

## Karakteristik tekstur dan sensori roti *sourdough* dengan penambahan Dangke (keju Enrekang)

*Texture and sensory properties of sourdough bread with Enrekang cheese addition*

Monika Rahardjo<sup>1)\*</sup>, Monang Sihombing<sup>1)</sup> Marta Amelyia Sipayung<sup>1)</sup> & Bintang Carouline<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Kristen Satya Wacana  
\*Email korespondensi: monika.rahardjo@uksw.edu

### Informasi artikel:

Dikirim: 04 September 2025; disetujui: 24 Desember 2025; diterbitkan: 31 Maret 2026

### ABSTRACT

*Sourdough bread is increasingly recognized not only for its nutritional benefits but also for its potential to incorporate local ingredients that improve sensory and functional qualities. Dangke (Enrekang cheese), a traditional Indonesian dairy product, contains protein and lipid components that may influence the texture and flavor profile of sourdough bread. This study aimed to evaluate the effect of Dangke incorporation on the physical and sensory characteristics of sourdough bread, with a focus on identifying the optimal concentration that enhances bread quality. Texture analysis was performed using a texture analyzer to measure hardness, cohesiveness, springiness, gumminess, chewiness, fracture force, adhesiveness, adhesive force, and stiffness and sensory analysis was conducted to assess visual, taste, aroma, texture, and overall acceptance. Statistical analysis was conducted using ANOVA and Duncan's test. Significant differences were observed in hardness, fracture force, and stiffness, while other parameters showed no statistical differences. Moderate incorporation of Dangke (10–20%) reduced hardness and stiffness, producing softer crumb structures. However, at higher concentrations (30%), hardness and stiffness increased, likely due to competition for water absorption and disruption of gluten networks. Sensory results showed improved flavor, aroma, and overall acceptance with increasing Dangke levels, with the highest scores obtained at 20–30%. Incorporating Dangke at optimal levels (20–30%) significantly improves the sensory quality of sourdough bread while maintaining desirable texture. These findings highlight the potential of Dangke as a functional ingredient for product diversification and nutritional enrichment in sourdough-based bakery products.*

**Keywords:** *Dangke (Enrekang cheese), functional bakery products, sensory evaluation, sourdough bread, texture profile analysis*

### ABSTRAK

Roti *sourdough* semakin dikenal tidak hanya karena manfaat gizinya, tetapi juga potensinya untuk menginkorporasi bahan lokal yang dapat meningkatkan kualitas sensori dan fungsional. Dangke (keju Enrekang), produk susu tradisional Indonesia, mengandung komponen protein dan lemak yang dapat memengaruhi tekstur dan profil rasa roti *sourdough*. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh penambahan Dangke terhadap karakteristik fisik dan sensori roti *sourdough*, serta menentukan konsentrasi optimal yang dapat meningkatkan mutu produk. Analisis tekstur dilakukan menggunakan *texture analyzer* untuk mengukur *hardness*, *cohesiveness*, *springiness*, *gumminess*, *chewiness*, *fracture force*, *adhesiveness*, *adhesive force*, dan *stiffness*.

Analisis statistik dilakukan dengan ANOVA dan uji Duncan. Evaluasi sensori dilakukan oleh panelis terlatih untuk menilai visual, rasa, aroma, tekstur, dan penerimaan keseluruhan. Perbedaan signifikan ditemukan pada parameter *hardness*, *fracture force*, dan *stiffness*, sementara parameter lainnya tidak menunjukkan perbedaan nyata. Penambahan Dangke dalam kadar moderat (10–20%) menurunkan *hardness* dan *stiffness* sehingga menghasilkan crumb yang lebih lembut. Namun, pada kadar tinggi (30%) terjadi peningkatan kembali kekerasan dan kekakuan akibat kompetisi penyerapan air dan gangguan jaringan gluten. Uji sensori menunjukkan peningkatan rasa, aroma, dan penerimaan keseluruhan seiring bertambahnya konsentrasi Dangke, dengan skor tertinggi pada 20–30%. Inkorporasi Dangke pada level optimal (20–30%) mampu meningkatkan kualitas sensori roti *sourdough* dengan tetap mempertahankan tekstur yang diinginkan. Hasil ini menunjukkan potensi Dangke sebagai bahan fungsional untuk diversifikasi produk dan pengayaan gizi pada produk *bakery* berbasis *sourdough*.

**Kata kunci:** Analisis profil tekstur, dangke (keju Enrekang), evaluasi sensori, produk *bakery* fungsional, roti *sourdough*

## PENDAHULUAN

Indonesia dikenal luas karena beragam produk lokalnya yang kaya, dan di antara produk-produk tersebut salah satunya adalah keju Enrekang, yang secara lokal dikenal sebagai Dangke. Keju lembut ini berasal dari Kabupaten Enrekang di Sulawesi Selatan, di mana keju ini secara tradisional diproduksi menggunakan bahan-bahan lokal. Bahan utama Dangke adalah susu kerbau atau sapi, yang dikentalkan menggunakan papain, enzim yang diekstraksi dari lateks pepaya (*Carica papaya*) (Hajrawati *et al.*, 2024; Maskey dan Shrestha, 2020). Ciri khas Dangke tidak hanya berasal dari bahan-bahannya, tetapi juga dari proses tradisional yang digunakan dalam pembuatannya, termasuk menyaring dadih melalui cangkang kelapa dan membungkusnya dengan daun pisang untuk penyimpanan (Hajrawati *et al.*, 2024). Metode pengolahan tradisional ini mencerminkan pemahaman mendalam tentang bahan-bahan lokal dan efek sinergisnya, yang telah diwariskan dari generasi ke generasi dan tetap menjadi bagian integral dari identitas kuliner wilayah tersebut.

Dangke menawarkan berbagai manfaat kesehatan yang berasal dari komponen bioaktifnya dan proses fermentasi tradisionalnya. Penelitian menunjukkan bahwa konsumsi Dangke dapat meningkat-

kan indikator terkait sindrom metabolik, termasuk penurunan kadar glukosa darah dan kolesterol, yang relevan dalam pengelolaan obesitas dan gangguan terkait. Selain itu, Dangke kaya akan bakteri asam laktat (LAB) dan peptida bioaktif yang memiliki efek anti mikroba, antioksidan, anti hipertensi, anti hiperglikemik, dan anti hiperkolesterolemik (Setiarto *et al.*, 2025). Selain itu, profil gizi Dangke diperkaya dengan asam lemak esensial, termasuk asam linoleat, oleat, palmitat, dan stearat, yang berkontribusi pada sifat fungsionalnya dalam diet yang bertujuan untuk meningkatkan kesehatan kardiovaskular dan metabolik (Yusuf *et al.*, 2022). Proses fermentasi tradisional yang menggunakan susu kerbau dan sapi bersama dengan koagulan alami seperti jus nanas dan getah pepaya, membantu mempertahankan profil bioaktif unik yang dapat mendukung kesehatan secara keseluruhan dan mengurangi risiko penyakit kronis (Yusuf *et al.*, 2022).

