



## **Analisis Kadar Gula Total dan Kekerasan pada Produk *Crackers* Substitusi Tepung Daun Kelor (*Moringa Oleifera*)**

**Inasan Lulu Milatina<sup>1</sup>, Sudrajah Warajati Kisnawaty<sup>2\*</sup>, Aan Sofyan<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Prodi Ilmu Gizi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani Tromol

Pos I, Pabelan Kartasura, Sukoharjo 57169, Indonesia

Email: <sup>1</sup>inaslulu04@gmail.com, <sup>2\*</sup>swk329@ums.ac.id, <sup>3</sup>aa122@ums.ac.id

### **Abstract**

*Introduction: Moringa oleifera leaves are one of the local plants that contain high nutrition and have the potential to be used as a fortification ingredient for food products. The purpose of this study was to analyze the effect of moringa leaf flour substitution on the total sugar content and hardness of crackers as an effort to develop food based on local ingredients. Method: The experimental method was applied in this study with a Completely Randomized Design (CRD) containing four treatments of moringa leaf flour substitution. Testing of total sugar content and hardness used the Nelson-Somogyi method and Texture Analyzer. Data analysis used the Kruskal Wallis test. Results: The findings showed that moringa leaf flour substitution significantly affected the total sugar content and hardness of crackers ( $p \leq 0.05$ ). The total sugar content increased with increasing substitution from 17.23% in 0% treatment to 18.73% in 20% substitution, while the hardness value increased at 10% substitution (15.09 N) then decreased at 15% substitution (12.92 N) and 20% (10.01 N). These findings indicate that changes in flour composition affect the chemical and physical properties of the product and there is an influence between total sugar content and hardness in determining the physical quality of crackers. Conclusion: The addition of moringa leaf flour has been proven to affect the characteristics of crackers so that the material formulation needs to be optimized to produce products with good quality.*

**Keywords:** *Crackers, Total Sugar, Hardness, Moringa Leaf Flour.*

### **Abstrak**

Pendahuluan: Daun kelor (*Moringa oleifera*) adalah satu di antara tanaman lokal yang mengandung gizi tinggi serta berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan fortifikasi produk pangan. Tujuan dari studi menganalisis pengaruh substitusi tepung daun kelor terhadap kadar gula total dan kekerasan produk *crackers* sebagai upaya pengembangan pangan berbasis bahan lokal. Metode: Metode eksperimen diaplikasikan pada studi ini dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang berisikan empat buah perlakuan substitusi tepung daun kelor. Pengujian kadar gula total dan kekerasan menggunakan metode Nelson-Somogyi dan Texture Analyzer. Analisis data menggunakan uji Kruskal Wallis. Hasil: Temuan memperlihatkan bahwasanya substitusi tepung daun kelor berpengaruh pada kadar gula total serta kekerasan *crackers* ( $p \leq 0,05$ ) secara signifikan. Kadar gula total meningkat seiring bertambahnya substitusi dari 17,23% pada perlakuan 0% menjadi 18,73% pada substitusi 20%, sedangkan nilai kekerasan meningkat pada substitusi 10% (15,09 N) kemudian menurun pada substitusi 15% (12,92 N) dan 20% (10,01 N). Temuan ini menunjukkan bahwa perubahan komposisi tepung memengaruhi sifat kimia dan fisik produk serta terdapat pengaruh antara kadar gula total dan kekerasan dalam menentukan kualitas fisik *crackers*. Kesimpulan: Penambahan tepung daun kelor terbukti memengaruhi karakteristik *crackers* sehingga formulasi bahan perlu dioptimalkan untuk menghasilkan produk dengan mutu yang baik.

**Kata Kunci:** *Crackers, Gula Total, Kekerasan, Tepung Daun Kelor.*

## 1. PENDAHULUAN

Stunting adalah gangguan pertumbuhan pada anak yang ditandai dengan tidak optimalnya tinggi badan sesuai usia akibat kekurangan gizi kronis pada jangka waktu panjang karena asupan nutrisi yang tidak memadai. Kondisi ini sebenarnya sudah bisa mulai terjadi sejak masa kehamilan dan umumnya baru dapat diamati secara jelas saat anak berusia sekitar dua tahun (Amran *et al.*, 2025). Menurut (Permenkes, 2020) stunting ditentukan berdasarkan indikator tinggi badan menurut umur, dikategorikan stunting apabila memiliki nilai di bawah -2 standar deviasi (SD) dari median standar pertumbuhan yang telah ditetapkan. Prevalensi stunting di Indonesia masih menjadi perhatian karena angkanya cukup tinggi (Ernawati ddk, 2019). Data Riset Kesehatan Dasar (Riskesmas) memperlihatkan adanya penurunan prevalensi dari 37,2% di tahun 2013 menjadi 30,8% di tahun 2018, kemudian kembali turun menjadi 27,67% pada 2019 (Kementerian Kesehatan RI, 2020). Walaupun menurun, angka tersebut masih tergolong tinggi sehingga perlu upaya pencegahan yang berkelanjutan.

Dalam jangka pendek, stunting dapat menyebabkan perkembangan otak anak terhambat sehingga kemampuan belajar dan prestasi akademiknya menurun. Dalam jangka panjang, dampaknya dapat terlihat pada kualitas hidup saat dewasa, seperti tingkat pendidikan yang lebih rendah, kesempatan kerja yang terbatas, serta pendapatan yang lebih kecil (Shoofiyah *et al.*, 2024). Berbagai faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya stunting meliputi tingkat pendidikan dan status pekerjaan ibu, tinggi badan orang tua, jumlah anggota keluarga, kondisi sosial ekonomi keluarga, praktik ASI eksklusif, pola pengasuhan anak, ketepatan pemberian MP-ASI, kecukupan zat gizi seperti zat besi maupun seng, sekaligus riwayat penyakit infeksi yang dialami anak (Yuwanti *et al.*, 2021). Faktor genetik juga berperan dalam menentukan potensi pertumbuhan anak, namun pengaruhnya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan pola asuh. Anak dengan potensi genetik yang baik tetap berisiko mengalami stunting apabila tidak didukung oleh asupan gizi yang adekuat, sanitasi yang baik, serta praktik pemberian makan yang tepat, sehingga faktor lingkungan menjadi penentu utama dalam optimalisasi pertumbuhan anak (Yuwanti *et al.*, 2021). Dengan demikian, perlu diselenggarakan usaha guna mencegah terjadinya stunting lewat peningkatan pengetahuan gizi pada ibu, perbaikan akses terhadap layanan kesehatan, serta penerapan pola makan yang baik sejak masa kehamilan hingga anak memasuki usia balita.

