

Kandungan Bakteri Asam Laktat pada Sourdough Air Fermentasi Nanas dan Pengaruhnya terhadap Mutu Tekstur Roti Tepung Beras

Lactic Acid Bacteria Content in Pineapple Fermentation Water-Based Sourdough and Its Effect on the Textural Quality of Rice Flour Bread

Nia Agustina^{1a}, Helmi Haris²

¹Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian, Universitas Doktor Nugroho Magetan

²Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Ilmu Pangan Halal, Universitas Djuanda Bogor

^aKorespondensi : Nia Agustina, E-mail: niaagustina@udn.ac.id

Diterima: 01 - 12 - 2025 , Disetujui: 31 - 12 - 2025

ABSTRACT

This study aimed to determine the differences in the characteristics pineapple sourdough microbiota on the texture of rice flour white bread. The fermentation water was prepared from a mixture of pineapple, water, and sugar, and fermented at 30°C for 48 hours until reaching optimum microbial activity. The resulting sourdough was then applied in bread making using rice flour as the main ingredient, combined with tapioca and potato flours. The experimental design used a Completely Randomized Design with three treatments, namely control bread (commercial yeast), water-based sourdough bread, and pineapple sourdough bread, each repeated three times. Observed parameters included pH, titratable acidity, lactic acid bacteria and yeast counts, specific volume, crumb microstructure, and bread texture. The results showed that pineapple fermentation water supported the growth of lactic acid bacteria and yeast, reaching the highest population at 48 hours, indicated by a decrease in pH and an increase in acidity. Pineapple sourdough bread exhibited higher hardness, gumminess, and chewiness compared to the control and water sourdough bread, but maintained good springiness, resulting in a softer crumb structure that was not brittle. In conclusion, pineapple fermentation water can serve as a promising natural starter to improve the quality and texture of gluten-free rice bread.

Keywords: fruit fermentation, gluten-free, rice bread, sourdough, texture

ABSTRAK

Penelitian bertujuan mengetahui perbedaan karakteristik microbiota sourdough nanas terhadap tekstur roti tawar tepung beras. Air fermentasi dibuat dari campuran buah nanas, air, dan gula, kemudian difermentasi pada suhu 30°C selama 48 jam hingga diperoleh *starter* dengan aktivitas mikroba optimum. *Sourdough* yang dihasilkan selanjutnya digunakan dalam pembuatan roti bersama bahan utama tepung beras, tapioka, dan kentang. Rancangan penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan tiga perlakuan, yaitu roti kontrol (ragi komersial), roti sourdough air, dan roti sourdough nanas, diulang tiga kali. Parameter yang diamati mencakup pH, total asam tertitrasi, total bakteri asam laktat, total *yeast*, volume spesifik, mikrostruktur *crumb*, serta tekstur roti. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fermentasi air nanas mampu meningkatkan populasi bakteri asam laktat dan *yeast* hingga puncaknya pada 48 jam, ditandai dengan penurunan pH dan peningkatan keasaman. Roti sourdough nanas memiliki nilai *hardness*, *gumminess*, dan *chewiness* lebih tinggi dibandingkan kontrol maupun *sourdough* air, namun tetap menunjukkan *springiness* yang baik sehingga *crumb* tidak mudah rapuh. Kesimpulannya, penggunaan air fermentasi nanas sebagai *starter sourdough* berpotensi meningkatkan kualitas tekstur roti bebas gluten berbahan tepung beras.

Kata kunci: fermentasi buah, gluten free, roti beras, sourdough, tekstur

PENDAHULUAN

Roti tawar merupakan salah satu jenis pangan yang banyak diminati masyarakat Indonesia, dengan tingkat konsumsi mencapai 0,34 bungkus kecil per kapita setiap minggu (Statistik, 2021). Produk ini umumnya berbahan dasar terigu, namun ketergantungan pada terigu mendorong pencarian bahan lokal alternatif. Tepung beras menjadi salah satu pilihan karena memiliki rasa yang netral, tekstur lembut, serta aman bagi penderita alergi. Tantangannya, tepung beras tidak mampu menghasilkan elastisitas adonan sebagaimana gluten dalam terigu, sehingga perlu dipadukan dengan bahan lain agar mutu roti tetap terjaga. Inovasi lain adalah penggunaan sourdough. Adonan fermentasi alami ini dibuat dari campuran tepung dan air dengan mikroba utama berupa Bakteri Asam Laktat (BAL) dan yeast (Gobbetti, 1998 dalam Arora et al., 2021). Keunggulan sourdough antara lain meningkatkan umur simpan, memperbaiki kelembutan crumb, serta menambah keasaman roti. Dalam perkembangannya, sourdough dapat difermentasi dengan tambahan buah, karena buah mengandung gula sederhana yang menjadi nutrisi mikroba serta menciptakan lingkungan fermentasi yang stabil (Comasio et al., 2021).

Sejumlah penelitian menunjukkan perbedaan karakteristik sourdough berbasis buah. Penelitian oleh Gordún et al. (2015) membuktikan bahwa fermentasi dengan buah anggur memerlukan waktu lebih lama dibanding apel, dan menghasilkan mikroba spesifik yang berbeda. Sementara itu, Yu et al. (2018a) menemukan bahwa pear dan jeruk mampu meningkatkan keasaman serta volume roti. Hasil serupa ditunjukkan oleh Comasio et al. (2021) yang melaporkan peningkatan produksi asam laktat, asam asetat, aseton, dan diasetil dari penambahan jus lemon maupun apel. Temuan Zaidiyah et al. (2020) menguatkan potensi buah nanas, yang diketahui mampu menaikkan keasaman fermentasi karena jusnya lebih asam dibanding buah lain.

Penelitian ini menggunakan buah nanas jenis Honi yang memiliki kadar gula tinggi (≥ 16 brix). Nanas Honi mengandung sukrosa, glukosa, dan fruktosa (Dull, 1971 dalam Ambaye et al., 2022) dengan kadar air mencapai 81,2–86,2% serta total padatan 13–19%. Komposisi gula dalam jus nanas, yaitu 4,4% b/v disakarida, 2,4% b/v glukosa, dan 7,4% b/v fruktosa (Lan et al., 2013), sangat sesuai sebagai substrat fermentasi bagi BAL dan yeast. Hal ini menjadikan nanas Honi sebagai kandidat ideal untuk memperkaya mutu sourdough.

