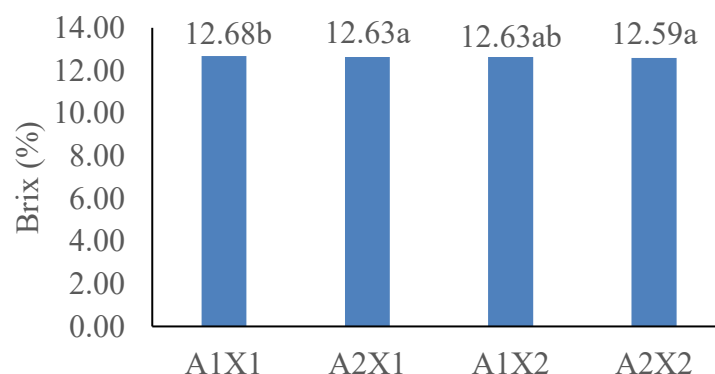
Hasil analisis nilai rata-rata pH ekstraksi nira tebu berkisaran 4,07 – 4,49. Nilai pH tertinggi pada perlakuan A2X1 dengan lama waktu ekstraksi 15 menit dan penambahan enzim selulase yaitu sebesar 4,49. Nilai pH terendah pada perlakuan A1X2 dengan lama waktu 10 menit dan penambahan enzim

xilanase yaitu sebesar 4,07. Data tersebut menunjukkan semakin lama waktu ekstraksi pH yang dihasilkan semakin meningkat, yang mana dipengaruhi oleh proses enzimatik berupa senyawa asam pada substrat tebu terurai menjadi senyawa basa lemah.

Proses hidrolisis melibatkan pemecahan polisakarida kompleks seperti selulosa dan hemiselulosa menjadi gula sederhana. Hal ini sejalan dengan penelitian Pulkan *et al* (2015) yang menyatakan bahwa semakin lama proses hidrolisis maka nilai pH meningkat, yang mana dipengaruhi oleh pelepasan ion-ion mineral dari ampas tebu selama proses ekstraksi yang lebih lama. Perbedaan jenis enzim juga berpengaruh terhadap nilai pH, yang mana enzim mempengaruhi komponen dinding sel serat ampas tebu. Enzim selulase memecah selulosa menjadi glukosa yang dapat menambah nilai pH menjadi basa. Aktivitas enzim selulase yang efektif pada waktu ekstraksi terjadi perubahan pH yang disebabkan enzim selulase memecah dinding sel tebu yang dapat membantu melepaskan glukosa dari dalam sel (Ramadhanti *et al*, 2021).

Padatan Terlarut pada Nira (Brix)

Padatan terlarut pada nira dianalisis dengan menggunakan metode ANOVA dengan taraf kepercayaan 95% p -value < 0,05 menunjukkan bahwa ekstraksi nira tebu menggunakan enzim selulase dan xilanase memiliki pengaruh yang nyata terhadap nilai brix ekstraksi nira tebu yang dihasilkan sebesar 0,024. Hasil interaksi antara perbedaan jenis enzim dan lama waktu ekstraksi keduanya tidak terdapat interaksi secara signifikan sebesar 0,668, sehingga keduanya bekerja secara terpisah dalam mempengaruhi hasil ekstraksi. Diagram pengujian brix nira ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Nilai Brix Nira Tebu

A1X1 = enzim selulase; waktu 10 menit

A2X1 = enzim selulase; waktu 15 menit

A1X2 = enzim xilanase; waktu 10 menit

A2X2 = enzim xilanase; waktu 15 menit

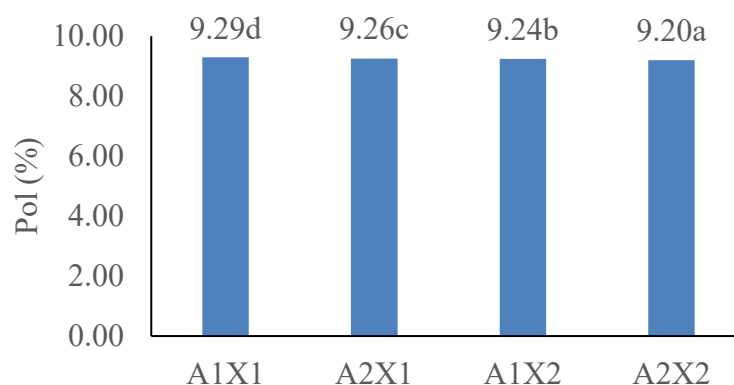
Hasil analisis nilai brix tertinggi pada perlakuan A1X1 dengan lama waktu ekstraksi 10 menit dan penambahan enzim selulase yaitu sebesar 12,68. Nilai brix terendah pada perlakuan A2X2 dengan lama waktu 15 menit dan penambahan enzim xilanase yaitu sebesar 12,59. Data tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu ekstraksi maka nilai brix cenderung menurun, hal ini menyebabkan inversi sukrosa yang dapat mendegradasi gula tersebut menjadi senyawa lain yang tidak terdeteksi sebagai gula dalam pengukuran brix.