Tanaman kelor (*Moringa oleifera*) adalah satu di antara jenis tumbuhan perdu yang hidup dengan baik pada wilayah tropis contohnya Indonesia, baik di dataran rendah maupun pada ketinggian hingga sekitar 700 meter di atas permukaan laut. Tinggi tanaman ini mencapai 7-11 meter dan memiliki kemampuan adaptasi yang baik karena mampu bertahan pada musim kemarau hingga enam bulan dengan perawatan yang relatif sederhana, sehingga mudah di budidayakan (Marhaeni, 2021). Setiap 100g daun kelor memiliki kandungan vitamin C sekitar tujuh kali lipat melebihi kandungan jeruk, vitamin A empat kali lipat melebihi kandungan pada wortel, kalsium empat kali lipat melebihi kandungan pada susu, kalium tiga kali lipat melebihi kandungan pada pisang, serta protein sekitar dua kali lipat melebihi kandungan pada satu butir telur (Larasati *et al.*, 2024). Selain itu, kelor mampu tumbuh pada berbagai jenis tanah serta dapat berkembang baik di daerah tropis maupun subtropis. Tepung daun kelor dikenal memiliki kandungan serat, protein, antioksidan, dan senyawa fenolik yang melebihi kandungan pada tepung terigu. Dengan demikian, penggunaannya sebagai bahan substitusi pada produk pangan dapat memengaruhi sifat fisik dan kimia, seperti tekstur dan kandungan gizi. Hal tersebut selaras dengan studi (Cervera-Chiner *et al.*, 2024) yang memperlihatkan bahwasanya substitusi tepung daun kelor memberikan pengaruh signifikan terhadap tekstur serta karakteristik kimia pada produk *crackers*.

*Crackers* adalah makanan ringan hasil pemanggangan yang banyak disukai masyarakat. Produk ini praktis dikonsumsi, biaya produksinya relatif murah dan dapat dinikmati oleh berbagai kalangan (Olagunju *et al.*, 2018). Ciri khas yang membedakan *crackers* dari biskuit lain adalah adanya proses fermentasi pada adonannya. Proses ini menghasilkan bentuk *crackers* yang tipis, berlapis, dan mudah patah saat dipatahkan (Kiranawati *et al.*, 2021). Kadar gula total dan tingkat kekerasan menjadi parameter penting dalam menilai mutu produk berbasis tepung karena keduanya menunjukkan perubahan komposisi kimia dan struktur fisik akibat variasi bahan. Kadar gula total menggambarkan kandungan karbohidrat sederhana yang berperan dalam proses pencokelatan selama pemanggangan, sedangkan kekerasan menunjukkan seberapa padat struktur produk setelah dipanggang. Temuan penelitian (Malibun *et al.*, 2019) membuktikan bahwasanya penambahan serbuk daun kelor terbukti memengaruhi kualitas *crackers*, seperti karbohidrat, protein, kadar air, dan serat kasar, karena perbedaan kandungan nutrisi dari bahan utama yang dipakai yaitu tepung daun kelor serta tepung beras merah. Daun kelor dinilai mengandung tinggi mineral, protein, serta serat, sehingga peningkatan proporsi penambahannya cenderung meningkatkan nilai gizi produk.

Penelitian yang dilakukan oleh (Cervera-Chiner *et al.*, 2024) menunjukkan bahwa penambahan tepung daun kelor pada *crackers* dapat memengaruhi sifat fisikokimia dan tekstur, khususnya menyebabkan penurunan tingkat kekerasan akibat meningkatnya kemampuan bahan dalam mengikat air. Namun, penelitian tersebut lebih berfokus pada karakterisasi umum produk, seperti kadar air, aktivitas air, kandungan protein, serta sifat sensori, dan belum spesifik parameter kadar gula total. Berbeda dengan penelitian tersebut, studi ini secara khusus menganalisis kadar gula total dan kekerasan serta keterkaitan keduanya pada produk *crackers* substitusi tepung daun kelor (*Moringa oleifera*). Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi baru dalam memahami hubungan antara komposisi kimia dan karakteristik tekstur produk pangan fungsional. Selain itu penelitian (Salsabila *et al.*, 2024) melaporkan bahwa penambahan tepung daun kelor berpengaruh terhadap komposisi kimia produk, seperti peningkatan protein, lemak, dan serat, namun tidak selalu memberikan perubahan yang signifikan terhadap kekuatan tekstur pada setiap formulasi. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh tepung kelor terhadap tekstur produk pangan cenderung dipengaruhi oleh komposisi bahan dan proporsi substitusi yang digunakan. Berbeda dengan penelitian tersebut, studi ini tidak hanya mengamati perubahan tekstur melalui parameter kekerasan, tetapi juga mengkaji kadar gula total sebagai faktor yang memengaruhi pembentukan struktur dan tekstur produk. Dengan demikian, penelitian ini memberikan pendekatan yang lebih spesifik dalam memahami hubungan antara komposisi kimia, khususnya gula, dengan karakteristik kekerasan pada *crackers* substitusi tepung daun kelor (*Moringa oleifera*).