Penelitian ini diarahkan pada tiga tujuan: pertama, menganalisis pertumbuhan BAL dan yeast dalam fermentasi nanas; kedua, menilai pengaruh air fermentasi nanas terhadap komposisi mikroba dalam sourdough; ketiga, menguji dampak sourdough nanas terhadap tekstur dan volume spesifik roti tepung beras. Penelitian ini diharapkan dapat memberi kontribusi terhadap diversifikasi pangan lokal, khususnya pemanfaatan tepung beras dan buah tropis dalam pengembangan roti bebas gluten dengan kualitas fisik dan gizi yang lebih baik.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini menggunakan buah nanas jenis Honi (Sunpride) sebagai bahan utama pembuatan air fermentasi, dengan tambahan air dan gula (Gulaku) sebagai medium fermentasi. Sourdough dibuat dengan terigu jenis Cakra Kembar (Bogasari), sedangkan bahan baku roti adalah tepung beras (Bola Deli) yang dikombinasikan dengan tepung tapioca (Rose Brand), tepung kentang (Lingkar Organik), HPMC, dan psyllium husk. Bahan tambahan lain meliputi gula (Gulaku), susu bubuk (Dancow), margarin (Bluebland), garam (Dolphin), serta ragi komersial (Fermipan) sebagai pembanding. Untuk analisis digunakan NaOH (Merck, Germany), asam oksalat (Merck, Germany), indikator phenolphthalein (Merck, Germany), Peptone (Oxoid England), Peptone Water (Merck, Germany), Yeast extract (Merck, Germany), MRS broth (Merck, Germany), and distilled water (Java Santoso) serta media kultur seperti

MRS agar untuk bakteri asam laktat dan YPD agar untuk yeast. Peralatan yang dipakai mencakup stoples fermentasi, mixer, oven, loyang, pH meter digital, serta Texture Analyzer (TA1), Image J dan Cannon 550D

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan satu faktor, yaitu jenis sourdough, yang terdiri dari tiga perlakuan: roti kontrol dengan ragi komersial, roti sourdough air, dan roti sourdough berbasis fermentasi nanas. Masing-masing perlakuan diulang tiga kali. Prosedur penelitian meliputi tiga tahap utama: pembuatan air fermentasi nanas, pembuatan sourdough, dan pembuatan roti. Air fermentasi diperoleh dari campuran potongan nanas, air, dan gula yang difermentasi pada suhu 30°C selama 48 jam. Starter cair ini kemudian digunakan dalam proses pembuatan sourdough, yang difermentasi pada suhu sama dengan metode pemberian makan (feeding) setiap 12 jam (Yu et al., 2018).








Roti berbahan dasar tepung beras dibuat dengan mencampurkan tepung utama dengan bahan tambahan seperti tapioka, kentang, hidrokoloid, gula, susu bubuk, telur, margarin, dan garam. Pada roti kontrol digunakan ragi komersial, sedangkan pada roti perlakuan digunakan sourdough air maupun sourdough nanas. Adonan difermentasi pada suhu 30°C selama 3–4 jam untuk roti sourdough, sedangkan roti kontrol difermentasi selama 45 menit. Selanjutnya, adonan dipanggang selama 40 menit, didinginkan, lalu disimpan untuk dianalisis. Parameter yang diamati meliputi pH, total asam tertitrasi, total bakteri asam laktat, total yeast, volume spesifik, mikrostruktur crumb, serta sifat tekstur roti. (Sigüenza-Andrés et al., 2021). Jumlah bakteri asam laktat dan yeast dihitung dengan metode total plate count pada media MRS dan YPD, sedangkan volume spesifik roti ditentukan dengan metode perpindahan biji (rapeseed displacement). Analisis mikrostruktur dilakukan dengan pengolahan citra menggunakan perangkat lunak ImageJ untuk menghitung densitas dan luas sel crumb. Uji tekstur menggunakan Texture Analyzer TA-XT2i dengan pengukuran parameter hardness, gumminess, chewiness, springiness, cohesiveness, dan resilience. Data hasil pengujian dianalisis secara statistik menggunakan ANOVA satu arah dengan uji lanjut Duncan melalui perangkat lunak SPSS 22.0.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Air Fermentasi Buah Nanas

Hasil pembuatan air fermentasi buah nanas ditunjukkan pada Tabel 1 Campuran nanas, air, dan gula yang difermentasi pada suhu 30°C mulai menunjukkan gelembung udara setelah 12 jam, menandakan aktivitas bakteri asam laktat dan yeast.

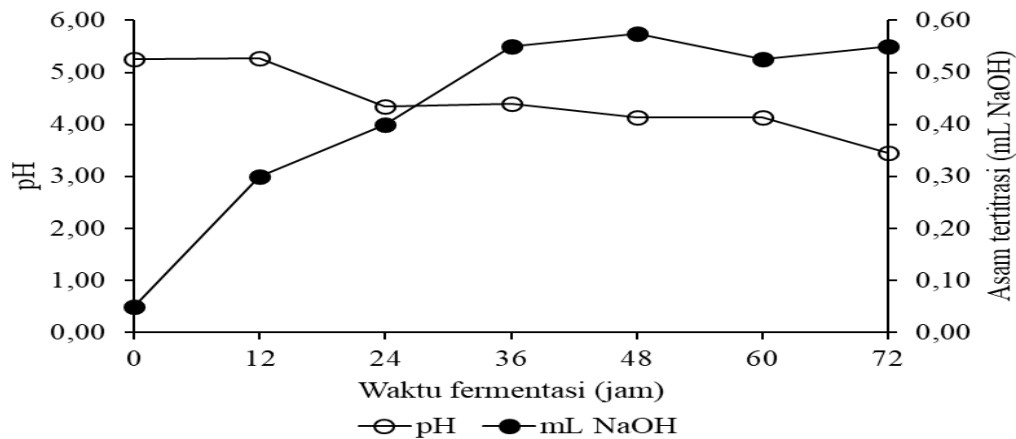
Tabel 1. Waktu Fermentasi

	Waktu fermentasi (jam)						
	0	12	24	36	48	60	72
Air fermentasi buah nanas							

Gelembung semakin banyak pada jam ke-24 hingga ke-36, dan mencapai puncaknya pada jam ke-48, sehingga waktu ini dipilih untuk pembuatan sourdough karena jumlah mikroba tertinggi. Jika dibandingkan penelitian Agustina (2023) fermentasi pepaya lebih cepat, yakni mencapai puncak pada 30 jam (Restuningtiyas, 2023), perbedaan yang kemungkinan dipengaruhi kandungan gula masing-masing buah.