Proses inversi sukrosa terjadi selama ekstraksi dimana sukrosa terdegradasi menjadi glukosa dan fruktosa. Sehingga senyawa-senyawa ini tidak terdeteksi sebagai gula dalam pengukuran brix. Reaksi inversi merupakan reaksi hidrolisis sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa yang dipengaruhi oleh faktor suhu dan waktu ekstraksi (Marasinghe *et al.*, 2022). Meskipun glukosa dan fruktosa

merupakan gula pereduksi, dalam pengukuran brix yang mengandalkan indeks bias larutan gula, senyawa-senyawa ini tidak selalu terdeteksi secara akurat sebagai sukrosa, sehingga nilai brix yang terukur tampak menurun. Kondisi ini menunjukkan bahwa penurunan nilai brix bukan berarti kandungan gula total menurun secara signifikan, melainkan terjadi perubahan komposisi gula yang memengaruhi hasil pengukuran.

Kadar Sukrosa Murni (Pol)

Kadar sukrosa murni nira dianalisis dengan menggunakan metode ANOVA dengan taraf kepercayaan 95% p -value $< 0,05$ menunjukkan bahwa ekstraksi nira tebu menggunakan enzim selulase dan xilanase memiliki pengaruh yang nyata terhadap nilai pol ekstraksi nira tebu yang dihasilkan sebesar 0,000. Hasil interaksi antara perbedaan jenis enzim dan lama waktu ekstraksi keduanya tidak terdapat interaksi secara signifikan sebesar 1,000, sehingga keduanya bekerja secara terpisah dalam mempengaruhi hasil sukrosa. Diagram pengujian pol nira ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Nilai Pol Nira Tebu

A1X1 = enzim selulase; waktu 10 menit
A2X1 = enzim selulase; waktu 15 menit

A1X2 = enzim xilanase; waktu 10 menit
A2X2 = enzim xilanase; waktu 15 menit

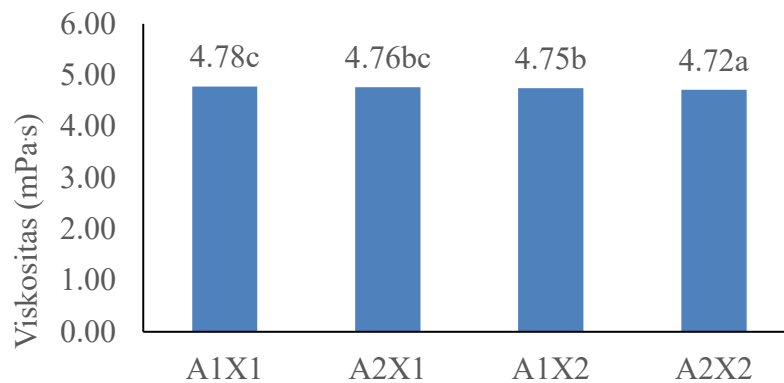
Hasil analisis nilai rata-rata pol ekstraksi nira tebu berkisaran 9,29 – 9,20. Nilai pol tertinggi pada perlakuan A1X1 dengan lama waktu ekstraksi 10 menit dan penambahan enzim selulase yaitu sebesar 9,29. Nilai pol terendah pada perlakuan A2X2 dengan lama waktu 15 menit dan penambahan enzim xilanase yaitu sebesar 9,20.

Semakin lama waktu ekstraksi dan penambahan enzim selulase serta xilanase dapat menyebabkan penurunan nilai pol pada larutan hasil ekstraksi. Hal ini terjadi karena enzim-enzim tersebut memecah polisakarida kompleks seperti selulosa dan hemiselulosa menjadi gula sederhana yang lebih kecil, sehingga gula-gula hasil pemecahan (glukosa, fruktosa, dan xilosa) menyebabkan penurunan nilai pol dikarenakan pengukuran pol menggunakan aktivitas optik sukrosa. Menurut (Kurniawati et al., 2019) proses hidrolisis oleh enzim selulase dan xilanase tidak hanya melepaskan gula-gula yang terlarut tetapi juga menghasilkan senyawa non-polisakarida yang dapat mempengaruhi aktivitas optik larutan. Hal ini menyebabkan penurunan nilai pol karena derajat kemurnian sukrosa dalam larutan terpengaruh oleh adanya campuran gula lain seperti glukosa dan xilosa yang tidak memiliki aktivitas optik sebesar sukrosa.