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Studi eksperimental menjadi metode penelitian yang diterapkan pada studi ini guna mengkaji pengaruh substitusi tepung daun kelor terhadap kadar gula total dan kekerasan *crackers*. Rancangan Acak Lengkap (RAL) diaplikasikan dengan satu buah faktor perlakuan, yakni persentase substitusi tepung daun kelor yang dibagi menjadi empat formulasi, yaitu variasi persentase 0%, 10%, 15%, dan 20%. Pemilihan variasi tingkat substitusi tersebut didasarkan pada pertimbangan guna mengkaji dampak peningkatan konsentrasi tepung daun kelor pada karakteristik produk secara bertahap. Pengulangan sejumlah dua kali (duplo) dilakukan pada tiap perlakuan guna memperoleh total 8 sampel perlakuan dan 16 satuan percobaan untuk masing-masing parameter pengujian. Pengulangan dilakukan untuk meningkatkan ketelitian hasil penelitian serta meminimalkan kemungkinan terjadinya kesalahan selama proses pengujian.

Proses pembuatan *crackers* dilakukan secara mandiri di rumah peneliti dimulai dengan pencampuran bahan kering, kemudian ditambahkan larutan gula dan mentega cair hingga terbentuk adonan kalis. Adonan difermentasi, dipipihkan, dicetak, dan dipanggang. Seluruh tahapan pembuatan dilakukan secara terstandarisasi mulai dari penimbangan bahan, pencampuran, hingga pemanggangan. Sementara itu, Laboratorium Chem-Mix Pratama Yogyakarta menjadi lokasi diadakannya uji kadar gula total dan kekerasan. Pengujian diselenggarakan dengan memakai peralatan yang terkalibrasi dan prosedur analisis yang sesuai standar, sehingga hasil yang diperoleh dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Metode Nelson-Somogyi diaplikasikan guna menganalisis kadar gula total. Sampel ditimbang sebanyak 1 gram dan dimasukkan ke tabung reaksi. Selanjutnya, dilakukan penambahan aquadest sejumlah 50 mL, serta HCl 25% sejumlah 3 mL. Kemudian, diselenggarakan pemanasan campuran dengan memanfaatkan waterbath dalam rentang 10 menit dalam suhu 100°C untuk proses hidrolisis. Setelah proses tersebut, larutan diencerkan dengan aquadest dalam labu ukur hingga mencapai volume 100 mL, kemudian dilakukan penyaringan atau sentrifugasi memanfaatkan kertas saring hingga diperoleh filtrat yang jernih. Lalu, dilakukan pengambilan filtrat sejumlah 1 mL filtrat, serta penambahan 1 mL reagen Nelson C (campuran Nelson A dan Nelson B dengan perbandingan 25:1), kemudian dilaksanakan pemanasan kembali dalam waterbath dalam waktu 30 menit pada suhu 100°C. Selanjutnya, dilakukan pendinginan larutan di suhu ruang, serta penambahan sejumlah 1 mL arsenomolibdat yang kemudian dihomogenkan. Setelah itu, ditambahkan aquadest hingga volume menjadi 10 mL, kemudian larutan divortex agar tercampur merata. Terakhir, dilakukan pengukuran nilai absorbansi larutan dengan memanfaatkan spektrofotometer dalam gelombang yang panjangnya hingga 540 nm. Hasil pengukuran dicatat, kemudian kadar gula total ditentukan berdasarkan kurva standar yang telah dibuat menggunakan larutan D-glukosa sebagai pembanding.

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) yang berfungsi sebagai texture analyzer dengan metode kompresi. Tahap awal dimulai dengan mengaktifkan program Universal Testing Machine dan memastikan mesin dalam kondisi menyala (power ON), kemudian menunggu hingga proses inialisasi atau loading sistem selesai. Selanjutnya, panel mesin diaktifkan dan dilakukan pengecekan awal untuk memastikan alat dalam kondisi siap digunakan. Jenis pengujian kemudian disesuaikan dengan metode yang digunakan, yaitu uji kompresi sebagai bagian dari analisis tekstur. Parameter pengujian diatur sesuai dengan kebutuhan analisis, meliputi kecepatan penekanan, besar beban, serta jenis probe yang digunakan agar sesuai dengan karakteristik sampel *crackers*. Data sampel dimasukkan ke dalam sistem sesuai dengan kode spesimen yang akan diuji. Sampel kemudian ditempatkan secara tepat pada platform pengujian untuk memastikan posisi stabil dan hasil yang akurat. Proses pengujian dijalankan hingga sampel mengalami deformasi atau patah, dan alat secara otomatis merekam gaya maksimum yang diperlukan sebagai indikator tingkat kekerasan. Setiap sampel diuji dalam kondisi yang sama untuk menjaga konsistensi hasil antar perlakuan.

Hasil pengujian disajikan dalam bentuk grafik yang menunjukkan hubungan antara gaya dan kekerasan diperoleh dari gaya maksimum yang tercatat pada puncak grafik. Setiap sampel diberi kode untuk memudahkan identifikasi, dan hasil akhir pengujian dicatat serta dicetak sebagai dokumentasi. Selanjutnya, dilakukan penganalisisan data guna menentukan pengaruh substitusi tepung daun kelor kepada tingkat kekerasan *crackers*. Uji Kruskal-Wallis diaplikasikan sebagai metode dalam menganalisis data hasil studi supaya diperoleh identifikasi perbedaan antarperlakuan. Setelah itu, diselenggarakan pengujian lanjutan dengan memanfaatkan uji Mann-Whitney. Hasil analisis selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel untuk memudahkan interpretasi data.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Kadar Gula Total pada *Crackers* Substitusi Tepung Daun Kelor

Pengujian kadar gula total pada *crackers* bertujuan mengetahui kandungan gula pereduksi menggunakan metode Nelson-Somogyi. Hasil pengujian ini dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas dan karakteristik produk *crackers* yang dihasilkan.