pH dan asam tertitrasi air fermentasi buah nenas

Hasil analisis pH dan asam tertitrasi air fermentasi nenas disajikan pada Gambar 1. Pada awal fermentasi, pH larutan tercatat 5,24, lebih tinggi dibanding pH alami jus nenas (3,5–4,0) sebagaimana dilaporkan oleh Lan et al., (2013) dan Cagno et al., (2014). Penambahan air dan gula diduga menjadi penyebab kenaikan pH awal ini. Selama fermentasi, pH terus menurun hingga mencapai 3,46 pada jam ke-72, sedangkan nilai asam tertitrasi meningkat dari 0,05 mL menjadi 0,58 mL NaOH pada jam ke-48. Kondisi ini menunjukkan bahwa fermentasi 48 jam merupakan titik puncak pembentukan keasaman, sehingga waktu tersebut dipilih untuk digunakan dalam pembuatan sourdough.

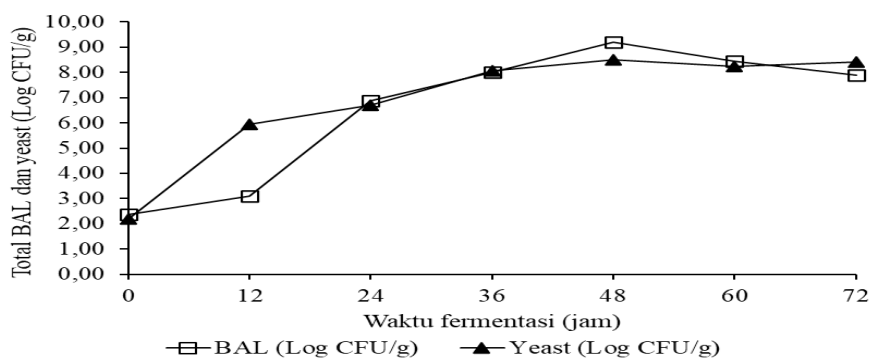


Gambar 1. Grafik pH dan asam tertitrasi air fermentasi nenas

Jika dibandingkan dengan penelitian lain, nilai pH pada fermentasi nenas lebih tinggi daripada fermentasi salak (3,62) namun lebih rendah dibanding fermentasi pepaya (4,57) (Agustina, 2023). Pada parameter asam tertitrasi, fermentasi salak menunjukkan nilai lebih tinggi (4 mL NaOH), sedangkan fermentasi pepaya hanya mencapai 1,2 mL. Perbedaan ini diduga berkaitan dengan variasi kandungan gula dan jenis bakteri dominan pada masing-masing buah, sehingga laju fermentasi serta tingkat keasaman yang dihasilkan tidak sama.

Total Bakteri Asam Laktat dan Yeast Air Fermentasi Buah Nenas

Hasil analisis total bakteri asam laktat (BAL) dan total yeast pada air fermentasi nenas ditunjukkan pada Gambar 4.2. Pada awal fermentasi, jumlah BAL dan yeast relatif rendah yaitu masing-masing 2,36 Log CFU/g dan 2,19 Log CFU/g, lebih kecil dibandingkan jumlah mikroba pada buah nenas segar (5,0 dan 4,0 Log CFU/g) sebagaimana dilaporkan oleh Cagno et al. (2014). Perbedaan ini diduga disebabkan variasi jenis nenas yang digunakan. Selama fermentasi, jumlah BAL dan yeast meningkat signifikan hingga mencapai puncaknya pada jam ke-48 dengan total BAL 9,20 Log CFU/g dan total yeast 8,49 Log CFU/g. Oleh karena itu, fermentasi pada jam ke-48 dipilih sebagai waktu optimal dan digunakan dalam pembuatan sourdough.

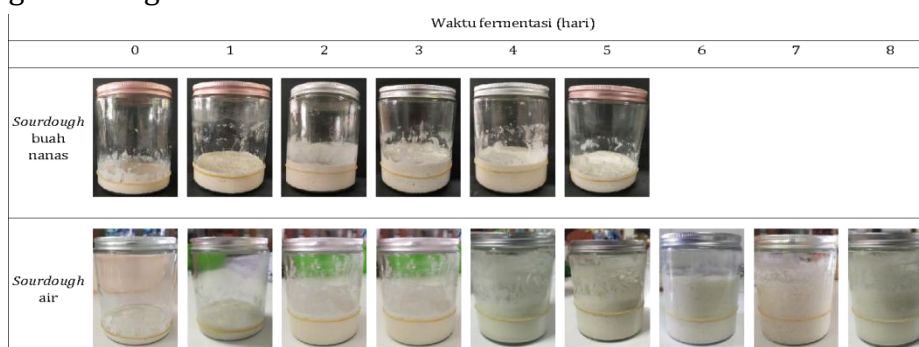


Gambar 2. Grafik total bakteri asam laktat (BAL) dan yeast air fermentasi nenas

Hasil yang sama dilaporkan oleh Agustina (2023) pada fermentasi buah salak, di mana jumlah BAL dan yeast tertinggi juga dicapai pada jam ke-48. Sementara itu, fermentasi pepaya menunjukkan puncak pertumbuhan mikroba lebih cepat, yaitu pada jam ke-30 (Restuningtyas, 2023), kemungkinan karena kandungan nutrisinya lebih tinggi. Variasi waktu puncak fermentasi juga terlihat pada penelitian lain, misalnya Yu et.al. (2018b) yang melaporkan fermentasi pear dan jeruk berlangsung hingga 8 hari, serta Gordún et.al. (2015) yang menemukan fermentasi apel optimum pada 5 hari dan anggur pada 2 hari. Hal ini menunjukkan bahwa lama fermentasi sangat dipengaruhi oleh jenis buah serta kandungan nutrisi yang tersedia bagi pertumbuhan BAL dan yeast.