Kekentalan Nira (Viskositas)

Kekentalan nira dianalisis dengan menggunakan metode ANOVA dengan taraf kepercayaan 95% p -value $< 0,05$ menunjukkan bahwa ekstraksi nira tebu menggunakan enzim selulase dan xilanase

memiliki pengaruh yang nyata terhadap nilai viskositas ekstraksi nira tebu yang dihasilkan sebesar 0,001. Hasil interaksi antara perbedaan jenis enzim dan lama waktu ekstraksi keduanya tidak terdapat interaksi secara signifikan sebesar 0,167, sehingga keduanya bekerja secara terpisah dalam mempengaruhi hasil ekstraksi. Diagram pengujian viskositas nira ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Nilai Viskositas Nira Tebu

A1X1 = enzim selulase; waktu 10 menit
A2X1 = enzim selulase; waktu 15 menit

A1X2 = enzim xilanase; waktu 10 menit
A2X2 = enzim xilanase; waktu 15 menit

Hasil analisis nilai rata-rata viskositas ekstraksi nira tebu berkisar 4,78 – 4,72. Nilai viskositas tertinggi pada perlakuan A1X1 dengan lama waktu ekstraksi 10 menit dan penambahan enzim selulase yaitu sebesar 4,78. Nilai viskositas terendah pada perlakuan A2X2 dengan lama waktu 15 menit dan penambahan enzim xilanase yaitu sebesar 4,72.

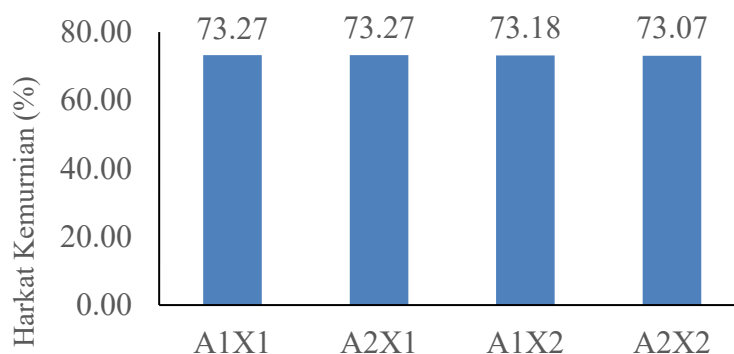
Semakin lama waktu ekstraksi maka nilai viskositas mengalami penurunan. Waktu ekstraksi yang lebih lama mengakibatkan enzim bekerja lebih optimal dalam memecah struktur kompleks pada dinding sel tanaman, akan tetapi pemecahan struktur ini berdampak pada degradasi molekul besar menjadi molekul yang lebih kecil dan lebih sederhana, sehingga mengurangi kekentalan pada larutan ekstrak (Krisnaningsih et al., 2020). Pernyataan tersebut didukung oleh penelitian Gusrita & Komalasari (2020) menunjukkan bahwa viskositas pulp dari ampas tebu menurun dengan meningkatnya waktu pemasakan. Hal ini disebabkan oleh degradasi struktur selulosa dan komponen polisakarida lain dalam ampas tebu selama proses pemasakan yang berlangsung lebih lama.

Harkat Kemurnian Nira (HK)

Harkat kemurnian nira dianalisis dengan menggunakan metode ANOVA dengan taraf kepercayaan 95% p -value < 0,05 menunjukkan bahwa ekstraksi nira tebu menggunakan enzim selulase dan xilanase berpengaruh tidak nyata terhadap nilai harkat kemurnian ekstraksi nira tebu yang dihasilkan sebesar 0,396. Hasil interaksi antara perbedaan jenis enzim dan lama waktu ekstraksi keduanya tidak terdapat interaksi secara signifikan sebesar 0,554. Diagram pengujian HK nira ditampilkan pada Gambar 6.

Hasil analisis Gambar 6 diketahui nilai rata-rata harkat kemurnian terhadap perlakuan lama waktu dan penambahan jenis enzim pada kode A1X1, A2X1, A1X2, dan A2X2 secara berurutan yaitu 73,27; 73,27; 73,18; dan 73,07. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan enzim dan lama waktu ekstraksi tidak berbeda nyata terdapat nilai harkat kemurnian. Meskipun enzim selulase dan xilanase bekerja memecah polisakarida kompleks menjadi gula sederhana, hasil degradasi tersebut didominasi oleh gula non-sukrosa yang jumlahnya relatif kecil dibandingkan total sukrosa dalam nira, sehingga tidak memberikan kontribusi yang cukup besar untuk menurunkan nilai harkat kemurnian secara signifikan.

Hal ini sesuai menurut penelitian Silalahi et al. (2023) didapatkan penurunan nilai harkat kemurnian pada gilingan 1 (73,61), gilingan 2 (70,26), gilingan 3 (69,13), gilingan 4 (66,21), dan gilingan 5 (63,20). Penurunan nilai HK pada tiap gilingan (dalam waktu 45 menit) karena nilai brix dan nilai pol yang semakin lama semakin berkurang sehingga mengakibatkan berkurangnya harkat kemurnian nira yang dihasilkan setelah tebu digiling. Berkurangnya nilai harkat kemurnian ini menandakan jumlah nira yang dihasilkan menjadi sedikit. Pada penelitian ini menggunakan selisih waktu 5 menit sehingga didapatkan penurunan nilai harkat kemurnian yang tidak signifikan.