Penambahan Dangke ke dalam formulasi roti dapat memberikan beberapa manfaat yang dihipotesiskan berdasarkan penelitian yang ada tentang bahan susu serupa. Penambahan produk susu fungsional ke dalam roti telah terbukti meningkatkan kualitas gizi dan mengatur respons glikemik konsumen (Graça *et al.*, 2020) Misalnya, penambahan produk susu seperti yoghurt atau keju dadih ke dalam formulasi roti telah

menunjukkan potensi dalam mengurangi glikemia pasca makan, hal yang penting bagi populasi berisiko diabetes dan gangguan metabolik (Graça *et al.*, 2020). Selain itu, bahan-bahan berbasis susu meningkatkan sifat sensori dan tekstur roti, berkontribusi pada penerimaan konsumen yang lebih baik bersamaan dengan peningkatan gizi. Dalam penelitian terkait, penggunaan komponen susu seperti bubuk keju putih beku-kering dalam formulasi roti telah menghasilkan perbaikan dalam stabilitas kinetik dan sifat fisiko-kimia keseluruhan matriks roti (Takma *et al.*, 2024). Selain itu, penelitian tentang roti gandum yang diperkaya dengan produk susu menunjukkan bahwa formulasi semacam itu dapat secara positif mengubah rheologi adonan dan mikrostruktur, menghasilkan roti dengan kualitas teknologi, gizi, dan sensorik yang meningkat (Graça *et al.*, 2019).

Berdasarkan tinjauan literatur yang ada, hingga saat ini belum ditemukan penelitian yang secara eksplisit membahas formulasi roti dengan penambahan keju Enrekang atau Dangke sebagai bahan tambahan. Sebagian besar penelitian mengenai roti lebih menitikberatkan pada aspek teknis proses produksi, pengaruh metode pendinginan terhadap karakteristik kimia maupun organoleptik, serta eksplorasi penambahan bahan fungsional lain seperti jus mengkudu atau minyak kelapa yang berfungsi memperpanjang umur simpan roti. Sementara itu, penelitian terkait Dangke lebih banyak berfokus pada proses produksinya, misalnya optimasi koagulasi menggunakan papain kasar atau pemanfaatan sari kunyit sebagai pewarna alami (Permata *et al.*, 2023), tanpa mengaitkannya dengan aplikasi pada produk roti. Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk menganalisis karakteristik fisik dan sensori roti *sourdough* dengan penambahan Dangke (keju Enrekang) sebagai inovasi baru dalam pengembangan produk pangan berbasis fermentasi. Hipotesis yang diajukan adalah bahwa penambahan Dangke pada konsentrasi tertentu akan memberikan kontribusi positif terhadap tekstur roti

*sourdough* serta meningkatkan tingkat penerimaan sensori konsumen, sehingga dapat membuka peluang diversifikasi produk roti dengan sentuhan khas lokal.

## METODE

### Bahan

Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah bahan produksi roti dan bahan analisis. Bahan produksi roti *sourdough* meliputi tepung gandum putih merk Cakra Kembar, tepung Wholewheat merk Nourish, air, garam merk Dolphin, gula merk Gulaku, mentega merk Anchor unsalted butter, starter *sourdough* dan Dangke (keju Enrekang).

### Alat

Peralatan utama yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari peralatan produksi roti dan peralatan analisis. Peralatan produksi roti meliputi *standing mixer* merk Sinmag B-10, oven merk Mitochiba MO-888, loyang roti merk Sanneng. Peralatan analisis yaitu analisa tekstur yang menggunakan *Texture analyzer* Lloyd TA Plus.

### Metode

Metode pada penelitian ini dibagi menjadi beberapa langkah yaitu pembuatan roti *sourdough*, analisis fisik (tekstur), analisis sensori, dan analisis statistik.

### Pembuatan roti tawar *sourdough*

Formulasi pembuatan adonan roti *sourdough* pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1. Bahan kering dan bahan basah dicampur (kecuali garam dan mentega) terlebih dahulu kemudian diuleni sampai setengah kalis. Garam dan mentega kemudian dicampurkan dalam adonan ini dan diuleni sampai kalis dengan melakukan pengecekan *window pane*. Adonan kemudian dimasukkan dalam wadah tertutup dan dibiarkan terfermentasi selama 30 menit. Adonan kemudian dikeluarkan dari wadah dan dibentuk, kemudian dimasukkan ke dalam loyang. Adonan roti kemudian dipanggang pada suhu 180°C selama 25

menit sampai permukaan roti berwarna coklat keemasan. Pada penelitian ini digunakan tiga perlakuan yang ditambahkan Dangke ke dalam formulasinya. Masing-

masing perlakuan diberi kode E10 (penambahan Dangke 10%), E20 (penambahan Dangke 20%) dan E30 (penambahan Dangke 30%).

Tabel 1. Formulasi roti *sourdough*

Bahan	Kontrol	E10	E20	E30
Tepung gandum (g)	300	300	300	300
Dangke (g)	0	30	60	90
Gula (g)	30	30	30	30
Starter <i>sourdough</i> (g)	50	50	50	50
Mentega (g)	30	30	30	30
Garam (g)	6	6	6	6
Air (g)	200	200	200	200

### Analisis fisik

Analisis fisik pada penelitian ini menggunakan uji tekstur. Uji tekstur ditentukan menggunakan *Texture analyzer* (Lloyd TA Plus) sesuai dengan prosedur yang dilakukan oleh Kulthe *et al.*, (2014). Sampel roti dikondisikan pada suhu ruang ( $25 \pm 2$  °C) selama 1 jam sebelum pengujian. Sampel ditempatkan di atas permukaan datar, kemudian dikompresi menggunakan *cylindrical platen probe* (diameter 36 mm) dengan *load cell* 500 N. Parameter pengukuran diatur sebagai berikut: *pre-test speed* 2.0 mm/s, *test speed* 1.7 mm/s, *post-test speed* 10 mm/s; *trigger force* 10 g; *compression distance* 6.2 mm (sekitar 25% dari tinggi sampel). Masing-masing sampel diuji dengan pengulangan sebanyak tiga kali.

### Analisis sensori

Analisis sensori dilakukan dengan menggunakan uji penerimaan rating kesukaan (Meilgaard *et al.*, 2006) dari lima parameter yaitu visual, warna, rasa, tekstur, dan penerimaan secara keseluruhan (overall). Rating yang digunakan adalah rating dengan 5 skala (skala 1 merupakan skala yang paling tidak disukai sampai skala 5 merupakan skala yang paling disukai). Panelis yang digunakan untuk uji sensori sebanyak 55 panelis tidak terlatih.