Tabel 1. 1 Hasil Uji Gula Total Pada *Crackers*

Perlakuan Substitusi Tepung Daun Kelor	Rerata Gula Total (% ± SD)	p value
0%	17,23 ± 0,13	0,02
10%	17,40 ± 0,65	
15%	17,47 ± 0,19	
20%	18,73 ± 0,21	

Berdasarkan hasil uji gula total pada tabel 1.1, nilai rerata gula total pada *crackers* berada pada kisaran 17,23%-18,73%. Nilai rerata kadar gula total berdasarkan persentase substitusi tepung daun kelor dari tertinggi ke terendah menunjukkan bahwa substitusi 20% memiliki nilai tertinggi yaitu sebesar 18,73%, diikuti oleh substitusi 15% sebesar 17,47%, substitusi 10% sebesar 17,40%, dan nilai terendah pada substitusi 0% yaitu 17,23%. Data tersebut menunjukkan adanya peningkatan kadar gula total seiring bertambahnya persentase substitusi tepung daun kelor dalam formulasi *crackers*. Meskipun peningkatannya relatif tidak terlalu besar perbedaan ini mengindikasikan bahwasanya tepung daun kelor yang ditambahkan terbukti memengaruhi komposisi karbohidrat khususnya gula sederhana dalam produk akhir. Temuan tersebut berkaitan dengan perubahan komposisi bahan serta interaksi selama proses pemanggangan yang berkontribusi terhadap pembentukan gula total pada *crackers*.

Diperoleh nilai  $p < 0,05$  ( $p \leq 0,05$ ) dari hasil pengujian Kruskal-Wallis yang mengindikasikan adanya pengaruh signifikan terhadap kadar gula total pada *crackers* dengan substitusi tepung daun kelor. Selanjutnya dilakukan uji *Mann Whitney*, hasil analisis memperlihatkan bahwasanya antara perbandingan P1 dengan P2 serta P2 dengan P3 didapatkan nilai  $p > 0,05$ . Dengan demikian, dapat ditarik simpulan bahwasanya kadar gula total tidak memengaruhi *crackers* secara signifikan dalam perlakuan tersebut. Sebaliknya, diperoleh perbedaan signifikan pada perbandingan P1 dengan P3 ( $p < 0,14$ ) dan P4 ( $p < 0,02$ ), P2 dengan P4 ( $p < 0,21$ ), P3 dengan P4 ( $p < 0,21$ ) yang memperlihatkan adanya pengaruh kadar gula total terhadap perlakuan yang diuji karena nilai  $p \leq 0,05$ . Temuan ini mengindikasikan bahwa variasi substitusi tepung daun kelor memberikan pengaruh terhadap kadar gula total pada beberapa kombinasi perlakuan yang diuji.

Proses pemanggangan diketahui berperan penting dalam pembentukan gula total pada produk pangan melalui mekanisme pemecahan pati serta terjadinya reaksi pencokelatan non-enzimatis, khususnya reaksi Maillard (El Hosry *et al.*, 2025). Ketika dilakukan pemanasan, gelatinisasi dan hidrolisis parsial dialami oleh pati yang kemudian menghasilkan gula sederhana seperti maltosa dan glukosa, di mana selanjutnya dapat berkontribusi terhadap peningkatan kadar gula total. Selain itu, reaksi Maillard pada asam amino serta gula pereduksi tidak hanya memengaruhi warna dan cita rasa produk, tetapi juga dapat memodifikasi komponen gula yang terdeteksi dalam analisis kimia. Substitusi tepung daun kelor dalam formulasi produk turut memengaruhi kadar gula total karena perbedaan karakteristik komposisi kimia antara tepung kelor dan tepung terigu. Penelitian pada produk biskuit berbasis tepung daun kelor menunjukkan bahwa peningkatan tingkat substitusi kelor menyebabkan perubahan komposisi karbohidrat, termasuk proporsi gula sederhana yang dipengaruhi oleh kandungan pati dan serat yang berbeda (Yuliani *dkk.*,

2022). Tepung daun kelor yang mengandung tinggi serat dapat menghambat proses hidrolisis pati secara optimal selama pemanggangan, sehingga memengaruhi jumlah gula sederhana yang terbentuk.

Peningkatan kadar gula total tertinggi pada substitusi tepung daun kelor 20% sebesar 18,73% berkaitan dengan kandungan karbohidrat alami yang terdapat dalam daun kelor. Penelitian terbaru melaporkan bahwa daun kelor memiliki kandungan karbohidrat yang cukup tinggi, yaitu berkisar antara 36–60% (Masitlha *et al.*, 2024) serta sekitar 47–54% dalam bentuk tepung daun kelor yang terdiri atas pati dan komponen gula lainnya (Fidyasari *et al.*, 2024). Kandungan karbohidrat tersebut berkontribusi terhadap nilai gula total yang terukur, terutama setelah proses pemanggangan yang dapat menyebabkan sebagian karbohidrat kompleks mengalami hidrolisis menjadi gula yang lebih sederhana. Seiring dengan meningkatnya proporsi substitusi tepung daun kelor, kontribusi karbohidrat terhadap sistem pangan juga meningkat, sehingga menyebabkan kenaikan kadar gula total yang lebih nyata pada perlakuan 20% dibandingkan perlakuan lainnya.

Berbagai penelitian mengemukakan bahwasanya tepung daun kelor mengandung tinggi serat serta berpotensi meningkatkan kadar serat dalam produk pangan olahan, sementara kontribusi patinya lebih rendah dibandingkan tepung sereal (Fajrianti *et al.*, 2025). Bukan hanya itu, kandungan berbagai senyawa bioaktif, seperti polifenol serta antioksidan juga dimiliki oleh tepung daun kelor. Kandungan-kandungan dinilai tersebut dapat memberikan nilai tambah pada produk pangan fungsional. Hal ini didukung oleh penelitian (Gao *et al.*, 2025) yang memperlihatkan bahwasanya daun kelor mengandung tinggi polifenol serta berkontribusi terhadap aktivitas antioksidan yang signifikan. Sebaliknya, tepung terigu didominasi oleh karbohidrat dalam bentuk pati dengan kadar sekitar 70-75% dan kandungan serat yang relatif rendah, yaitu sekitar 1-2%. Perbedaan komposisi ini menyebabkan tepung terigu lebih mudah mengalami pemecahan menjadi gula sederhana selama proses pemanggangan dibandingkan tepung daun kelor. Oleh karena itu, kombinasi kedua jenis tepung tersebut sering digunakan dalam formulasi produk untuk menghasilkan keseimbangan antara peningkatan nilai gizi, khususnya serat, dan karakteristik kimia produk seperti kadar gula total (Nurhamzah *et al.*, 2024).