Gambar 6. Nilai HK Nira Tebu

A1X1 = enzim selulase; waktu 10 menit
A2X1 = enzim selulase; waktu 15 menit

A1X2 = enzim xilanase; waktu 10 menit
A2X2 = enzim xilanase; waktu 15 menit

Warna L*, a*, dan b* pada Nira

Hasil analisis menggunakan metode ANOVA menunjukkan bahwa penggunaan enzim selulase dan xilanase berpengaruh nyata terhadap nilai warna L*, a*, dan b* pada ekstrak nira tebu (p-value = 0,000 < 0,05). Namun, interaksi antara jenis enzim dan lama waktu ekstraksi tidak berpengaruh signifikan terhadap ketiga parameter warna tersebut, dengan p-value masing-masing sebesar 0,774 untuk parameter warna L*; 0,403 parameter warna a*; dan 0,872 parameter warna b*. Diagram pengujian warna L*, a*, dan b* nira ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Nilai Warna L*, a*, dan b* Nira Tebu

A1X1 = enzim selulase; waktu 10 menit
A2X1 = enzim selulase; waktu 15 menit

A1X2 = enzim xilanase; waktu 10 menit
A2X2 = enzim xilanase; waktu 15 menit

Hasil analisis nilai rata-rata warna L^* ekstraksi nira tebu berkisaran 70,51 – 76,61. Nilai warna L^* tertinggi pada perlakuan B2X2 dengan lama waktu ekstraksi 15 menit dan penambahan enzim xilanase yaitu sebesar 76,61. Nilai L^* terendah pada perlakuan A1X1 dengan lama waktu 15 menit dan penambahan enzim xilanase yaitu sebesar 70,51. Semakin lama waktu ekstraksi dengan penambahan enzim xilanase maka semakin banyak komponen polisakarida yang terurai sehingga warna ekstrak menjadi lebih terang dan lebih jernih. Hal ini dalam proses ekstraksi nira tebu dengan penambahan enzim xilanase dapat meningkatkan nilai L^* ekstrak yang dihasilkan. Pernyataan ini diperjelas oleh penelitian (Arsad et al., 2015) bahwa penambahan enzim xilanase dapat meningkatkan kecerahan jus tebu melalui degradasi komponen-komponen penyebab warna. Enzim xilanase dapat meningkatkan kecerahan (*lightness*) produk cair hasil ekstraksi karena kemampuannya dalam mendegradasi polisakarida kompleks seperti hemiselulosa yang dapat menyebabkan kekeruhan pada cairan (Walia et al., 2017).

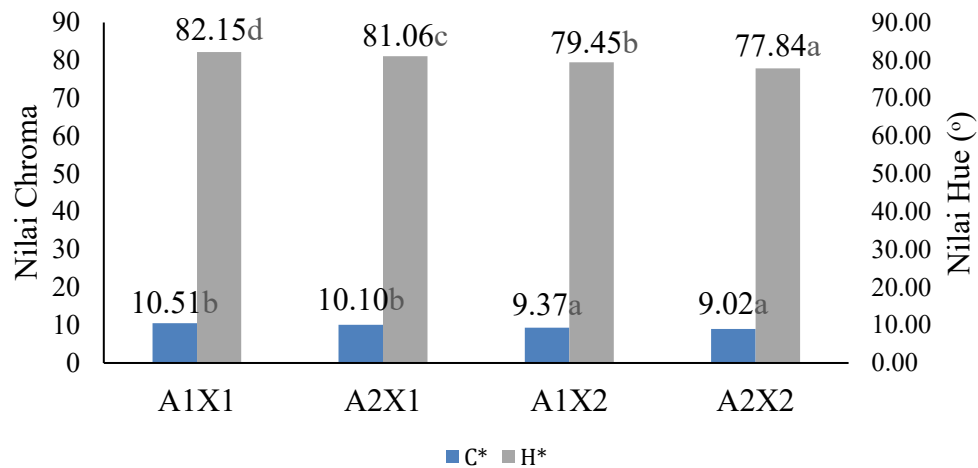
Hasil analisis nilai rata-rata warna a^* ekstraksi nira tebu berkisaran 1,43 – 1,89. Nilai warna a^* tertinggi pada perlakuan A2X2 dengan lama waktu ekstraksi 15 menit dan penambahan enzim xilanase yaitu sebesar 1,89. Nilai a^* terendah pada perlakuan A1X1 dengan lama waktu 10 menit dan penambahan enzim selulase yaitu sebesar 1,43. Semakin lama waktu ekstraksi dengan penambahan enzim xilanase maka semakin intens warna kuning kemerahan yang muncul pada ekstraksi nira tebu, yang mana diduga karena peningkatan pelepasan pigmen alami dari jaringan tebu. Peningkatan nilai warna a^* seiring dengan waktu ekstraksi dan penggunaan enzim xilanase sejalan dengan penelitian (Senapitakkul et al., 2020) yang menyatakan bahwa enzim xilanase dapat memecah komponen hemiselulosa sehingga mengalami pelepasan senyawa fenolik dan pigmen kuning kemerahan alami dalam nira. Selain itu penggunaan enzim xilanase juga dapat meningkatkan efisiensi ekstraksi senyawa warna yang berkontribusi pada kualitas ekstraksi nira tebu (Vidyapith, 2019). Sehingga warna kuning merahan yang lebih dominan pada ekstrak nira tebu tidak hanya meningkatkan daya tarik visual tetapi juga dapat menjadi indikator kandungan antosianin yang lebih tinggi (Kaewsalud et al., 2025).