### Analisis statistik

Keseluruhan data yang diperoleh akan dianalisis menggunakan *analysis of variance* (ANOVA) pada  $\alpha=5\%$  untuk mengetahui adanya pengaruh nyata pada setiap parameter pengujian. Hasil yang signifikan dari perhitungan ANOVA kemudian dilanjutkan dengan *Duncan's Multiple Range Test* pada  $\alpha=5\%$  untuk menentukan taraf perlakuan yang memberikan perbedaan nyata. Keseluruhan pengujian statistik dibantu dengan menggunakan *software IBM SPSS Statistics 29*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik fisik

Pengujian tekstur roti *sourdough* dilakukan dengan menggunakan *texture analyzer* dengan parameter uji meliputi: *hardness*, *cohesiveness*, *springiness*, *springiness index*, *gumminess*, *chewiness*, *fracture force*, *adhesiveness*, *adhesive force*, dan *stiffness*. Hasil pengujian tekstur dapat dilihat pada Tabel 2. Uji statistik menggunakan ANOVA dan Duncan menunjukkan perbedaan signifikan terdapat pada parameter *hardness*, *fracture force* dan *stiffness* sedangkan pada parameter lain tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kontrol dan sampel roti *sourdough* yang diinkorporasi dengan Dangke (keju Enrekang).

Tabel 2. Hasil uji tekstur

Parameter	Hardness (N)	Cohesiveness	Springiness	Springiness Index	Gumminess	Chewiness (N)	Fracture force (gf)	Adhesiveness (N)	Adhesive force (N)	Stiffness (N/mm)
Kontrol	351.76±4.24 <sup>2</sup>	0.09±0.01 <sup>1</sup>	4.97±0.19 <sup>1</sup>	0.37±0.08 <sup>1</sup>	1973.00±331.05 <sup>1</sup>	0.15±0.02 <sup>1</sup>	309.93±9.45 <sup>2</sup>	16.09±1.27 <sup>1</sup>	0.02±0.00 <sup>1</sup>	522.61±3.67 <sup>2</sup>
E10	229.62±4.45 <sup>1</sup>	0.09±0.04 <sup>1</sup>	4.55±0.17 <sup>1</sup>	0.27±0.08 <sup>1</sup>	1976.75±335.03 <sup>1</sup>	0.11±0.03 <sup>1</sup>	184.26±4.32 <sup>1</sup>	15.03±1.79 <sup>1</sup>	0.01±0.00 <sup>1</sup>	345.97±7.72 <sup>1</sup>
E20	240.09±8.98 <sup>1</sup>	0.09±0.04 <sup>1</sup>	5.01±0.23 <sup>1</sup>	0.38±0.06 <sup>1</sup>	1956.00±338.97 <sup>1</sup>	0.09±0.02 <sup>1</sup>	210.67±3.70 <sup>1</sup>	15.28±1.15 <sup>1</sup>	0.01±0.00 <sup>1</sup>	350.30±2.13 <sup>1</sup>
E30	255.76±9.38 <sup>1</sup>	0.08±0.02 <sup>1</sup>	5.12±0.14 <sup>1</sup>	0.40±0.03 <sup>1</sup>	1881.67±410.76 <sup>1</sup>	0.09±0.02 <sup>1</sup>	245.76±9.38 <sup>1,2</sup>	14.25±1.88 <sup>1</sup>	0.01±0.00 <sup>1</sup>	319.30±5.16 <sup>1</sup>

Keterangan: Angka superscript yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang signifikan ( $\alpha = 5\%$ )

*Hardness* merupakan salah satu parameter dalam analisis tekstur yang menggambarkan gaya tekan maksimum yang dibutuhkan untuk memberikan deformasi tertentu. Parameter ini mencerminkan kekerasan atau ketegasan struktur, yang pada roti berkaitan dengan jaringan gluten, kadar air, dan distribusi pori-pori dalam roti. Perubahan nilai *hardness* pada analisis tekstur roti disebabkan oleh berbagai faktor. Di antaranya adalah tingkat hidrasi adonan, kualitas dan kekuatan jaringan gluten, proses fermentasi, serta interaksi antara komponen adonan seperti tepung, ragi, dan bahan tambahan. Misalnya, kadar air yang lebih tinggi dan jaringan gluten yang terdistribusi secara homogen dapat menghasilkan roti dengan tekstur yang lebih lembut dan penurunan nilai *hardness*, sedangkan adonan dengan struktur jaringan gluten yang padat cenderung memiliki nilai *hardness* yang lebih tinggi. Selain itu, lama fermentasi dan aktivitas enzimatik selama proses pembuatan roti juga dapat mempengaruhi deformabilitas dan struktur pori, sehingga berdampak pada nilai kekerasan roti. Pada penelitian ini, roti *sourdough* kontrol mempunyai nilai *hardness* paling tinggi dan berbeda nyata dengan roti *sourdough* dengan penambahan Dangke (keju Enrekang).

Pada formulasi roti *sourdough*, nilai *hardness* pada roti kontrol yang tidak ditambahkan keju enrekang (dangke) cenderung lebih tinggi daripada roti *sourdough* yang diinkorporasi dengan keju. Hal ini dapat dijelaskan dengan adanya perbedaan komposisi matriks adonan. Pada roti kontrol, struktur gluten berkembang secara utuh tanpa adanya gangguan dari lemak dan protein tambahan yang terdapat pada keju, sehingga menghasilkan crumb yang lebih padat dan keras (Hayta dan

Hendek Ertop, 2018). Sementara itu, penambahan keju enrekang (dangke) dalam jumlah tertentu dapat memberikan efek pelunakan (tenderizing) pada crumb karena lemak dan komponen non-gluten dari keju berperan sebagai agen penghambat pengikatan air secara eksklusif oleh gluten, sehingga mengubah distribusi air dan memperlonggar struktur pori, yang berimplikasi pada penurunan nilai *hardness* (Alkay et al., 2023; Guiné, 2022).

Namun, fenomena yang terjadi adalah ketika semakin banyak persentase keju Enrekang (Dangke) dimasukkan ke dalam formulasi roti *sourdough* menunjukkan bahwa pada kadar keju yang sangat tinggi, nilai *hardness* roti kembali meningkat. Peningkatan tersebut kemungkinan disebabkan oleh beberapa mekanisme. Pertama, dalam konsentrasi keju yang tinggi, sejumlah besar komponen padat dari keju bersaing dengan gluten untuk menyerap air yang tersedia, sehingga mengurangi hidrasi gluten dan menghasilkan pembentukan jaringan yang lebih kaku dan kurang lentur (Bing et al., 2014). Kedua, kelebihan lemak dan protein dari keju dalam formulasi dapat mengganggu pembentukan ikatan gluten secara optimal, sehingga adonan menghasilkan struktur yang lebih rapat dan peningkatan kekakuan pada crumb roti. Dengan kata lain, penambahan keju dalam persentase sedang (moderat) dapat meningkatkan kelembutan roti, tetapi jika ditambahkan secara berlebihan, komposisi kering tambahan dan kompetisi dalam penyerapan air dapat menyebabkan peningkatan nilai *hardness* (Guiné, 2022; Hayta dan Hendek Ertop, 2018). Hal ini terjadi ketika komponen keju yang ditambahkan mulai mengganggu retensi gas dan ekspansi optimal selama pemanggangan,

mengakibatkan peningkatan kekerasan secara keseluruhan setelah efek melembutkan di awal (Bing *et al.*, 2014). Selain itu, tingkat keju yang tinggi dapat mempromosikan interaksi lipid-protein tambahan yang mengubah mikrostruktur crumb, menyebabkan peningkatan kekerasan (Rodriguez-Sandoval *et al.*, 2015).