Penelitian lain pada produk *crackers* dengan bahan substitusi juga membuktikan bahwa perubahan jenis dan jumlah tepung dapat memengaruhi sifat kimia produk, termasuk kadar karbohidrat yang berkaitan dengan pembentukan gula sederhana setelah proses pemanggangan (Maisont *et al.*, 2021). Perubahan ini terjadi karena setiap jenis tepung memiliki karakteristik komposisi yang berbeda, terutama pada kandungan pati, serat, dan komponen bioaktif lainnya yang berperan dalam reaksi kimia selama pemanasan. Tepung dengan kandungan pati tinggi cenderung lebih mudah mengalami gelatinisasi dan hidrolisis, sehingga menghasilkan gula sederhana dalam jumlah yang lebih besar dibandingkan tepung dengan kandungan serat tinggi. Beberapa penelitian pada biskuit dan *crackers* yang difortifikasi tepung kelor juga melaporkan bahwa perbedaan tingkat substitusi tepung dapat memengaruhi kadar gula total, karena terjadi perubahan keseimbangan antara pati, gula reduksi, dan serat selama proses pemanggangan (Viani *dkk.*, 2023). Perubahan komposisi tersebut berpengaruh terhadap jumlah pati yang dapat terhidrolisis menjadi gula sederhana selama pemanasan, sehingga secara langsung memengaruhi kadar gula total pada produk akhir. Selain itu, meningkatnya kandungan serat dari tepung kelor juga dapat menghambat proses hidrolisis pati, sehingga pembentukan gula reduksi menjadi lebih terbatas dibandingkan dengan produk tanpa substitusi.

Reaksi Maillard yang melibatkan gula reduksi dan protein juga dapat berbeda intensitasnya tergantung pada ketersediaan gula sederhana, sehingga secara tidak langsung turut memengaruhi kadar gula total yang terukur pada produk akhir. Hal tersebut

selaras dengan studi yang menyebutkan bahwasanya komposisi bahan serta kondisi pemanasan dinilai sangat memengaruhi pembentukan produk reaksi Maillard (Shi *et al.*, 2024), serta studi lain yang menunjukkan bahwa peningkatan suhu dan waktu pemanggangan akan meningkatkan pembentukan senyawa hasil reaksi Maillard pada produk (Tang *et al.*, 2024). Variasi tingkat substitusi tepung kelor juga dapat memengaruhi sifat fisik dan kimia lainnya, seperti kadar air, tekstur, serta warna produk, yang semuanya berkaitan dengan perubahan komposisi bahan penyusun. Perubahan komposisi tepung dalam formulasi diketahui dapat memodifikasi pembentukan senyawa kimia selama proses pemanggangan, termasuk produk reaksi Maillard dan komponen gula sederhana.

### 3.2. Kekerasan pada *Crackers* Substitusi Tepung Daun Kelor

Kekerasan pada *crackers* dilakukan menggunakan metode Texture Analyzer untuk mengetahui tingkat kerenyahan dan kekuatan struktur produk. Hasil pengujian ini memberikan gambaran karakteristik tekstur yang berpengaruh terhadap kualitas dan penerimaan konsumen.

Tabel 1. 2 Hasil Uji Kekerasan Pada *Crackers*

Perlakuan Substitusi Tepung Daun Kelor	Rerata Kekerasan (N ± SD)	p value
0%	8,01 ± 2,50	0,00
10%	15,09 ± 0,80	
15%	12,92 ± 0,63	
20%	10,01 ± 1,21	

Berdasarkan hasil uji kekerasan pada tabel 1.2 rerata kekerasan *crackers* berbeda pada setiap tingkat substitusi tepung daun kelor. rerata kekerasan dengan perlakuan substitusi 20%, nilai kekerasan sebesar 10,01 N. Selanjutnya pada perlakuan 15% diperoleh nilai rerata kekerasan sebesar 12,92 N. Pada substitusi 10%, nilai kekerasan menunjukkan angka tertinggi yaitu 15,09 N. Sementara itu, pada perlakuan 0% diperoleh nilai kekerasan paling rendah yaitu sebesar 8,01 N. Namun, pada tingkat substitusi yang lebih tinggi 15-20%, nilai kekerasan justru mengalami penurunan. Meskipun masih lebih tinggi dibandingkan kontrol, tren ini menunjukkan adanya batas optimal dalam penggunaan tepung daun kelor.

Diperoleh nilai  $p < 0,05$  dari hasil pengujian *Kruskal Wallis* yang memperlihatkan bahwasanya terdapat pengaruh yang signifikan terhadap tingkat kekerasan *crackers* substitusi tepung daun kelor. Kemudian, diperoleh nilai ( $p > 0,05$ ), yang memperlihatkan perbandingan P1 dengan P4 dari pengujian *Mann Whitney*. Dengan demikian, dapat ditarik simpulan bahwasanya kekerasan tidak terbukti memengaruhi karakteristik *crackers* pada perlakuan tersebut. sedangkan hasil P1 menunjukkan perbedaan signifikan terhadap P2 ( $p < 0,02$ ); P3 ( $p < 0,02$ ), P2 memperlihatkan beda dengan P3 ( $p < 0,02$ ) yang signifikan; P4 ( $p < 0,02$ ) dan P3 menunjukkan perbedaan signifikan terhadap P4 ( $p < 0,02$ ) nilai  $p < 0,05$  maka dinyatakan ada pengaruh kekerasan terhadap perlakuan tersebut.