Hasil analisis nilai rata-rata warna b^* ekstraksi nira tebu berkisaran 8,78 – 10,41. Nilai warna b^* tertinggi pada perlakuan A1X1 dengan lama waktu ekstraksi 10 menit dan penambahan enzim selulase yaitu sebesar 10,41. Nilai b^* terendah pada perlakuan A2X2 dengan lama waktu 15 menit dan penambahan enzim xilanase yaitu sebesar 8,78. Semakin singkat waktu ekstraksi dengan penambahan enzim selulase, maka semakin dominan warna kuning yang dihasilkan oleh ekstrak nira tebu. Hal ini diduga karena aktivitas enzim selulase yang lebih cepat memecah selulosa sehingga mempercepat pelepasan pigmen kuning kehijauan alami dari jaringan tebu. Pernyataan tersebut didukung oleh penelitian Abdel-Aleem, (2020) yang menyatakan bahwa enzim selulase aktif dalam menghidrolisis dinding sel, sehingga meningkatkan pelepasan senyawa pigmen kuning seperti karotenoid dan flavonoid yang berkontribusi pada warna b^* . Selain itu, waktu ekstraksi yang singkat dengan penambahan enzim selulase dapat mengurangi degradasi pigmen sehingga mempertahankan intensitas warna kuning kehijauan yang lebih tinggi pada ekstrak nira tebu (Kaewsalud et al., 2025).

Warna *Chroma* dan *Hue*

Hasil analisis ANOVA pada taraf kepercayaan 95% menunjukkan bahwa penggunaan enzim selulase dan xilanase berpengaruh nyata terhadap nilai warna *chroma* dan *hue* ekstrak nira tebu (p -value = 0,000 < 0,05). Namun, interaksi antara jenis enzim dan lama waktu ekstraksi tidak berpengaruh signifikan terhadap kedua parameter warna tersebut, dengan p -value masing-masing

sebesar 0,836 untuk parameter warna *chroma* dan 0,329 untuk parameter warna *hue*. Diagram pengujian warna *chroma* dan *hue* nira ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Nilai Warna *Chroma* dan *Hue* Nira Tebu

A1X1 = enzim selulase; waktu 10 menit

A2X1 = enzim selulase; waktu 15 menit

A1X2 = enzim xilanase; waktu 10 menit

A2X2 = enzim xilanase; waktu 15 menit

Hasil analisis nilai rata-rata warna *chroma* ekstraksi nira tebu berkisaran 9,02 – 10,51. Nilai warna *chroma* tertinggi pada perlakuan A1X1 dengan lama waktu ekstraksi 10 menit dan penambahan enzim selulase yaitu sebesar 10,51. Hal ini menandakan ekstraksi nira tebu perlakuan A1X1 berwarna merah kekuningan dengan tingkat ketajaman warna paling tinggi dibandingkan ekstrak lainnya. Sedangkan nilai *chroma* terendah pada perlakuan A2X2 dengan lama waktu 15 menit dan penambahan enzim xilanase yaitu sebesar 9,02. Hal ini menandakan perlakuan A2X2 memiliki ketajaman yang rendah. Nilai *chroma* yang rendah dapat berpengaruh terhadap peningkatan nilai *hue*. Semakin tinggi nilai *chroma* maka produk tersebut semakin pekat, sedangkan semakin rendah nilai *chroma* maka produk tersebut semakin bening (Riyadi et al., 2020). Menurut Widiyani *et al* (2023) menyatakan bahwa nilai *chroma* sebagai intensitas warna atau kemurnian warna dari nilai *hue*, dimana nilai *chroma* mendekati nol sesuai warna netral seperti abu-abu dan nilai *chroma* mendekati 60 menunjukkan warna cerah.