Sourdough Air dan Sourdough Buah Nanas

Hasil pengamatan pembuatan sourdough air dan sourdough nanas ditunjukkan pada Gambar 3 Pada awal fermentasi (hari ke-0), keduanya tampak serupa, hanya berbeda warna karena penambahan air fermentasi nanas pada sourdough nanas. Setelah 24 jam, gelembung udara kecil mulai terlihat dan volume sourdough nanas meningkat lebih cepat dibanding sourdough air, diduga akibat aktivitas bakteri asam laktat dan yeast. Fenomena ini sejalan dengan penelitian Zaidiyah et.al. (2020) yang menyebutkan mikrobiota dorman dalam tepung akan aktif saat menemukan lingkungan fermentasi yang sesuai. Berdasarkan Juarez-Garcia et.al. (2006) dalam Zaidiyah et.al. (2020) karbohidrat buah yang dimetabolisme menghasilkan maltosa, yang kemudian digunakan yeast untuk menghasilkan CO₂ dan etanol sehingga membentuk gelembung udara.



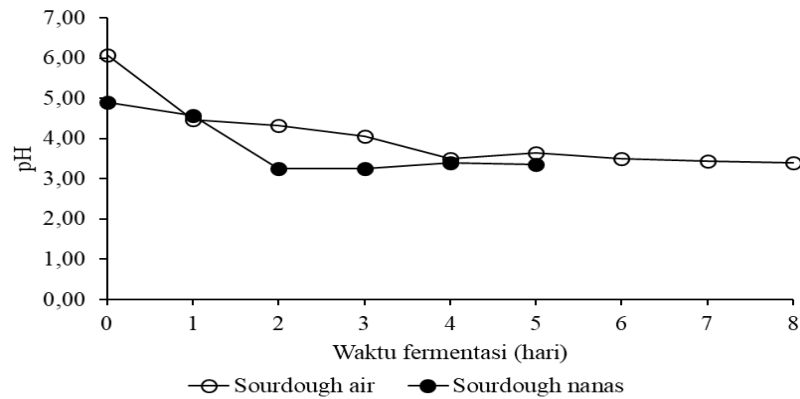
Gambar 3 Perkembangan sourdough air dan sourdough nanas selama fermentasi

Pada hari ke-2 hingga ke-3, sourdough nanas mengalami peningkatan volume hampir dua kali lipat dengan gelembung udara melimpah, sesuai dengan temuan Supasil et.al. (2022) yang menyatakan sourdough matang (mature sourdough) umumnya menunjukkan kenaikan 2–3 kali lipat. Namun, pada hari ke-2, volume sourdough nanas sempat menurun setelah dikeluarkan dari inkubator, menandakan kondisi yang belum stabil. Oleh karena itu, hari ke-3 dipilih sebagai titik puncak fermentasi sourdough nanas, didukung oleh jumlah BAL dan yeast yang tertinggi pada saat itu. Sebaliknya, sourdough air membutuhkan waktu lebih lama, baru mencapai kenaikan volume lebih dari dua kali lipat setelah hari ke-6, yang juga selaras dengan jumlah BAL dan yeast tertinggi. Hasil berbeda dilaporkan pada penelitian Agustina (2023) dan Restuningtyas (2023), di mana sourdough pepaya dan salak mencapai puncak lebih cepat, yakni pada hari ke-2, kemungkinan karena perbedaan kandungan nutrisi dan jenis bakteri dominan pada masing-masing buah.

pH dan asam tertitrasi sourdough air dan sourdough buah nanas

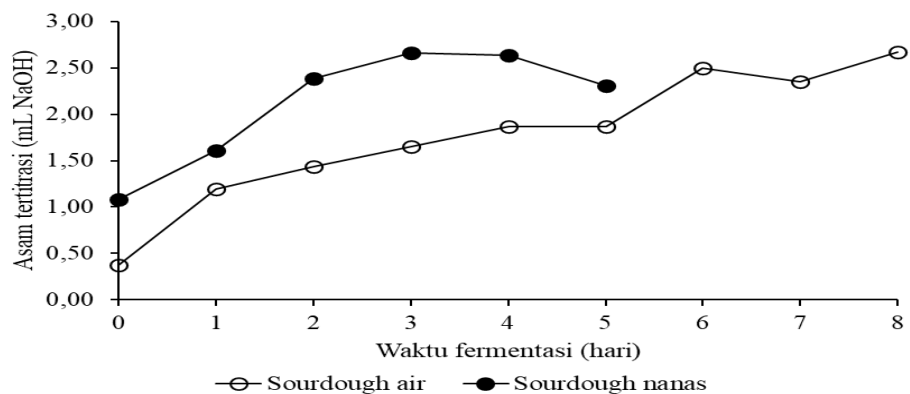
Hasil pengukuran pH dan asam tertitrasi pada sourdough air dan sourdough buah nanas ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Pada awal fermentasi, sourdough air memiliki pH lebih tinggi (6,09) dengan asam tertitrasi lebih rendah (0,38 mL NaOH), sedangkan sourdough nanas menunjukkan pH awal 4,91 dan asam tertitrasi 1,08 mL NaOH. Nilai keasaman awal yang lebih tinggi pada sourdough nanas diduga berasal dari bakteri asam laktat yang terbawa

dari air fermentasi nanas, karena mikroba ini mampu mengubah gula menjadi asam organik (Calvert et al., 2021). Selama fermentasi, sourdough nanas lebih cepat mencapai puncak keasamannya, yakni pada hari ke-3 dengan pH 3,25 dan asam tertitrasi 2,67 mL NaOH, sementara sourdough air baru mencapai puncak pada hari ke-6 dengan pH 3,50 dan asam tertitrasi 2,50 mL NaOH. Kedua jenis sourdough kemudian digunakan dalam pembuatan roti setelah mencapai titik optimum fermentasi.