Penurunan nilai kekerasan pada substitusi 15-20% memperlihatkan bahwasanya pemanfaatan tepung daun kelor dengan jumlah tinggi dapat menurunkan kekuatan struktur adonan karena porsi tepung terigu sebagai pembentuk gluten semakin berkurang. Gluten memiliki peran utama dalam membentuk jaringan elastis dan kohesif yang mampu mempertahankan struktur selama proses pencampuran, fermentasi, hingga pemanggangan. Ketika jumlah tepung terigu berkurang secara signifikan akibat substitusi, pembentukan jaringan gluten menjadi tidak optimal, sehingga struktur adonan menjadi lebih lemah dan kurang mampu mempertahankan bentuk serta kekompakan

produk akhir. Penggunaan tepung non-terigu dalam formulasi *crackers* diketahui dapat meningkatkan daya serap air dan mengganggu pembentukan matriks struktur, sehingga tekstur menjadi lebih lunak (Oluwakemi *et al.*, 2024). Tingginya kapasitas penyerapan air menyebabkan berkurangnya ketersediaan air bebas yang dibutuhkan untuk hidrasi protein gluten dan proses gelatinisasi pati. Akibatnya, pembentukan jaringan gluten menjadi terhambat dan struktur pati yang terbentuk selama pemanggangan juga tidak maksimal. Kondisi ini berdampak pada tekstur produk yang menjadi lebih rapuh, kurang kompak, dan cenderung menurun tingkat kekerasannya. Selain itu, tingginya kadar serat juga menyebabkan terjadinya dilusi gluten, yaitu berkurangnya proporsi gluten akibat substitusi tepung terigu dengan bahan non-gluten. Kondisi ini mengakibatkan jaringan gluten yang terbentuk menjadi lebih lemah dan tidak mampu mempertahankan struktur yang padat. Penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa bahan pangan tinggi serat dapat mengganggu sifat viskoelastis adonan dan memodifikasi mikrostruktur produk sehingga tekstur menjadi lebih lunak (Oluwakemi *et al.*, 2024). Oleh karena itu, pada substitusi 20% kombinasi antara peningkatan kadar serat, daya ikat air yang tinggi dan melemahnya jaringan gluten menyebabkan struktur *crackers* menjadi kurang kompak, yang ditunjukkan dengan penurunan nilai kekerasan menjadi 10,01 N.

Hasil ini selaras dengan studi oleh Herlina dkk (2024) yang mengemukakan bahwasanya serbuk daun kelor dengan kandungan serat tinggi yang ditambahkan dapat memengaruhi sifat fisik dan karakteristik produk pangan berbasis tepung, terutama pada aspek tekstur dan kekuatan struktur. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar serat yang ditambahkan, semakin besar pengaruhnya terhadap penurunan kualitas struktur adonan. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Kustiani dan Hervidea (2021), di mana peningkatan kandungan serat dalam formulasi *crackers* menyebabkan perubahan signifikan pada struktur adonan dan sifat tekstur, terutama akibat terganggunya pembentukan jaringan gluten. Penelitian lain juga melaporkan bahwa substitusi tepung kelor memiliki batas optimal yang relatif rendah, yaitu sekitar 4–5% di mana penggunaan dalam jumlah lebih tinggi dapat menurunkan kualitas fisik produk, termasuk tekstur (Iwansyah *et al.*, 2021). Oleh karena itu, penurunan kekerasan pada substitusi 20% dalam penelitian ini menunjukkan bahwa proporsi tersebut telah melampaui batas optimal sehingga menyebabkan melemahnya struktur secara signifikan.

Pembuatan *crackers* yang ditambahkan tepung daun kelor dapat mengubah sifat fisik serta kimia produk, terutama tekstur dan tingkat kerenyahan. Peningkatan jumlah tepung kelor dilaporkan menyebabkan perubahan signifikan pada karakteristik fisik, di mana pada tingkat tertentu tekstur menjadi lebih keras, namun pada tingkat substitusi yang lebih tinggi justru mengalami penurunan kekerasan akibat terganggunya struktur adonan. Temuan oleh Cervera-Chiner *et al* (2024) juga memperlihatkan hasil yang serupa di mana penambahan tepung daun kelor secara bertahap pada awalnya meningkatkan kekerasan *crackers*, tetapi penggunaan dalam jumlah berlebih menyebabkan tekstur menjadi lebih lembek karena jaringan gluten dan pati tidak terbentuk secara optimal. Perubahan tekstur ini juga berkaitan dengan distribusi kadar air dalam produk. Tepung daun kelor yang kaya serat dinilai dapat mengikat air dengan intensitas besar, sehingga ketersediaan air bebas untuk proses pembentukan struktur pati dan gluten dapat menurun. Pada tingkat substitusi rendah hingga sedang, kondisi ini mendukung pembentukan tekstur. Hal ini disebabkan oleh tingginya kapasitas penyerapan dan pengikatan air pada tepung daun kelor yang dapat mengganggu pembentukan jaringan adonan serta menurunkan kekerasan produk akhir. Penelitian Cervera-Chiner *et al* (2024) memperlihatkan bahwasanya peningkatan penambahan tepung daun kelor dapat menurunkan firmness atau kekerasan *crackers* karena tingginya kemampuan menahan air yang memengaruhi struktur produk selama pemanggangan

Temuan ini berkontribusi positif dalam mengembangkan inovasi pangan dengan bahan lokal, khususnya pemanfaatan tepung daun kelor sebagai bahan substitusi pada produk *crackers* yang telah terbukti mampu meningkatkan nilai gizi dan karakteristik fungsional produk pangan (Cervera-Chiner *et al.*,2024). Temuan bahwasanya variasi substitusi tepung daun kelor terbukti memengaruhi kadar gula total dan kekerasan menunjukkan bahwa formulasi bahan dapat dimodifikasi untuk menghasilkan produk pangan yang lebih bernilai gizi sekaligus tetap memiliki karakteristik fisik yang dapat diterima, sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa perubahan komposisi bahan pangan, termasuk substitusi tepung kelor, mampu meningkatkan kandungan gizi seperti protein dan serat sekaligus berdampak terhadap sifat fisik seperti tekstur serta kekerasan produk (Fapetu *et al.*,2022). Dampak jangka panjang dari penelitian ini diharapkan dapat mendukung pengembangan produk pangan tambahan yang lebih sehat, praktis, dan berpotensi digunakan sebagai alternatif pangan fungsional dalam upaya peningkatan status gizi masyarakat serta pencegahan masalah gizi seperti stunting, hal ini disebabkan oleh pangan berbasis daun kelor yang mengandung tinggi zat gizi makro dan mikro, di mana berkontribusi dalam meningkatkan status gizi serta mendukung pertumbuhan anak (Malino *et al.*,2026). Penelitian selanjutnya berpotensi dikembangkan dengan menambahkan analisis kandungan gizi lain, umur simpan, protein, kadar serat kasar, kadar abu, kadar air.

