

PENGARUH KONSENTRASI ASAM SITRAT DAN LAMA PERENDAMAN TERHADAP DERAJAT PUTIH DAN KUALITAS KIMIA TEPUNG JEWAWUT

(The effect of citric acid concentration and soaking duration on the degree of whiteness and chemical quality of millet flour)

Syahmidarni al islamiyah^{1*}, Sudirman², Ummu Farah Fadillah³, Ramlah⁴

^{1,2,3,4}Universitas Sulawesi Barat, Program Studi Teknologi Hasil Pertanian

Jl. Prof. Baharuddin Lopa, Majene Sulawesi Barat

*Email: syahmidarni.alislamiyah@unsulbar.ac.id

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi pengaruh konsentrasi asam sitrat terhadap perubahan warna pada tepung jewawut, menentukan waktu perendaman optimal untuk penghambatan browning, menganalisis pengaruh perlakuan asam sitrat terhadap sifat kimia tepung jewawut; dan menentukan kondisi perendaman asam sitrat yang optimal untuk menghasilkan tepung jewawut dengan kualitas terbaik. Uji yang dilakukan adalah derajat putih dan warna (L^* , a^* , b^*) menggunakan *colorimetric*, kadar air dan abu dengan menggunakan metode termogravimetri, dan pH dengan pH meter. Penelitian ini menggunakan beberapa perlakuan konsentrasi asam sitrat (0%, 1,5%, 2%, 2,5%) dan lama perendaman (45 menit dan 60 menit). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perendaman asam sitrat efektif menghambat pencoklatan dan meningkatkan kualitas warna tepung jewawut. Peningkatan konsentrasi asam sitrat secara umum meningkatkan tingkat kecerahan (L^*) dan mengurangi intensitas pencoklatan yang tidak diinginkan. Kondisi perendaman asam sitrat yang optimal untuk menghasilkan tepung jewawut dengan kualitas terbaik adalah konsentrasi 1,5%-2% dengan lama perendaman 45 menit. Pada konsentrasi 2% penghambatan pencoklatan mulai efektif dan warna cenderung lebih cerah. Sedangkan pada konsentrasi 2,5% adalah kondisi optimum karena keseimbangan antara penghambatan pencoklatan dan stabilitas struktur. Oleh karena itu, perendaman asam sitrat dapat dianggap sebagai perlakuan awal yang efektif untuk meningkatkan kualitas tepung jewawut.

Kata Kunci: *Anti-browning agent*; asam sitrat; tepung jewawut; perendaman; derajat putih

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effects of citric acid concentration and soaking duration on the physicochemical properties of millet flour, particularly its color characteristics and browning inhibition efficiency, and to determine the optimal soaking conditions for producing high-quality millet flour. The evaluated parameters included whiteness degree, color attributes (L^* , a^* , and b^*), moisture content, ash content, and pH. Whiteness degree and color were measured using colorimetric methods, while moisture and ash contents were determined using thermogravimetric methods, and pH was measured using a digital pH meter. The experiment consisted of four citric acid concentrations (0%, 1.5%, 2.0%, and 2.5%) and two soaking durations (45 and 60 minutes). The results showed that citric acid soaking effectively inhibited browning and improved the color quality of millet flour.

Increasing citric acid concentration generally increased lightness (L^*) while reducing the intensity of undesirable browning. The optimal treatment was achieved at a citric acid concentration of 1.5–2.0% and a soaking duration of 45 minutes, which yielding flour with improved color quality and favorable physicochemical characteristics. At 2% citric acid, browning inhibition was initiated effectively, whereas 2.5% citric acid provided the best balance between color improvement and flour structural stability. Therefore, citric acid soaking can be considered an effective pre-treatment for enhancing the quality of millet flour.

Keywords: Anti-browning agent; citric acid; millet flour; soaking treatment; whiteness degree.