*Fracture force* dalam analisis tekstur didefinisikan sebagai gaya maksimum yang diperlukan untuk memecahkan atau merusak struktur internal, yang mencerminkan kekuatan mekanisnya dan integritas jaringan. *Fracture force* pada roti secara fundamental dipengaruhi oleh mikrostruktur roti, termasuk pembentukan dan distribusi jaringan gluten dan protein lainnya, serta kandungan air dan lemak dalam matriks. Peningkatan atau penurunan nilai *fracture force* selama analisis tekstur terutama disebabkan oleh perubahan dalam formulasi roti dan kondisi pengolahan. Faktor-faktor seperti variasi kandungan air, fermentasi adonan, dan interaksi bahan baku (misalnya, protein, pati, dan produk susu tambahan) mempengaruhi pembentukan struktur crumb. Jaringan gluten yang berkembang dengan baik umumnya menghasilkan struktur yang lebih tahan lama; penambahan komponen lain, seperti keju, dapat memodifikasi jaringan tersebut dengan cara melemahkan gluten atau memperkenalkan protein dan lemak tambahan yang berinteraksi dengan matriks pati dan gluten. Interaksi ini dapat menyebabkan penurunan kekuatan patah (jika jaringan melemah) atau peningkatan (jika bahan tambahan berkontribusi memperkuat struktur melalui denaturasi protein atau ikatan kelembaban).

Dalam konteks roti *sourdough*, formulasi kontrol (tanpa tambahan Dangke) menunjukkan nilai *fracture force* tertinggi, kemungkinan karena formulasi ini memanfaatkan jaringan gluten yang sepenuhnya berkembang, yang merupakan ciri khas fermentasi *sourdough* tradisional, sehingga menghasilkan struktur crumb yang padat dan kohesif. Ketika Dangke ditambahkan ke dalam formulasi, komposisi uniknya yang mengandung protein spesifik

yang terbentuk melalui fermentasi berinteraksi dengan matriks gluten. Interaksi ini dapat menyebabkan penurunan integritas jaringan secara keseluruhan akibat efek pengenceran dari keju yang ditambahkan, sehingga menurunkan nilai kekuatan patah dibandingkan dengan roti *sourdough* kontrol. Jaringan gluten yang utuh pada roti *sourdough* kontrol memberikan resistansi mekanik yang lebih besar saat ditekan, sehingga menghasilkan nilai kekuatan patah yang lebih tinggi.

Di sisi lain, pada penelitian ini ketika persentase Dangke yang ditambahkan ke dalam formulasi meningkat, *fracture force* mulai meningkat kembali. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh fakta bahwa tingkat keju yang lebih tinggi menambahkan jumlah protein dan lemak keju yang signifikan, yang, melampaui titik tertentu, mulai berinteraksi satu sama lain dan dengan protein adonan yang sudah ada. Interaksi tersebut dapat menyebabkan pembentukan ikatan silang tambahan atau agregasi yang secara efektif memperkuat matriks roti secara keseluruhan. Selain itu, seiring dengan peningkatan kandungan keju, sifat fisik seperti distribusi kelembaban dan pembentukan jaringan sekunder (yang terbentuk oleh protein whey yang denaturasi atau agregat kasein) menjadi lebih menonjol. Jaringan sekunder ini dapat bertindak sebagai dukungan struktural tambahan bagi tekstur roti, sehingga berpotensi meningkatkan *fracture force* yang diperlukan untuk menyebabkan patahan. Oleh karena itu, peningkatan *fracture force* yang diamati pada persentase keju Enrekang yang lebih tinggi mungkin merupakan hasil dari keseimbangan antara gangguan awal pada jaringan gluten pada tingkat keju yang rendah dan penguatan yang diberikan oleh konsentrasi komponen keju yang lebih tinggi.

*Stiffness* dalam analisis tekstur roti merupakan ukuran resistansi material terhadap deformasi akibat gaya yang diterapkan dan sering dievaluasi menggunakan metode instrumental. Pada roti, *stiffness* mencerminkan kekenyalan atau

kekakuan remah roti dan secara langsung terkait dengan integritas struktural jaringan gluten serta keadaan gelatinisasi dan retrogradasi pati (Terrazas-Avila *et al.*, 2024). Dalam evaluasi instrumental, nilai kekakuan yang lebih tinggi umumnya menunjukkan roti yang lebih tahan terhadap deformasi, yang dapat memengaruhi persepsi konsumen terkait kesegaran, tekstur mulut, dan kualitas keseluruhan (Srivastava *et al.*, 2015). Perbedaan nilai stiffness baik peningkatan maupun penurunan dapat dikaitkan dengan beberapa faktor. Peningkatan *stiffness* sering kali terkait dengan kehilangan kelembapan dan retrogradasi pati selama penyimpanan, serta pembentukan jaringan gluten yang lebih kuat selama proses fermentasi (Terrazas-Avila *et al.*, 2024). Selain itu, faktor seperti waktu fermentasi dan pengasaman dapat menentukan laju hidrolisis protein dan modifikasi gluten yang secara langsung mempengaruhi kekenyalan tekstur roti. Sebaliknya, penurunan *stiffness* dapat terjadi ketika bahan-bahan seperti lemak atau aditif lain mengganggu pembentukan jaringan gluten, sehingga menghasilkan tekstur roti yang lebih lembut; aktivitas enzim dalam fermentasi *sourdough* juga dapat memodifikasi interaksi protein dan pati, menyebabkan struktur yang kurang kaku (Mercado *et al.*, 2022). Keseimbangan antara faktor-faktor yang bertentangan ini menghasilkan nilai kekakuan yang dinamis, yang terlihat pada formulasi roti yang berbeda.