Hasil analisis nilai rata-rata warna *hue* ekstraksi nira tebu berkisaran 77,84– 82,15. Nilai warna *hue* tertinggi pada perlakuan A1X1 dengan lama waktu ekstraksi 10 menit dan penambahan enzim selulase yaitu sebesar 82,15. Hal tersebut menunjukkan sampel A1X1 berwarna kuning kehijauan. Hal ini dapat dilihat pada data nilai warna *b** (kekuningan) yang cukup tinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Selain itu, semakin tinggi nilai *hue* (mendekati 90°) akan menunjukkan warna kuning. Sedangkan nilai *hue* terendah pada perlakuan A2X2 dengan lama waktu 15 menit dan penambahan enzim xilanase yaitu sebesar 77,84. Penjelasan tersebut menunjukkan kecenderungan warna merah. Sehingga sesuai dengan deskripsi warna *hue* yakni nilai *hue* 18 – 54 mendeskripsikan warna merah (*red*), nilai *hue* 54 – 90 mendeskripsikan warna merah kuning (*yellow red*) dan nilai *hue* <18 mendeskripsikan warna merah keunguan (Widiyani *et al*, 2023).

Perlakuan Terbaik

Penentuan perlakuan terbaik ekstraksi nira tebu dilakukan menggunakan uji efektivitas metode De Garmo. Penentuan perlakuan terbaik dilakukan dengan memberikan bobot pada setiap parameter

berdasarkan tingkat kepentingan. Parameter yang di uji meliputi nilai rendemen, pol, brix, dan harkat kemurnian. Selanjutnya dilanjutkan dengan perhitungan pada setiap sampel sehingga didapatkan nilai tertinggi sebagai perlakuan terbaik. Berikut merupakan hasil uji indeks efektivitas untuk perlakuan terbaik dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Indeks Efektivitas

No.	Perlakuan	NH Total
1	A1X1	0,93
2	A2X1	0,79
3	A1X2	0,39
4	A2X2	0,00

Sumber : Data Olahan (2025)

Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa hasil indeks efektivitas ekstraksi nira tebu berkisar antara 0,00 – 0,93 dengan hasil perhitungan tertinggi terdapat pada perlakuan A1X1 (waktu 10 menit dengan penambahan enzim selulase). Adapun hasil ekstraksi nira tebu perlakuan A1X1 menghasilkan 72,13 % rendemen, 9,29 % pol, 12,68 % brix, dan 73,27 % harkat kemurnian. Ekstraksi nira tebu dengan penambahan enzim selulase dalam waktu 10 menit efektif dalam meningkatkan hasil nira tebu, dimana enzim berperan dalam menghidrolisis dinding sel tanaman, sehingga mempermudah pelepasan nira dari jaringan tebu. Penggunaan enzim selulase pada proses ekstraksi nira tebu membantu meningkatkan rendemen dan kualitas nira, karena enzim mampu mempercepat degradasi polisakarida menjadi oligosakarida dan monosakarida. Menurut Nababan et al. (2019) enzim selulase berperan dalam menghidrolisis ikatan β -1,4-glikosidik pada selulosa, yang mana pada akhirnya meningkatkan permeabilitas dinding sel dan memudahkan difusi gula keluar dari sel dinding. Hal ini diperkuat oleh Yasni et al., (2025) bahwa penggunaan enzim selulase dalam proses ekstraksi tanaman dapat meningkatkan efisiensi ekstraksi zat aktif karena enzim mampu merusak struktur kompleks dinding sel yang memungkinan zat-zat seperti sukrosa dapat dengan mudah larut. Selain itu, penggunaan enzim selulase juga dapat menekan pembentukan senyawa pengotor sehingga kualitas nira yang dihasilkan lebih baik. Maka kombinasi lama waktu ekstraksi yang singkat dengan penambahan jenis enzim selulase merupakan strategi yang efektif dan efisien untuk meningkatkan rendemen dan kualitas nira tebu.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa perbedaan lama waktu dan jenis enzim berpengaruh signifikan terhadap karakteristik nira tebu diantaranya nilai derajat keasaman (pH), brix, pol, kekentalan (viskositas), dan warna (L^* , a^* , b^* , *chroma*, dan *hue*), tetapi tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai rendemen dan harkat kemurnian. Parameter ekstraksi nira tebu yang mengalami kenaikan seiring bertambahnya waktu dan jenis enzim pada nilai warna L^* (*lightness*), nilai warna a^* (*redness*), dan warna *hue*. Sedangkan nilai brix, nilai pol, nilai viskositas, nilai harkat kemurnian, nilai warna b^* , dan nilai warna *chroma* mengalami penurunan nilai seiring bertambahnya waktu dan jenis enzim. Nilai rendemen dan pH bersifat fluktuatif karena mengalami peningkatan dan penurunan. Lama waktu dan jenis enzim yang tepat untuk menghasilkan nira tebu dengan karakteristik yang baik terdapat pada perlakuan A1X1 (penambahan enzim selulase dalam waktu 10 menit) yaitu dengan 72,13 % rendemen, 9,29 % pol, 12,68 % brix, dan 73,27 % harkat kemurnian. Ekstraksi nira tebu dengan penambahan enzim selulase dalam waktu 10 menit efektif dalam meningkatkan hasil nira tebu, dimana enzim berperan dalam menghidrolisis dinding sel

tanaman, sehingga mempermudah pelepasan nira dari jaringan tebu.

Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah dapat mengkaji pengaruh variasi suhu, lama waktu ekstraksi, dan kombinasi jenis enzim untuk mengoptimalkan kualitas nira tebu. Selain itu, penelitian lanjutan juga dapat diperluas dengan menggunakan varietas tebu yang berbeda serta mempertimbangkan aspek ekonomi dan keberlanjutan proses ekstraksi enzimatis dalam skala industri. Terakhir diharapkan pada pengujian pol dilakukan langsung setelah pembuatan sampel pada saat itu juga, sehingga dapat meminimalisir terjadinya inversi sukrosa.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Aleem, W. M. 2020. Effect of Sugarcane Juice Pre-Treatment on the Quality and Crystallization of Sugarcane Syrup (Treacle). *Journal of Food Processing & Technology*, 11(7), 1–10. <https://doi.org/10.35248/2157-7110.20.11.834>
- Ansar, Nazaruddin, dan Azis, A. D. 2019. Pengaruh Suhu Dan Lama Penyimpanan Terhadap Perubahan pH dan Warna Nira Aren (*Arenga pinnata* Merr) SETELAH PENYADAPAN. *Teknik Pertanian Lampung*, 8(1), 40–48.
- Aristyanti, N. P. P., Made Wartini, N., dan Bagus Wayan Gunam, I. 2017. Rendemen dan Karakteristik Ekstrak Pewarna Bunga Kenikir (*Tagetes erecta* L.) pada Perlakuan Jenis Pelarut dan Lama Ekstraksi. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 5(3), 13–23.
- Arsad, P., R. S., WZ, W. I., NA, M., and AS, M. H. 2015. Effects of Enzymatic Treatment on Physicochemical Properties of Sugar Palm Fruit Juice. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 5(5 SE-Articles), 308–312. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.5.5.577>
- Bhagia, S., Wyman, C. E., and Kumar, R. 2019. Impacts Of Cellulase Deactivation At The Moving Air-Liquid Interface On Cellulose Conversions At Low Enzyme Loadings. *Biotechnology for Biofuels*, 12, 96. <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1439-2>
- Gusrita, A., dan Komalasari. 2020. Pengaruh Waktu dan Suhu Pretreatment Ampas Tebu Menggunakan Asam Sulfat Encer. *JOM FTEknik*, 7(2), 1–6. <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/download/28483/27455>
- Harjanti, R. S., Hamami, R. S., Kusumawati, A., Rizal, A., Mustangin, M., Suryaningrum, D. A., dan Yunaiddi, Y. 2024. Pengaruh Kesegaran Tebu (*Saccharum officinarum* L.) pada Kualitas Gula Cetak Merah. *Jurnal Agro Industri Perkebunan*, 12(1 SE-Article), 29–40. <https://doi.org/10.25181/jaip.v12i1.3384>
- Hidayat, M. 2022. Isolasi dan Penapisan Kapang-Kapang Tanah Penghasil Enzim Selulase dari Limbah Olahan Sagu. *Jurnal JBES: Journal Of Biology Education And Science*, 2(3), 25–37. <https://jurnal.stkipkieraha.ac.id/index.php/jbes>
- Kaewsalud, T., Liony, J. M., Tongdonyod, S., Phongthai, S., and Klangpetch, W. 2025. Development of Fructooligosaccharide-Rich Sugarcane Juice by Enzymatic Method and Enhancement of Its Microbial Safety Using High-Pressure Processing. *Foods*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/foods14193417>
- Krisnaningsih, A. T. N., Kustyorini, T. I. W., dan Meo, M. 2020. Pengaruh Penambahan Pati Talas (*Colocasia esculenta*) sebagai Stabilizer terhadap Viskositas dan Uji Organoleptik Yogurt. *Jurnal Sains Peternakan*, 8(1), 66–76. <https://doi.org/10.21067/jsp.v8i01.4566>
- Kurniawati, L., Kusdiyantini, E., dan Wijanarka, W. 2019. Pengaruh Variasi Suhu dan Waktu Inkubasi Terhadap Aktivitas Enzim Selulase dari Bakteri *Serratia marcescens*. *Jurnal Akademika Biologi*, 8(1), 1–9. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/biologi/article/view/24738>
- Lestari, U., Syamsurizal, S., dan Handayani, W. T. 2020. Formulasi dan Uji Efektivitas Daya Bersih Sabun Padat Kombinasi Arang Aktif Cangkang Sawit dan Sodium Lauril Sulfat. *J. of Pharmaceutical Science and Clinical Research*, 5(2), 136–150. <https://doi.org/10.20961/jpscr.v5i2.39869>
- Liputo, S. A., Saman, W. R., Limonu, M., Mooduto, D., Studi, P., Pangan, T., Pertanian, F., dan Gorontalo,