Gambar 4. Grafik perubahan pH sourdough air dan sourdough buah nanas

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pH puncak sourdough nanas (3,25) lebih rendah dibandingkan standar pH sourdough matang yang dilaporkan oleh Catzeddu (2019) maupun Aplevicz et.al. (2014), yaitu 3,5–4,5. Hal ini diperkirakan karena adanya tambahan nutrisi dari air fermentasi nanas yang meningkatkan aktivitas bakteri asam laktat sehingga menghasilkan lebih banyak asam. Temuan ini sejalan dengan Yu et.al. (2018b) yang melaporkan bahwa penambahan air fermentasi buah pear dan jeruk juga meningkatkan nilai asam tertitrasi sourdough dibandingkan kontrol tanpa fermentasi buah.



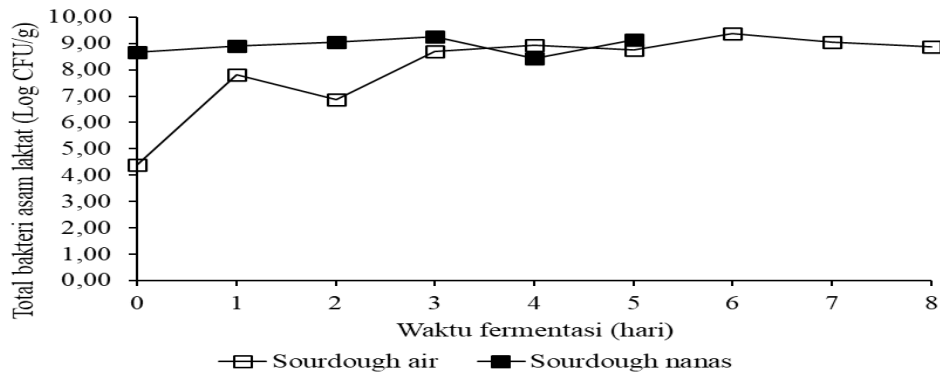
Gambar 5. Grafik perubahan asam tertitrasi sourdough air dan sourdough buah nanas

Hasil serupa juga dilaporkan oleh Gordún et.al. (2015), di mana sourdough dengan tambahan fermentasi apel dan anggur mencapai puncak keasaman pada hari ke-3, peningkatan asam tertitrasi akibat penambahan jus apel dan lemon. Namun, perbedaan terlihat pada penelitian Agustina (2023) dan Restuningtyas (2023), di mana sourdough salak dan pepaya menunjukkan puncak fermentasi lebih cepat pada hari ke-2 dengan nilai pH masing-masing sekitar 4,5 dan 4,03, serta asam tertitrasi lebih tinggi yaitu 6–7 mL NaOH untuk salak dan 7,33 mL NaOH untuk pepaya. Hal ini menunjukkan bahwa jenis buah sangat mempengaruhi laju produksi asam karena perbedaan komposisi nutrisi dan dominasi bakteri spesifik pada masing-masing fermentasi.

Total bakteri asam laktat yang yeast air dan sourdough buah nanas

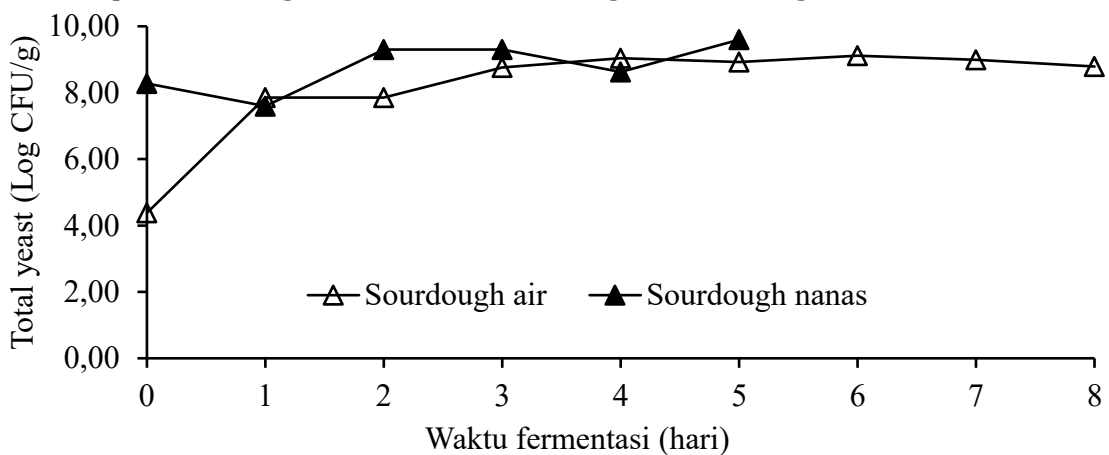
Jumlah bakteri asam laktat (BAL) dan yeast pada sourdough air serta sourdough nanas ditampilkan pada Gambar 6 dan Gambar 7. Pada tahap awal, sourdough air mengandung BAL

dan yeast masing-masing 4,40 Log CFU/g dan 4,38 Log CFU/g, sedangkan sourdough nanas menunjukkan angka lebih tinggi, yaitu 8,89 Log CFU/g untuk BAL dan 7,60 Log CFU/g untuk yeast. Perbedaan ini terjadi karena mikroorganisme dari air fermentasi nanas sudah berkontribusi sejak awal proses. Pertumbuhan pada sourdough nanas berlangsung lebih cepat, dengan puncak tercapai pada hari ke-3 (BAL 9,27 Log CFU/g dan yeast 9,30 Log CFU/g), sementara sourdough air baru mencapai puncak pada hari ke-6 (BAL 9,36 Log CFU/g dan yeast 9,11 Log CFU/g).