Pada penelitian ini, roti *sourdough* kontrol menunjukkan nilai kekakuan tertinggi dibandingkan dengan formulasi roti *sourdough* yang mengandung keju Enrekang (Dangke). Roti *sourdough* kontrol, yang diformulasikan terutama dengan air, tepung, dan ragi *sourdough*, biasanya mengembangkan jaringan gluten yang kuat selama fermentasi dan pemanggangan, menghasilkan kekakuan yang lebih tinggi (Terrazas-Avila *et al.*, 2024). Di sisi lain, penambahan keju Enrekang memperkenalkan protein tambahan, lemak, dan kelembapan. Komponen susu ini

cenderung mengganggu perkembangan gluten dengan melarutkan matriks gluten dan meningkatkan pelumasan tekstur roti, sehingga mengurangi kekakuan secara keseluruhan (Mercado *et al.*, 2022). Selain itu, kandungan asam dan garam dalam keju mungkin juga memodifikasi aktivitas enzim selama fermentasi, yang pada akhirnya menghasilkan produk dengan tekstur yang lebih lembut.

Pada penelitian ini juga teramati bahwa terjadi peningkatan *stiffness* seiring dengan peningkatan persentase keju Enrekang (Dangke) yang ditambahkan ke formulasi roti, diikuti oleh penurunan pada persentase 30%. Penambahan keju dalam jumlah sedang (moderat) dapat berkontribusi pada penguatan jaringan di mana protein dan lemak dalam keju dapat berinteraksi secara positif dengan matriks gluten, sehingga meningkatkan resistensi terhadap patahan yang diukur melalui gaya patahan (Mercado *et al.*, 2022). Namun, ketika kandungan keju mencapai ambang kritis, penambahan keju yang berlebihan kemungkinan mengganggu kontinuitas jaringan gluten hingga tingkat yang merusak integritas struktural. Gangguan ini menyebabkan matriks yang kurang kohesif dan lebih diskontinu, sehingga kekuatan patah menurun meskipun total penambahan keju lebih tinggi (Mercado *et al.*, 2022).

### Karakteristik sensori

Evaluasi sensori merupakan komponen penting dalam ilmu pangan dan pengembangan produk. Evaluasi ini memberikan wawasan krusial mengenai preferensi konsumen, kualitas produk, dan penerimaan umum terhadap produk pangan. Hasil uji sensori pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3. Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa pada kelima parameter sensori yang dilakukan uji ANOVA, hanya parameter visual saja yang hasilnya tidak berbeda signifikan, namun pada parameter lainnya yaitu rasa, aroma, tekstur dan *overall* berbeda signifikan apabila dibandingkan antara roti *sourdough* kontrol dan roti *sourdough* yang telah ditambahkan Dangke.

Tabel 3. Hasil uji sensori

Parameter	Visual	Rasa	Aroma	Tekstur	Overall
Kontrol	3.52 ± 0.75 <sup>1</sup>	3.64 ± 0.98 <sup>1</sup>	3.47 ± 0.93 <sup>1</sup>	3.21 ± 0.86 <sup>1</sup>	3.31 ± 0.83 <sup>1</sup>
E10	3.51 ± 0.86 <sup>1</sup>	3.75 ± 0.87 <sup>1</sup>	3.51 ± 0.75 <sup>1</sup>	3.53 ± 0.97 <sup>2</sup>	3.68 ± 0.78 <sup>2</sup>
E20	3.57 ± 0.80 <sup>1</sup>	3.82 ± 0.95 <sup>2</sup>	3.76 ± 0.92 <sup>2</sup>	3.60 ± 0.63 <sup>2</sup>	3.76 ± 0.81 <sup>2</sup>
E30	3.60 ± 0.88 <sup>1</sup>	3.95 ± 0.92 <sup>2</sup>	3.85 ± 0.75 <sup>2</sup>	3.85 ± 0.54 <sup>3</sup>	3.87 ± 0.87 <sup>3</sup>

Keterangan: Angka superscript yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang signifikan ( $\alpha = 5\%$ )

Konsep parameter visual dalam evaluasi sensori merujuk pada atribut yang dapat dilihat secara visual, seperti warna, bentuk, ukuran, dan tekstur terutama pada produk makanan. Karakteristik ini sangat penting dalam menentukan kesan pertama konsumen dan penerimaan keseluruhan terhadap produk (Carbas *et al.*, 2016). Pertama, atribut visual memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pilihan konsumen, sering kali berperan sebagai mediator antara kualitas produk dan keputusan pembelian (Heenan *et al.*, 2008). Kedua, karakteristik visual tertentu dapat memberikan informasi kepada pembuat roti tentang efektivitas formulasi dan proses yang digunakan, sehingga memudahkan pengendalian kualitas (Heenan *et al.*, 2008). Misalnya, dalam kaitannya dengan roti, roti yang memiliki kulit keemasan yang menarik dan struktur crumb yang merata cenderung dievaluasi lebih positif dalam penilaian sensori dibandingkan roti dengan warna atau tekstur yang tidak merata atau tidak diinginkan (Guan *et al.*, 2023).

Di penelitian ini, dapat dilihat pada Tabel 3 bahwa roti *sourdough* kontrol tidak menunjukkan perbedaan signifikan secara visual dalam evaluasi sensori dibandingkan dengan roti *sourdough* yang diinkorporasi dengan Dangke. Tidak adanya perbedaan yang signifikan secara visual disebabkan oleh bahan dasar yang digunakan. Kedua jenis roti tersebut menggunakan tepung terigu sebagai bahan dasar yang sama, sehingga menghasilkan kesamaan inherent dalam tekstur dan deskriptor sensasi mulut lainnya (Molfetta *et al.*, 2021; Rizzello *et al.*, 2019). Penambahan Dangke, meskipun menambahkan rasa yang khas, mungkin tidak cukup mengubah parameter visual yang

paling penting bagi konsumen dibandingkan dengan roti kontrol, sehingga menghasilkan hasil evaluasi sensori secara visual yang serupa (Bieniek dan Buksa, 2024; Novotni *et al.*, 2012).

Dalam evaluasi sensori, rasa merujuk pada kualitas spesifik yang dievaluasi saat menentukan profil rasa keseluruhan suatu produk pangan. Parameter ini penting dievaluasi karena memengaruhi penerimaan dan preferensi konsumen, yang sangat penting untuk kesuksesan penjualan produk pangan (Amann *et al.*, 2022). Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan 10% Dangke tidak menghasilkan perbedaan yang signifikan pada parameter rasa dibandingkan dengan roti *sourdough* kontrol tanpa penambahan keju. Hal ini dapat dikaitkan dengan titik jenuh persepsi pada konsentrasi panelis yang lebih rendah, di mana kompleksitas rasa alami roti *sourdough* mungkin membiaskan kontribusi rasa dari keju (Roby *et al.*, 2020; Škrobot *et al.*, 2022). Namun, peningkatan konsentrasi menjadi 20% dan 30% Dangke menghasilkan perbedaan signifikan dalam parameter rasa karena peningkatan rasa yang lebih menonjol, menciptakan profil sensori yang lebih kaya yang dapat dideteksi oleh panelis sensori, seperti yang dibahas dalam penelitian yang mengkorelasikan antara konsentrasi senyawa rasa dengan peningkatan persepsi (Urbanaviciute *et al.*, 2025).