#### 4. KESIMPULAN

Substitusi tepung daun kelor dalam proses produksi *crackers* terbukti memengaruhi kadar gula total serta tingkat kekerasan produk. Peningkatan persentase substitusi cenderung diikuti oleh kenaikan kadar gula total, dengan nilai tertinggi terdapat pada substitusi 20%. Sementara itu, nilai kekerasan menunjukkan pola yang bervariasi pada setiap perlakuan, yaitu meningkat pada substitusi 10%, kemudian mengalami penurunan pada substitusi 15% dan 20%. Hasil analisis statistik juga memperlihatkan bahwasanya substitusi tepung daun kelor terbukti memengaruhi kadar gula total maupun kekerasan produk secara signifikan. Selain itu, kedua parameter tersebut saling berkaitan dalam menentukan kualitas fisik *crackers*, karena perubahan kadar gula total turut diikuti oleh perubahan karakteristik tekstur produk.

Penelitian selanjutnya dapat mengkaji parameter mutu kimia lainnya seperti protein, serat kasar, kadar abu, serta kadar air guna memberikan gambaran nilai gizi *crackers* secara lebih menyeluruh, sehingga potensi tepung daun kelor sebagai pangan fungsional dapat diketahui dengan lebih jelas. Analisis tambahan seperti kadar lemak, aktivitas antioksidan, serta kandungan mineral juga dapat dipertimbangkan untuk memperkuat karakterisasi nilai gizi produk dengan menyeluruh. Bukan hanya itu, evaluasi umur simpan juga perlu diselenggarakan lewat pengujian kadar air, ketengikan, serta perubahan tekstur selama penyimpanan untuk mengetahui stabilitas mutu produk. Pengujian mikrobiologi selama penyimpanan juga penting untuk memastikan keamanan pangan dan menentukan batas konsumsi yang aman. Penelitian berikutnya juga dapat mengembangkan variasi persentase substitusi yang lebih luas untuk memperoleh formulasi optimum dengan keseimbangan terbaik antara kandungan gizi dan kualitas fisik *crackers*.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan pada semua pihak yang sudah mendukung, membantu, dan memotivasi peneliti selama proses penyelenggaraan penelitian. Penelitian ini dilakukan secara mandiri dengan pembiayaan pribadi, sehingga penulis sangat menghargai segala bentuk dukungan moral, masukan, serta bantuan dari keluarga, teman,

dan pihak laboratorium yang telah berperan dalam kelancaran pelaksanaan penelitian maupun pengujian sampel. Dengan demikian, harapannya temuan ini dapat memberi kontribusi yang bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

## REFERENCES

- Amran, R., Nurwiyei, Pratama, R. R., & Wahyuni, S. (2025). Stunting sebagai Ancaman Kualitas Sumber Daya Manusia: Perspektif Gizi, Lingkungan, dan Sosial. *Scientific Journal*, 4(4), 233–240. <https://doi.org/10.56260/sciena.v4i4.234>
- Cervera-Chiner, L., Sanz, A., García-Mares, F. J., Castelló, M. L., & Ortolá, M. D. (2024). *The Effect of the Incorporation of Dried Moringa Leaf Powder on the Physicochemical and Sensory Properties of Snack Crackers*. 10. <https://doi.org/10.3390/blsf2024037010>
- 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), 1–43. <https://doi.org/10.3390/foods14111881>
- Ernawati ddk, (2019). Indonesian Journal of Global Health Research. *Indonesian Journal of Global Health Research*, 2(4), 553–564. <https://doi.org/10.37287/ijghr.v2i4.250>
- Fajrianti, I., Alamsyah, A., & Rahayu, T. I. (2025). Pengaruh Fortifikasi Tepung Daun Kelor Terhadap Sifat Kimia dan Organoleptik Corn Flakes. *EduFood*, 3(4), 66–76.
- Fapetu, A. P., Karigidi, K. O., Akintimehin, E. S., Olawuwo, T., & Adetuyi, F. O. (2022). Effect of partial substitution of wheat flour with Moringa oleifera leaf powder on physical, nutritional, antioxidant and antidiabetic properties of cookies. *Bulletin of the National Research Centre*, 46(53), 2–9. <https://doi.org/10.1186/s42269-022-00746-8>
- Fidyasari, A., Estiasih, T., Wulan, S. N., & Khatib, A. (2024). The physicochemical , functional , and pasting properties of Moringa oleifera leaf powder from different leaf stalk colors. *CyTA - Journal of Food*, 22(1), 1–18. <https://doi.org/10.1080/19476337.2024.2402062>
- Gao, Q., Liu, X., Shi, J., Li, L., & Sun, B. (2025). Polyphenols in Different Parts of Moringa oleifera Lam .: Composition , Antioxidant and Neuroprotective Potential. *Food Chemistry*, 475(October 2024), 143207. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143207>
- Herlina, H., Nur Shaidah, S., Afriliana, A., Wibowo, Y., Soekarno, S., & Eko Wiyono, A. (2024). Karakterisasi Roti Bolu Manis Berbasis Mocaf (Modified Cassava Flour) Terkomposit Serbuk Daun Kelor Sebagai Sumber Antioksidan Alami. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 25(2), 175–194. <https://doi.org/10.21776/ub.jtp.2024.025.02.7>
- Iwansyah, A. C., Hermiati, A., Zulkarnain, A. F., & Ikrawan, Y. (2021). Optimization Of Formula Crackers Enhanced With Kelor (Moringa Oleifera) Leaves Using Mixture Design Method. *Enhanced Knowledge in Sciences and Technology*, 1(Vol. 1 No. 2 (2021): EKST), 1–10. <https://doi.org/10.30880/ekst.2021.01.02.001>
- Kementerian Kesehatan RI. (2020). Profil Kesehatan Indonesia Tahun 2019. In *Kementerian Kesehatan Republik Indonesia*.
- Kiranawati, T. M., Rohajatien, U., & Jayanti, R. S. (2021). Pengaruh Lama Fermentasi Adonan terhadap Sifat Fisik dan Kimia Crackers Substitusi Tepung Komposit. *Jurnal Agroindustri*, 11(2), 133–142. <https://ejournal.unib.ac.id/index.php/agroindustri>
- Kustiani, A., & Hervidea, R. (2021). Pengembangan Crackels ( Crackers Tepung Lele Dan Kelor ) Sumber Antioksidan Sebagai Alternatif. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 5(2), 1293–1296.
- Larasati, S. D., Sukmawati, E., Aksari, S. T., & Imanah, N. D. N. (2024). Pemanfaatan Daun Kelor Terhadap Peningkatan Produksi Asi Ibu Menyusui. *Journal of Andalas Medica*, 2(5), 182–189.
- Maisont, S., Samutsri, W., Phae-ngam, W., & Limsuwan, P. (2021). Development and Characterization of Crackers Substitution of Wheat Flour With Jellyfish. *Frontiers in Nutrition*, 8, 1–9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.772220>