Gambar 6. Pertumbuhan bakteri asam laktat pada sourdough air dan sourdough nanas

Nutrisi alami pada buah nanas, seperti disakarida (4,4% b/v), glukosa (2,4% b/v), dan fruktosa (7,4% b/v), menjadi sumber energi penting bagi BAL dan yeast sehingga mempercepat proses fermentasi. Hal ini sejalan dengan Comasio et al., (2021) yang menyatakan bahwa penambahan air fermentasi buah menciptakan lingkungan optimal bagi mikroba sourdough. Hasil serupa juga ditemukan pada penelitian Agustina (2023) dan Restuningtyas (2023), di mana fermentasi sourdough berbasis buah (salak dan pepaya) berlangsung lebih cepat, bahkan hanya dua hari. Menariknya, jumlah BAL dan yeast pada sourdough pepaya lebih tinggi (10,63 Log CFU/g dan 10,36 Log CFU/g), memungkinkan sourdough mencapai kematangan lebih awal dibandingkan sourdough nanas atau salak.



Gambar 7. Pertumbuhan yeast pada sourdough air dan sourdough nanas

Perbedaan pola pertumbuhan ini juga dipengaruhi oleh jenis dan komposisi mikroba yang ada pada masing-masing buah. Penelitian Zaidiyah melaporkan bahwa variasi rasio jus nanas terhadap air dapat memperpanjang masa fermentasi hingga 8 hari, dengan puncak volume tertinggi pada perbandingan 4:1 karena ketersediaan substrat yang lebih banyak. Demikian pula, Yu et.al. (2018a) menemukan bahwa penggunaan air fermentasi pear mampu meningkatkan populasi yeast hingga 8,67 Log CFU/g, lebih tinggi daripada sourdough tanpa penambahan air fermentasi buah. Hal ini karena air fermentasi nanas memiliki nutrisi yang banyak sehingga dapat mempercepat pertumbuhan bakteri dari awal sebelum di aplikasikan

ke pembuatan sourdough. Hal ini didukung penelitian mengenai penambahan air fermentasi buah pada sourdough menggunakan waktu fermentasi yang berbeda. Pada penelitian Yu dkk. (2018), air fermentasi buah pear dan air fermentasi buah nanas difermentasi selama 8 hari. Pada penelitian Gordún et al. (2015), air fermentasi buah apel difermentasi selama 5 hari, dan buah anggur difermentasi selama 2 hari. Hal yang mungkin terjadi adalah jumlah mikroba tertinggi saat fermentasi berbeda untuk setiap buah, tergantung jumlah nutrisi dalam buah yang dapat digunakan oleh bakteri dan yeast untuk tumbuh. Pada penelitian ini total bakteri asam laktat dan yeast dari air fermentasi buah nanas mencapai jumlah tertinggi pada jam ke-48, sehingga air fermentasi pada jam ke-48 digunakan dalam pembuatan sourdough buah nanas.

Volume Spesifik Roti

Hasil pengukuran volume spesifik roti disajikan pada Tabel 2. Roti sourdough nanas menunjukkan volume spesifik terendah dibandingkan dua perlakuan lainnya, yaitu roti kontrol dan roti sourdough air. Meskipun perbedaan antara roti kontrol dan roti sourdough air tidak signifikan, nilai volume spesifik roti sourdough air sedikit lebih tinggi dibanding kontrol. Kondisi ini sejalan dengan penelitian Savkina et.al. (2021) yang melaporkan bahwa penambahan sourdough umumnya mampu meningkatkan volume spesifik roti dibandingkan roti tanpa sourdough.

Tabel 2. Volume spesifik dan mikrostruktur roti

	Sampel		
	Roti kontrol	Roti sourdough air	Roti sourdough buah nanas
Volume spesifik (mL/g)	1,89 ± 0,02 ^b	1,91 ± 0,03 ^b	1,68 ± 0,11 ^a
Densitas sel (u/cm ²)	4,36 ± 0,77 ^b	2,23 ± 0,56 ^a	5,86 ± 0,42 ^c
Luas rata-rata sel (mm ²)	23,58 ± 4,48 ^a	47,22 ± 11,50 ^b	17,14 ± 1,15 ^a




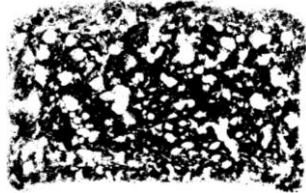

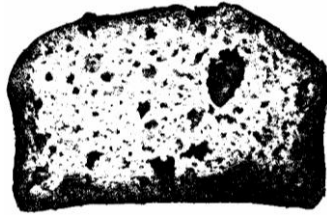
Perbandingan dengan penelitian lain menunjukkan hasil yang bervariasi. Agustina (2023) dan Restuningtyas (2023) menemukan volume spesifik roti sourdough berbahan salak dan pepaya sekitar 1,92 mL/g, lebih tinggi daripada hasil roti sourdough nanas dalam penelitian ini, namun tidak berbeda nyata dibandingkan roti kontrol maupun sourdough air. Penelitian Yu et.al. (2018b) juga mengungkapkan bahwa jenis buah berpengaruh pada volume spesifik, di mana sourdough berbahan buah jeruk menghasilkan volume lebih rendah dibandingkan sourdough buah pear. Faktor yang memengaruhi hal tersebut antara lain aktivitas metabolisme BAL heterofermentatif yang dapat meningkatkan produksi CO₂ oleh yeast serta kondisi asam yang mampu memperbaiki retensi gluten (Yu et al., 2018a). Selain faktor tersebut, sifat kimia dan enzimatis bahan baku juga berperan. Penambahan jus jeruk nipis justru menurunkan volume spesifik roti, Kusuma Wardani (2019) menunjukkan konsentrasi asidulan yang tinggi cenderung mengurangi pengembangan volume. Hal ini sejalan dengan penjelasan Fennema dalam Liviawaty & Afrianto (2014) bahwa keasaman dapat mempercepat depolimerisasi polisakarida, sehingga struktur pati menjadi lebih rapuh. Dalam kasus roti sourdough nanas, keberadaan enzim bromelin yang bersifat proteolitik juga menjadi faktor penting. Enzim ini mampu memutus ikatan gluten, sehingga adonan kehilangan kemampuan optimal dalam menahan gas. Akibatnya, rongga udara yang terbentuk lebih kecil dan padat, yang berimplikasi pada rendahnya volume spesifik roti sourdough nanas (Kemenkes RI, 2018).