Selain itu, hasil menunjukkan bahwa nilai parameter rasa meningkat seiring dengan peningkatan persentase penambahan Dangke. Hal ini dapat dijelaskan melalui adanya pelepasan senyawa peningkat rasa seperti glutamat dan asam amino lainnya, yang berkontribusi pada rasa umami dan

kekayaan rasa secara keseluruhan (Pontonio *et al.*, 2021; Zhao *et al.*, 2015). Seiring dengan peningkatan konsentrasi Dangke, hal ini kemungkinan membuat adanya keseimbangan rasa yang lebih kompleks yang berinteraksi secara sinergis dengan rasa asam roti *sourdough*, sehingga meningkatkan pengalaman rasa secara keseluruhan.

Parameter aroma dalam evaluasi sensori merujuk pada aspek yang berfokus pada senyawa volatil yang muncul selama proses pengolahan dan fermentasi, terutama pada produk roti seperti roti *sourdough*. Pentingnya menganalisis parameter aroma dalam evaluasi sensori roti terletak pada bagaimana senyawa volatil ini memengaruhi persepsi konsumen dan penerimaan produk. Senyawa aroma berperan signifikan dalam pengalaman sensori secara keseluruhan, memengaruhi profil rasa dan preferensi konsumen (Hernández-Parada *et al.*, 2022; Rizzello *et al.*, 2019). Penambahan bahan seperti Dangke (keju Enrekang) ke dalam adonan roti *sourdough* dapat lebih lanjut memodifikasi profil aroma dari roti, karena komponen berbasis susu dapat menghasilkan senyawa volatil yang berasal dari lemak tambahan dan memengaruhi dinamika mikrobiota yang ada selama fermentasi (Farahmand *et al.*, 2021; McKenney *et al.*, 2023).

Terjadinya perbedaan yang tidak signifikan dalam parameter aroma antara roti *sourdough* kontrol dan roti *sourdough* dengan penambahan 10% Dangke mungkin disebabkan oleh konsentrasi senyawa aromatik dari keju yang relatif rendah, sehingga tidak cukup signifikan untuk mengubah profil aroma roti. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan 10% tidak memberikan cukup senyawa volatil unik untuk menciptakan perubahan aroma yang terdeteksi dibandingkan dengan kontrol (Katsi *et al.*, 2021; Roby *et al.*, 2020). Namun, pada tingkat penambahan Dangke yang lebih tinggi, yaitu pada persentase 20% dan 30%, terdapat perubahan yang signifikan, karena disebabkan konsentrasi keju yang lebih tinggi kemungkinan memperkenalkan keragaman senyawa aroma

yang lebih kaya, yang dapat memperkuat profil aroma roti keseluruhan, sehingga menjadi lebih mudah dibedakan dari konsentrasi yang lebih rendah dan varian kontrol. Kondisi ini dapat menyebabkan ambang batas sensorik terlewat, menyebabkan perbedaan yang lebih jelas dalam persepsi dan evaluasi konsumen (Hernández-Parada *et al.*, 2022; Rizzello *et al.*, 2019).

Parameter tekstur memainkan peran penting dalam evaluasi sensori roti, yang memengaruhi preferensi dan penerimaan konsumen. Tekstur mencakup atribut seperti kekerasan, kekenyalan, elastisitas, dan struktur remah. Karakteristik ini sangat penting dalam menentukan kualitas keseluruhan dan penerimaannya oleh konsumen, karena variasi tekstur dapat secara signifikan mempengaruhi pengalaman makan dan kesegaran yang dirasakan dari produk (Graça *et al.*, 2019; Takma *et al.*, 2024). Pada penelitian ini, penambahan Dangke (keju Enrekang) dalam formulasi roti *sourdough* terbukti menghasilkan perbedaan yang signifikan dalam tekstur dibandingkan dengan sampel kontrol. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh kontribusi molekuler dan komposisi dari keju, termasuk kandungan lemak yang lebih tinggi dan protein yang memengaruhi retensi kelembapan dan konsistensi struktur crumb roti (Graça *et al.*, 2020). Keberadaan lemak dapat meningkatkan sensasi di mulut, membuat roti lebih lembut dan memberikan tekstur yang lebih kenyal, sementara peningkatan protein dapat menghasilkan struktur yang lebih padat dan volume roti yang lebih baik (Graça *et al.*, 2020).

Pada penelitian ini, persentase penambahan keju Dangke yang berbeda yaitu pada 10%, 20%, dan 30% menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan dalam parameter tekstur dibandingkan dengan kontrol. Analisis statistik juga menunjukkan perbedaan yang signifikan pada persentase 10% dan 20% dibandingkan dengan persentase 30%. Hal ini mungkin disebabkan oleh efek ambang batas, di mana tingkat penambahan keju

mulai dari persentase moderat dapat meningkatkan kualitas seperti retensi kelembapan dan kohesi tanpa mengganggu struktur roti. Peningkatan rating penerimaan parameter tekstur seiring kenaikan persentase Dangke yang ditambahkan dalam formulasi roti *sourdough* ini mungkin disebabkan oleh efek gabungan dari peningkatan retensi kelembapan dan sifat-sifat keju yang meningkatkan tekstur, yang dapat melembutkan roti sambil memberikan profil rasa yang kompleks yang meningkatkan kenikmatan konsumen (Divya dan Rao, 2010; Graça *et al.*, 2020).

Parameter *overall* (penerimaan secara keseluruhan) sangat penting karena menangkap kesan komprehensif suatu produk sebagaimana dirasakan oleh para panelis. Parameter ini menggabungkan berbagai atribut sensorik seperti rasa, aroma, tekstur, dan penampilan menjadi satu parameter, yang mencerminkan penerimaan keseluruhan para panelis terhadap suatu produk. Jenis penilaian ini sangat relevan dalam konteks produk makanan seperti roti, di mana profil sensorik secara signifikan mempengaruhi preferensi konsumen dan penerimaan pasar. Pada penelitian ini roti *sourdough* kontrol dan roti *sourdough* diinkorporasi Dangke (keju Enrekang) menunjukkan perbedaan yang signifikan pada parameter-parameter yang dievaluasi selama uji sensorik. Penambahan keju Dangke meningkatkan rasa, tekstur, dan aroma roti *sourdough*, sehingga menghasilkan skor sensorik yang lebih tinggi. Hal ini dapat dikaitkan dengan peningkatan rasa umami yang dihasilkan oleh keju dan karakteristik unik yang diperkenalkan oleh fermentasi dengan komunitas mikroba yang beragam pada roti (Nouska *et al.*, 2023; Zhao *et al.*, 2015).