- Malibun, F. B., Syam, H., & Sukainah, A. (2019). Pembuatan Rice Crackers dengan Penambahan Beras Merah (*Oryza nivara*) dan Serbuk Daun Kelor (*Moringa oleifera*) sebagai Pangan Fungsional. *Ayan*, 8(5), 55.
- Malino, S. J., Erliansyach, A. N., & Azmi, N. A. (2026). Scientific Review : The Contribution of Moringa Leaf Nutrients in Preventing Stunting. *Journal of Food Technology, Safety, and Sustainability*, 1(1), 8–19.
- Marhaeni, 2021. (2021). Daun Kelor (*Moringa oleifera*) Sebagai Sumber Pangan Fungsional Dan Antioksidan. *Jurnal Agrisia*, Vol.13(2), 40–53.
- Masitlha, E. P., Seifu, E., & Teketay, D. (2024). Nutritional Composition and Mineral Profile of Leaves of Moringa Oleifera Provenances Grown In Gaborone, Botswana. *Food Production, Processing and Nutrition*, 6(3), 2–9. <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00183-8>
- Nurhamzah, L. Y., Ghaffar, M., & Listyawardhan, Y. (2024). Karakteristik Biskuit Substitusi tepung Umbi Ganyong (*Canna discolor*) dan Tepung Ikan Gabus (*Channa striata*) Sebagai Camilan Sehat Balita. *J. Sains Dan Teknologi Pangan*, 9(6), 7980–7991. <https://jstpuho.id/index.php/jstp/article/view/49%0Ahttps://jstpuho.id/index.php/jstp/article/download/49/46>
- Olagunju, A. I., Omoba, O. S., Enujiugha, V. N., & Aluko, R. E. (2018). Development of value-added nutritious crackers with high antidiabetic properties from blends of Acha (*Digitaria exilis*) and blanched Pigeon pea (*Cajanus cajan*). *Food Science and Nutrition*, 6(7), 1791–1802. <https://doi.org/10.1002/fsn3.748>
- Oluwakemi, B., Ruth, O., Omowumi, O., & Adewale, C. (2024). Evaluation of the nutritional and chemical composition of crackers developed from blends of wheat , unripe plantain , and mushroom flour. *Food and Humanity*, 3(August), 100379. <https://doi.org/10.1016/j.fooHum.2024.100379>
- Permenkes. (2020). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2020 Tentang Standar Antropometri Anak*.
- Salsabila, D., Widati, A. S., & Widyastuti, E. S. (2024). Effect of Moringa (*Moringa oleifera*) Flour on Physical and Chemistry Qualities of Duck Meat Traditional Crackers. *BIO Web of Conferences*, 88(00027), 1–14. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20248800027>
- Shi, B., Guo, X., Liu, H., Jiang, K., Liu, L., Yan, N., Farag, M. A., & Liu, L. (2024). Dissecting Maillard Reaction Production in Fried Foods: Formation Mechanisms, Sensory Characteristic Attribution, Control Strategy, and Gut Homeostasis Regulation. *Food Chemistry*, 438(July 2023), 137994. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137994>
- Shoofiyah, S., Pelawi, A. M. P., & Dedu, B. S. S. (2024). Hubungan Stunting dengan Perkembangan Kemampuan Kognitif Anak Balita. *Jurnal Penelitian Perawat Profesional*, 6(5), 1989–1998.
- Tang, Y., Huang, Y., Li, M., Zhu, W., Zhang, W., Luo, S., Zhang, Y., Ma, J., & Jiang, Y. (2024). Balancing Maillard Reaction Products Formation and Antioxidant Activities For Improved Sensory Quality and Health Benefit Properties of Pan Baked Buns. *Food Research International*, 195(April), 114984. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114984>
- Viani, T. O., Rizal, S., Nurdjanah, S., & Nawansih, O. (2023). Formulasi Tepung Daun Kelor (*Moringa oleifera* L.) dan Tepung Terigu Terhadap Mutu Sensori, Fisik, dan Kimia Cupcake. *Jurnal Agroindustri Berkelanjutan*, 2(1), 147–160.
- Yuliani, Adriana Imansyah, A., Syamsiah, M., & Trihaditia, R. (2022). Uji Organoleptik Dan Kandungan Nutrisi Biskuit Dengan Bahan Fortifikasi Tepung Kelor (*Moringa oleifera*) Untuk Penanganan Stunting. *Agrivet : Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Dan Peternakan (Journal of Agricultural Sciences and Veteriner)*, 10(1), 159–168. <https://doi.org/10.31949/agrivet.v10i2.3822>
- Yuwanti, Mulyaningrum, F. M., & Susanti, M. M. (2021). Associated Factors of Stunting in Toddler in Grobogan Regency. *Jurnal Keperawatan Dan Kesehatan Masyarakat Cendekia Utama*, 10(1), 74–84.