Mikrostruktur Roti

Analisis mikrostruktur roti diperoleh melalui aplikasi ImageJ yang hasilnya ditampilkan pada Tabel 3 serta visualisasi crumb pada Gambar 5. Roti sourdough berbahan fermentasi

nanas menunjukkan densitas sel paling tinggi (5,86 u/cm²) dengan ukuran rata-rata sel terkecil dibandingkan roti kontrol (4,36 u/cm²) maupun roti sourdough air (2,23 u/cm²). Densitas sel menggambarkan jumlah rongga udara per luas penampang crumb, di mana semakin tinggi densitas sel berarti rongga udara lebih banyak namun berukuran lebih kecil. Kondisi ini diduga terkait adanya enzim bromelin pada nanas yang melemahkan ikatan gluten, sehingga adonan kurang mampu menahan gas dan menghasilkan rongga lebih rapat (Kemenkes RI, 2018).

Tabel 3. Hasil analisis mikrostruktur roti dengan aplikasi ImageJ

	Penampakan roti sebelum analisis	Penampakan roti setelah analisis
Roti kontrol		
Roti sourdough air		
Roti sourdough buah nanas		

Temuan ini konsisten dengan penelitian Asyikeen et.al. (Saleh et al., 2018) yang melaporkan roti dengan tambahan yeast nanas menghasilkan pori-pori kecil dan seragam. Hal serupa juga diperoleh Agustina (2023) pada sourdough buah salak dengan densitas sel tertinggi (6,31 u/cm²), serta Restuningtyas (2023) pada sourdough pepaya (5,86 u/cm²). Rata-rata luas sel pada sourdough nanas mencapai 17,14 mm², sedikit lebih besar dibandingkan roti sourdough salak (16,29 mm²) namun sebanding dengan roti sourdough pepaya (17,14 mm²). Perbedaan ini menunjukkan bahwa fermentasi nanas menghasilkan struktur roti dengan pori-pori lebih banyak, kecil, dan padat, sehingga teksturnya lebih elastis serta lembut. Selain faktor enzim, penambahan bahan lemak seperti margarin juga dilaporkan dapat memengaruhi densitas sel roti (Scheuer et al., 2015).

Tekstur Roti

Hasil uji tekstur roti ditampilkan pada Tabel 4, meliputi parameter hardness, gumminess, chewiness, springiness, cohesiveness, dan resilience. Roti sourdough buah nanas menunjukkan nilai hardness, gumminess, dan chewiness tertinggi dibandingkan roti kontrol maupun sourdough air. Sementara itu, pada aspek springiness, cohesiveness, dan resilience, roti sourdough buah nanas juga mencatat angka tertinggi, meskipun perbedaan antar sampel tidak signifikan.

Nilai hardness roti sourdough buah nanas adalah 26,04 N, lebih rendah dibandingkan sourdough buah salak (27,52 N) (Agustina, 2023), namun lebih tinggi dari sourdough pepaya (24,99 N; Restuningtyas, 2023). Secara umum, ketiga roti sourdough tersebut memiliki hardness lebih besar dibandingkan roti kontrol (20,07 N) dan sourdough air. Tingginya

springiness pada roti sourdough buah nanas juga berkaitan dengan crumb yang lebih lembut serta tidak mudah rapuh. Hal ini sejalan dengan penelitian Shiau, Wu, dan Liu (2020) yang melaporkan bahwa penambahan tepung inti nanas meningkatkan hardness dan gumminess pada mantou. Perbedaan tekstur ini dipengaruhi oleh bahan baku utama. Walaupun sourdough dibuat dari terigu, roti pada penelitian ini menggunakan tepung beras, tapioka, dan kentang, sehingga kandungan gluten lebih sedikit dibandingkan roti berbahan dasar terigu. Fermentasi sourdough memengaruhi ikatan gluten melalui pemecahan protein, sehingga menghasilkan tekstur roti yang lebih padat namun tetap lembut. Yu et.al. (2018a) menambahkan bahwa volume spesifik yang lebih tinggi biasanya berkorelasi dengan hardness yang lebih rendah. Hasil penelitian ini mendukung temuan tersebut, di mana roti sourdough buah nanas dengan volume spesifik terendah justru memiliki nilai hardness tertinggi.

Tabel 4. Tekstur roti

Parameter tekstur	Sampel		
	Roti Kontrol	Roti Sourdough air	Roti Sourdough Buah nanas
Hardness	20,07 ± 2,00 ^a	21,58 ± 0,67 ^a	26,04 ± 3,04 ^b
Gumminess	12,08 ± 1,42 ^a	12,78 ± 1,07 ^a	16,35 ± 1,88 ^b
Chewiness	10,82 ± 1,43 ^a	11,43 ± 0,90 ^a	14,73 ± 2,19 ^b
Springiness	0,89 ± 0,02 ^a	0,89 ± 0,01 ^a	0,90 ± 0,01 ^a
Cohesiveness	0,60 ± 0,02 ^a	0,59 ± 0,03 ^{ab}	0,63 ± 0,01 ^b
Resilience	0,52 ± 0,02 ^a	0,51 ± 0,03 ^a	0,54 ± 0,01 ^a

KESIMPULAN

Air fermentasi buah nanas mampu mendukung pertumbuhan bakteri asam laktat dan yeast karena buah nanas menyediakan nutrisi yang mencukupi selama proses fermentasi. Penambahan air fermentasi nanas meningkatkan populasi bakteri asam laktat dan yeast pada awal hingga akhir pembentukan sourdough serta mempercepat proses fermentasi yang dipengaruhi oleh keasaman alami buah nanas yang sesuai bagi mikroba. Sourdough nanas menghasilkan roti dengan volume spesifik lebih rendah serta tekstur lebih keras, gummy, dan chewy, namun tetap lebih lembut dan tidak mudah rapuh karena memiliki nilai springiness tertinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, N. (2023). Pengaruh Air Fementasi Salak (*Salacca Zalacca*) Terhadap Bakteri Asam Laktat Dan Yeast Dan Teksture Roti Tawar Tepung Beras. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Ambaye, T. G., Vaccari, M., Prasad, S., van Hullebusch, E. D., & Rtimi, S. (2022). Preparation and applications of chitosan and cellulose composite materials. *Journal of Environmental Management*, 301(January 2021), 113850. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113850>
- Aplevicz, K. S., Mazo, J. Z., Kramer, N., Nalevaiko, S., Sebastião, E., & Anna, S. (2014). *Acta Scientiarum Evaluation of sourdoughs for the production of bread using spontaneous fermentation technique*. 713–719. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v36i4.19703>
- Arora, K., Ameer, H., Polo, A., Di Cagno, R., Rizzello, C. G., & Gobbetti, M. (2021). Thirty years of knowledge on sourdough fermentation: A systematic review. *Trends in Food Science and Technology*, 108(July 2020), 71–83. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.008>
- Calvert, M. D., Madden, A. A., Nichols, L. M., Haddad, N. M., Lahne, J., Dunn, R. R., & McKenney,