Selain itu, pada penelitian ini juga terlihat bahwa peningkatan persentase penambahan Dangke berkorelasi dengan peningkatan rating parameter *overall*. Peningkatan ini dapat dikaitkan dengan kelembutan, kekayaan rasa, dan rasa umami yang disediakan oleh Dangke, yang memperbaiki tekstur mulut dan kompleksitas

rasa pada roti *sourdough*. Persentase Dangke yang lebih tinggi kemungkinan meningkatkan karakteristik sensorik yang diinginkan, sehingga menghasilkan penilaian keseluruhan yang lebih baik (Zhao *et al.*, 2014). Oleh karena itu, seiring dengan peningkatan persentase Dangke yang ditambahkan, rating penerimaan *overall* juga meningkat, menunjukkan korelasi langsung antara kandungan bahan dan persepsi sensorik (Chen *et al.*, 2016).

## KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan Dangke (keju Enrekang) berpengaruh signifikan terhadap karakteristik fisik dan sensorik roti *sourdough*. Analisis profil tekstur memperlihatkan bahwa *hardness*, *fracture force*, dan *stiffness* merupakan parameter yang paling terpengaruh, sementara parameter lainnya tidak menunjukkan perbedaan signifikan. Penambahan Dangke dalam kadar moderat (10–20%) mampu menurunkan nilai *hardness* dan *stiffness* sehingga menghasilkan crumb yang lebih lembut dan mudah diterima. Namun, pada konsentrasi tinggi (30%), nilai *hardness* dan *stiffness* kembali meningkat, yang kemungkinan disebabkan oleh kompetisi penyerapan air dan gangguan pada integritas jaringan gluten.

Dari sisi sensorik, penambahan Dangke terbukti meningkatkan skor rasa, aroma, tekstur, dan penerimaan keseluruhan. Peningkatan ini semakin jelas seiring dengan bertambahnya konsentrasi Dangke, di mana penambahan 20–30% menghasilkan skor sensorik tertinggi. Kandungan protein dan lemak dari keju memberikan kontribusi terhadap kompleksitas rasa, persepsi umami, serta kelembutan crumb. Secara keseluruhan, inkorporasi Dangke pada level optimal (20–30%) dapat meningkatkan mutu sensorik roti *sourdough* sekaligus membuka peluang diversifikasi produk dan pengayaan gizi, sehingga berpotensi diterapkan baik pada skala artisan maupun komersial.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih peneliti ucapkan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga sebagai penyandang dana sehingga penelitian ini bisa berjalan dan terselesaikan dengan baik

## DAFTAR PUSTAKA

- Alkay, Z., Alkay, R., Dertli, E., Kökten, K., & Durak, M. Z. (2023). Rheological, textural and physicochemical properties of buckwheat *sourdough* bread prepared with different lactic acid bacteria strains. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, e5643. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.5643>
- Amann, L. S., Frank, O., Dawid, C., & Hofmann, T. F. (2022). The sensory-directed elucidation of the key tastants and odorants in *sourdough* bread crumb. *Foods*, 11(15), 2325. <https://doi.org/10.3390/foods11152325>
- Bieniek, A., & Buksa, K. (2024). The influence of Arabinoxylans on the properties of wheat bread baked using the postponed baking method. *Molecules*, 29(4), 904. <https://doi.org/10.3390/molecules29040904>
- Bing, D.-J., Kim, W.-T., & Chun, S.-S. (2014). Development of white bread using fermented wild grape *sourdough*. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 43(12), 1896–1905. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2014.43.12.1896>
- Carbas, B., Vaz-Patto, M. C., Bronze, M. R., Bento-Da-Silva, A., Trigo, M. J., & Brites, C. (2016). Maize flour parameters that are related to the consumer perceived quality of ‘broa’ specialty bread. *Food Science and Technology*, 36(2), 259–267. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6674>
- Divya, N., & Rao, K. J. (2010). Studies of utilization of Indian cottage cheese whey in wheat bread manufacture: utilization of whey in bread manufacture. *Journal of Food Processing and Preservation*, 34(6), 975–992. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2009.00432.x>
- Farahmand, E., Razavi, S. H., & Mohtasebi, S. S. (2021). Investigating effective variables to produce desirable aroma in *sourdough* using e-nose and sensory panel. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(2). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15157>
- Graça, C., Mota, J., Lima, A., Boavida Ferreira, R., Raymundo, A., & Sousa, I. (2020). Glycemic response and bioactive properties of gluten-free bread with yoghurt or curd-cheese addition. *Foods*, 9(10), 1410. <https://doi.org/10.3390/foods9101410>
- Graça, C., Raymundo, A., & Sousa, I. (2019). Wheat bread with dairy products—technology, nutritional, and sensory properties. *Applied Sciences*, 9(19), 4101. <https://doi.org/10.3390/app9194101>
- Guan, Y., Yang, X., Pan, C., Kong, J., Wu, R., Liu, X., Wang, Y., Chen, M., Li, M., Wang, Q., He, G., Yang, G., Chang, J., Li, Y., & Wang, Y. (2023). Comprehensive analyses of breads supplemented with tannic acids. *Foods*, 12(20), 3756. <https://doi.org/10.3390/foods12203756>
- Guiné, R. P. F. (2022). Textural properties of bakery products: a review of instrumental and sensory evaluation studies. *Applied Sciences*, 12(17), 8628. <https://doi.org/10.3390/app12178628>
- Hajrawati, H., Arief, I. I., Sukma, A., Wulandari, Z., Darmawati, M. P., & Ardat, Muh. A. (2024). *Functional properties, amino acid content, fatty acid, and flavor of buffalo milk Dangke with the addition of Lactobacillus plantarum IIA-1A5 as probiotic*. In Review. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4887219/v1>