- U. N. 2025. Tortilla Chips Made From Nikstamal Corn Flour And Flying Fish Flour As A High-Nutrition Snack Tortilla Chips Berbahan Tepung Jagung Nikstamal Dan Tepung Ikan. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 13(3), 377–389.
- Marasinghege, C., Broadfoot, R., Bottle, S., Bartley, J., Doherty, W. O. S., and Rackemann, D. W. 2022. Investigation On The Effect Of The Heating Surface Temperature Of 1st Evaporator On Sucrose Loss And The Degradation Of Sugarcane Juice Constituents. *Journal of Food Engineering*, 329, 111074. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111074>
- Nababan, M., Gunam, I. B. W., dan Mahaputra Wijaya, I. M. 2019. Produksi Enzim Selulase Kasar Dari Bakteri Selulolitik. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*, 7(2), 190–199. <https://doi.org/10.24843/JRMA.2019.v07.i02.p03>
- Riyadi, S., Wiranata, A., dan Jaya, F. M. 2020. Penambahan Ekstrak Kulit Manggis (*Garcinia mangostana*. L) dengan Komposisi Berbeda Sebagai Pewarna Alami Dalam Pengolahan Terasi Bubuk *Jurnal Ilmu-Ilmu Perikanan Dan Budidaya Perairan*, 15(1), 28–36. <https://doi.org/10.31851/jipbp.v15i1.4406>
- Sayah, I., Njeji, M., Cicero, N., Nava, V., M'hadheb, M. Ben, Majdoub, H., Achour, S., and Gervasi, T. 2024. Optimization of Sugar Extraction Process from Date Waste Using Full Factorial Design Toward Its Use for New Biotechnological Applications. *BioTech*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/biotech13040039>
- Senapitakkul, V., Vanitjinda, G., Torgbo, S., Pinmanee, P., Nimchua, T., Runghaworn, P., Sukatta, U., and Sukyai, P. 2020. Pretreatment of Cellulose from Sugarcane Bagasse with Xylanase for Improving Dyeability with Natural Dyes. *ACS Omega*, 5(43), 28168–28177. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c03837>
- Silalahi, H. M. S., Hafiza, N., Tiara, F. M., Saputri, R., Husnah, M., dan Ong, R. 2023. Pengaruh pH Terhadap Turbiditi Nira Encer Dan Suhu Imbibisi Terhadap Hasil Ekstraksi Nira Sebagai Bahan Pembuatan Gula Kristal Putih. *Cheds: Journal of Chemistry, Education, and Science*, 7(2), 174–181. <https://doi.org/10.30743/cheds.v7i2.8133>
- Sukiman, Anggraeni, A. A. M. D., and Suwariani, N. P. 2025. *Antibacterial Activity Of Propionibacterium Acnes from Lemon Peel Extract (Citrus limonL) With Variations In Ethanol Concentration And Maceration Time*. 13(3), 321–330.
- Tania Widani Imanisa, Efri Mardawati, dan Nanang Masruchin. 2023. Produksi Enzim Xilanase dari *Aspergillus niger* melalui Metode Fermentasi Terendam dalam Valorisasi Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Produk Biorefineri Bernilai Tambah Xylanase Production from *Aspergillus niger* via Submerged Fermentation towards Oil Palm Empty Fruit Bunches (OPEFB) Valorization as Value-added Biorefinery Products. *Biomass, Biorefinery, and Bioeconomy*, 1(1), 14–19.
- Ulfa, H. L., Falahiyah, R., dan Singgih, S. 2020. Uji Osmosis pada Kentang dan Wortel Menggunakan Larutan NaCl. *Sainsmat : Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan Alam*, 9(2), 110. <https://doi.org/10.35580/sainsmat92153792020>
- Vidyapith, B. 2019. Enzymes in Juice Processing – Enhancement in Quality and Yield. *International Journal of Research and Analytical Reviews*, 6(2), 779–792.
- Walia, A., Guleria, S., Mehta, P., Chauhan, A., and Parkash, J. 2017. Microbial xylanases and their industrial application in pulp and paper biobleaching: a review. *3 Biotech*, 7(1), 11. <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0584-6>
- Wibowo, B. A., Rivai, M., dan Tasripan. 2016. Alat Uji Kualitas Madu Menggunakan Polarimeter Dan Sensor Warna. *Jurnal Farmasi Indonesia*, 5(1), 2337–3539.
- Yasni, H., Syahrir, M., dan Lukman, Z. F. 2025. Sintesis Dan Karakterisasi Hidrogel Berbasis Selulosa untuk Aplikasi Kesehatan. *ILLEA: Journal of Health Sciences, Public Health, And Medicine*, 1(1), 16–24.