- E. A. (2021). A review of sourdough starters: ecology, practices, and sensory quality with applications for baking and recommendations for future research. *PeerJ*, 9, 1–37. <https://doi.org/10.7717/peerj.11389>
- Catzeddu, P. (2019). Sourdough Breads. In *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention* (pp. 177–188). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-380886-8.10004-2>
- Comasio, A., Van Kerrebroeck, S., & De Vuyst, L. (2021). Lemon juice and apple juice used as source of citrate and malate, respectively, enhance the formation of buttery aroma compounds and/or organic acids during Type 2 and Type 3 sourdough productions performed with *Companilactobacillus crustorum* LMG 23699. *International Journal of Food Microbiology*, 339(November 2020), 109020. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.109020>
- Gordún, E., Del Valle, L. J., Ginovart, M., & Carbó, R. (2015). Comparison of the microbial dynamics and biochemistry of laboratory sourdoughs prepared with grape, apple and yogurt. *Food Science and Technology International*, 21(6), 428–439. <https://doi.org/10.1177/1082013214543033>
- Kemenkes RI. (2018). Buletin Stunting. *Kementerian Kesehatan RI*, 301(5), 1163–1178.
- Kusuma Wardani, R., & Handrianto, P. (2019). Analisis kadar kalsium oksalat pada tepung dalam larutan asam. *Journal of Research and Technolgy*, 5(2), 1–10.
- Lan, C. H., Son, C. K., Ha, H. P., Florence, H., Binh, L. T., Mai, L. T., Tram, N. T. H., Khanh, T. T. M., Phu, T. V., Dominique, V., & Yves, W. (2013). Tropical traditional fermented food, a field full of promise. Examples from the Tropical Bioresources and Biotechnology programme and other related French-Vietnamese programmes on fermented food. *International Journal of Food Science and Technology*, 48(6), 1115–1126. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12064>
- Liviawaty, E., & Afrianto, E. (2014). Penentuan Waktu Rigor Mortis Ikan Nila Merah (*Oreochromis Niloticus*) Berdasarkan Pola Perubahan Derajat Keasaman Determination of Time Rigor Mortis Red Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) Laboratorium Teknologi Industri Hasil Perikanan. *Jurnal Akuatika*, 5(1), 40–44.
- Minervini, F., Angelis, M. De, Cagno, R. Di, & Gobbetti, M. (2014). International Journal of Food Microbiology Ecological parameters in fl uencing microbial diversity and stability of traditional sourdough. *International Journal of Food Microbiology*, 171, 136–146. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.11.021>
- Parakhina, O., Lokachuk, M., Kuznetsova, L., Savkina, O., Pavlovskaya, E., & GavriloVA, T. (2021). Evaluation of selected lactic acid bacteria as starter cultures for gluten-free sourdough bread production. *Agronomy Research*, 19(Special Issue 3), 1260–1272. <https://doi.org/10.15159/AR.21.087>
- Restuningtiyas, A. D. (2023). *SOURDOUGH AIR FERMENTASI PAPAYA (Carica Papaya L.) DAN PENGARUHNYA PADA KARAKTERISTIK TEKSTUR ROTI TEPUNG BERAS*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Saleh, M. S. M., Siddiqui, M. J., Mediani, A., Ismail, N. H., Ahmed, Q. U., So'ad, S. Z. M., & Saidi-Besbes, S. (2018). Salacca zalacca: A short review of the palm botany, pharmacological uses and phytochemistry. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 11(12), 645–652. <https://doi.org/10.4103/1995-7645.248321>
- Scheuer, P. M., Augusto, J., Ferreira, S., Mattioni, B., Miranda, M. Z. De, & Francisco, A. De. (2015). *Panes Sin Grasa Analisis De Imagenes*. 35(1), 133–142.

- Sigüenza-Andrés, T., Gallego, C., & Gómez, M. (2021). Can cassava improve the quality of gluten free breads? *Lwt*, 149(March). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111923>
- Statistik, B. P. (2021). *Rata-rata Konsumsi Perkapita Seminggu di Daerah Perkotaan dan Pedesaan Menurut Komoditi Makanan dan Golongan Pengeluaran per Kapita Seminggu (Satuan Komoditas), 2019-2020*. <https://www.bps.go>.
- Supasil, R., Suttisansanee, U., Santivarangkna, C., & Tangsuphoom, N. (2022). *Improvement of Sourdough and Bread Qualities by Fermented Water of Asian Pears and Assam Tea Leaves with Co-Cultures of Lactiplantibacillus plantarum and Saccharomyces cerevisiae*. 1–16.
- Wang, W., Meng, Q., Li, Q., Liu, J., Zhou, M., Jin, Z., & Zhao, K. (2020). Chitosan derivatives and their application in biomedicine. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(2). <https://doi.org/10.3390/ijms21020487>
- Yu, Y., Wang, L., Qian, H., Zhang, H., & Qi, X. (2018a). Contribution of spontaneously-fermented sourdoughs with pear and navel orange for the bread-making. *LWT - Food Science and Technology*, 89(June 2017), 336–343. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.001>
- Yu, Y., Wang, L., Qian, H., Zhang, H., & Qi, X. (2018b). Contribution of spontaneously-fermented sourdoughs with pear and navel orange for the bread-making. *Lwt*, 89, 336–343. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.001>
- Zaidiyah, Lubis, Y. M., Putri, C. A. R. G., & Rohaya, S. (2020). Physicochemical properties of sourdough bread made from local variety sweet potato and pineapple juice. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 425(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/425/1/012079>