- Hayta, M., & Hendek Ertop, M. (2018). Evaluation of microtextural properties of *sourdough* wheat bread obtained from optimized formulation using scanning electron microscopy and image analysis during shelf life. *Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2823-1>
- Heenan, S. P., Dufour, J.-P., Hamid, N., Harvey, W., & Delahunty, C. M. (2008). The sensory quality of fresh bread: Descriptive attributes and consumer perceptions. *Food Research International*, 41(10), 989–997. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.08.002>
- Hernández-Parada, N., González-Ríos, O., Suárez-Quiroz, M. L., Hernández-Estrada, Z. J., Figueroa-Hernández, C. Y., Figueroa-Cárdenas, J. D. D., Rayas-Duarte, P., & Figueroa-Espinoza, M. C. (2022). Exploiting the Native Microorganisms from Different Food Matrices to Formulate Starter Cultures for *Sourdough* Bread Production. *Microorganisms*, 11(1), 109. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11010109>
- Katsi, P., Kosma, I. S., Michailidou, S., Argiriou, A., Badeka, A. V., & Kontominas, M. G. (2021). Characterization of artisanal spontaneous *sourdough* wheat bread from central Greece: evaluation of physico-chemical, microbiological, and sensory properties in relation to conventional yeast leavened Wheat Bread. *Foods*, 10(3), 635. <https://doi.org/10.3390/foods10030635>
- Konuk Takma, D., Ökay, U., & Güneş, Ü. (2024). Characteristics of freeze-dried white cheese powder and utilisation in bread formulation. *International Journal of Food Science and Technology*, 59(7), 4958–4969. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17229>
- Kulthe, A. A., Pawar, V. D., Kotecha, P. M., Chavan, U. D., & Bansode, V. V. (2014). Development of high protein and low calorie cookies. *Journal of Food Science and Technology*, 51(1), 153–157. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0465-2>
- Maskey, B., & Shrestha, N. K. (2020). Optimization of crude papaya (*Carica papaya*) protease in soft-unripened cheese preparation. *Journal of Food Science and Technology Nepal*, 12(12), 1–8. <https://doi.org/10.3126/jfstn.v12i12.30139>
- McKenney, E. A., Nichols, L. M., Alvarado, S., Hardy, S., Kemp, K., Polmanteer, R., Shoemaker, A., & Dunn, R. R. (2023). *Sourdough* starters exhibit similar succession patterns but develop flour-specific climax communities. *PeerJ*, 11, e16163. <https://doi.org/10.7717/peerj.16163>
- Meilgaard, M. C., Carr, B. T., & Carr, B. T. (2006). *Sensory Evaluation Techniques* (0 ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b16452>
- Mohd Roby, B. H., Muhiaddin, B. J., Abadl, M. M. T., Mat Nor, N. A., Marzlan, A. A., Lim, S. A. H., Mustapha, N. A., & Meor Hussin, A. S. (2020). Physical properties, storage stability, and consumer acceptability for *sourdough* bread produced using encapsulated kombucha *sourdough* starter culture. *Journal of Food Science*, 85(8), 2286–2295. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15302>
- Molfetta, M., Celano, G., & Minervini, F. (2021). Functional, nutritional, and sensory quality of mixed flours-based breads as compared to durum wheat semolina-based breads. *Foods*, 10(7), 1613. <https://doi.org/10.3390/foods10071613>
- Nouska, C., Hatzikamari, M., Matsakidou, A., Biliaderis, C. G., & Lazaridou, A. (2023). Enhancement of textural and sensory characteristics of wheat bread using a chickpea *sourdough* fermented with a selected autochthonous microorganism. *Foods*, 12(16), 3112. <https://doi.org/10.3390/foods12163112>

- Novotni, D., Čukelj, N., Smerdel, B., Bituh, M., Dujmić, F., & Ćurić, D. (2012). Glycemic index and firming kinetics of partially baked frozen gluten-free bread with *sourdough*. *Journal of Cereal Science*, 55(2), 120–125. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.10.008>
- Permata, D. A., Sari, R. M., & Anggraini, T. (2023). Produksi Dangke dengan koagulan papain kasar dan sari kunyit sebagai pewarna alami. *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, 26(2), 254–261. <https://doi.org/10.25077/jtpa.26.2.254-261.2022>
- Pontonio, E., Arora, K., Dingo, C., Carafa, I., Celano, G., Scarpino, V., Genot, B., Gobetti, M., & Di Cagno, R. (2021). Commercial organic versus conventional whole rye and wheat flours for making *sourdough* bread: safety, nutritional, and sensory implications. *Frontiers in Microbiology*, 12, 674413. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.674413>
- Prieto-Vázquez Del Mercado, P., Mojica, L., & Morales-Hernández, N. (2022). Protein ingredients in bread: technological, textural and health implications. *Foods*, 11(16), 2399. <https://doi.org/10.3390/foods11162399>
- Rizzello, C. G., Portincasa, P., Montemurro, M., Di Palo, D. M., Lorusso, M. P., De Angelis, M., Bonfrate, L., Genot, B., & Gobetti, M. (2019). *Sourdough* fermented breads are more digestible than those started with baker's yeast alone: an in vivo challenge dissecting distinct gastrointestinal responses. *Nutrients*, 11(12), 2954. <https://doi.org/10.3390/nu11122954>
- Rodriguez-Sandoval, E., Cortes-Rodriguez, M., & Manjarres-Pinzon, K. (2015). Effect of hydrocolloids on the pasting profiles of tapioca starch mixtures and the baking properties of gluten-free cheese bread: hydrocolloids on gluten-free cheese bread. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1672–1681. <https://doi.org/10.1111/jfp.p.12398>
- Setiarto, R. H. B., Nur, N., Romulo, A., & Herlina, V. T. (2025). Dangke: Unveiling Indonesian traditional fermented cheese from Enrekang, South Sulawesi. *Journal of Ethnic Foods*, 12(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s42779-025-00279-1>
- Škrobot, D., Dapčević-Hadnađev, T., Tomić, J., Maravić, N., Popović, N., Jovanov, P., & Hadnađev, M. (2022). Technofunctional performance of emmer, spelt and khorasan in spontaneously fermented *sourdough* bread. *Foods*, 11(23), 3927. <https://doi.org/10.3390/foods11233927>
- Srivastava, S., Vaddadi, S., & Sadistap, S. (2015). Quality assessment of commercial bread samples based on breadcrumb features and freshness analysis using an ultrasonic machine vision (UVS) system. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 9(4), 525–540. <https://doi.org/10.1007/s11694-015-9261-4>
- Terrazas-Avila, P., Palma-Rodríguez, H. M., Navarro-Cortez, R. O., Hernández-Urbe, J. P., Piloni-Martini, J., & Vargas-Torres, A. (2024). The effects of fermentation time on *sourdough* bread: An analysis of texture profile, starch digestion rate, and protein hydrolysis rate. *Journal of Texture Studies*, 55(2), e12831. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12831>
- Urbanaviciute, S., Vandyte, E., Rozaityte, E., Mikoliunas, L., Verpecinkas, P., Venckute, R., Starkute, V., Klupsaite, D., Mockus, E., Mozuriene, E., Cernauskas, D., Kamarauskiene, E., & Bartkiene, E. (2025). Effect of spontaneous rye, wheat, and mixed rye-wheat *sourdoughs* on quality, aroma, and acrylamide content of homemade and small bakeries bread. *Journal of Food Science*, 90(6), e70315. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.70315>

- Yusuf, M., Nur Fitriani, U., Syahriati, Saleh, R., Tasir, & Syamsuar. (2022). Dangka: local indigenous cheese from Enrekang, South Sulawesi Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1097(1), 012064. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1097/1/012064>
- Zhao, C. J., Kinner, M., Wismer, W., & Gänzle, M. G. (2015). Effect of glutamate accumulation during *sourdough* fermentation with *Lactobacillus reuteri* on the taste of bread and sodium-Reduced bread. *Cereal Chemistry*, 92(2), 224–230. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-07-14-0149-R>