PENDAHULUAN

Jewawut (*Setaria italic*) merupakan salah satu sereal berbiju kecil (*millet*) yang telah lama dikenal sebagai sumber pangan alternatif di berbagai negara berkembang, termasuk Indonesia. Sebagai tanaman yang toleran terhadap kekeringan dan dapat tumbuh pada lahan marjinal, jewawut memiliki peran penting dalam ketahanan pangan lokal. Kandungan nutrisi biji jewawut, meliputi karbohidrat 83,89%, protein 13,72%, lemak 1,11%, abu 1,28%, serat kasar 2,77%, amilosa 28,75%, dan energi sekitar 400 kkal. Sementara itu, juga dilaporkan bahwa terdapat kandungan antioksidan pada bagian kulit luar biji jewawut yaitu senyawa polifenol, senyawa flavonoid seperti tannin, orientin, vitexin (Hilu et al, 1978), luteolin dan tricetin (Watanabe, 1999) serta apigenin (Sartelet et al, 1996). Proteinnya yang tinggi dan seimbang, khususnya asam amino esensial seperti lisin dan isoleusin, disertai serat larut serta mineral penting (kalsium, zat besi, seng), menempatkannya sebagai bahan

pangan fungsional yang potensial bagi peningkatan status gizi masyarakat.

Salah satu cara untuk mengoptimalkan pemanfaatan jewawut melalui proses pengolahan menjadi tepung. Namun, seperti halnya sereal lainnya, proses pengolahan tepung jewawut sering menghadapi masalah perubahan warna yang disebabkan oleh reaksi browning enzimatis dan non-enzimatis. Reaksi browning enzimatis terjadi ketika enzim polifenol oksidase (PPO) mengkatalisis oksidasi senyawa fenolik menjadi senyawa quinon yang selanjutnya berpolimerisasi membentuk pigmen berwarna coklat hingga hitam. Proses ini tidak hanya mengurangi kualitas visual produk tetapi juga dapat menurunkan nilai gizi dan penerimaan konsumen.

Oleh karena itu, mengendalikan efek *browning* menjadi faktor kunci dalam pengolahan tepung jewawut berkelanjutan. Berbagai metode telah dikembangkan untuk menghambat browning enzimatis pada produk pangan, termasuk perlakuan

panas, penggunaan agen kimia sintetis, dan modifikasi pH. Namun, beberapa metode ini memiliki kelemahan seperti penurunan nilai gizi akibat degradasi panas atau masalah keamanan pangan terkait penggunaan bahan kimia sintetis. Sebagai alternative, pemanfaatan agen anti-browning alami yang aman dan ramah lingkungan adalah hal yang menjanjikan.

Asam sitrat merupakan asam organik yang umum ditemukan dalam buah sitrus dan telah mendapat status GRAS (*Generally Recognized As Safe*) dari FDA. Mekanisme kerja asam sitrat sebagai agen anti-browning meliputi: (1) penurunan pH lingkungan yang menghambat aktivitas enzim PPO; (2) pengikatan ion logam (khususnya tembaga) yang diperlukan untuk aktivitas PPO melalui sifat *chelating*-nya; dan (3) reduksi langsung senyawa quinon kembali menjadi senyawa fenolik sebelum terbentuknya pigmen coklat. Selain itu, asam sitrat juga memiliki keunggulan dalam hal ketersediaan, biaya yang terjangkau, dan tidak meninggalkan residu berbahaya pada produk pangan.

Penelitian terdahulu telah menunjukkan efektivitas asam sitrat dalam menghambat browning enzimatis pada berbagai produk pangan seperti apel, kentang, dan beberapa jenis tepung. Penelitian terbaru pada tepung jewawut menunjukkan bahwa penggunaan asam

sitrat selama perendaman dapat menghasilkan warna tepung yang lebih cerah serta memperbaiki karakteristik sensori produk (Al Islamiyah *et al.*, 2024) tanpa melihat lebih jauh pengaruh faktor lama dan konsentrasi asam sitrat.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dirumuskan dengan tujuan mengevaluasi pengaruh konsentrasi asam sitrat terhadap perubahan warna pada tepung jewawut, menentukan waktu perendaman optimal untuk penghambatan browning, dan menganalisis pengaruh perlakuan asam sitrat terhadap sifat kimia tepung jewawut; dan menentukan kondisi perendaman asam sitrat yang optimal untuk menghasilkan tepung jewawut dengan kualitas terbaik.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Ilmu dan Teknologi Pangan Universitas Hasanuddin pada bulan Juni sampai Agustus tahun 2023.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari baskom kecil, gelas baker, batang pengaduk, timbangan analitik, oven pengering type UN30, mesin ayakan 60 *mesh*, blender kering Cosmos CB 171-P, dan loyang.

Bahan yang digunakan terdiri dari biji jewawut, asam sitrat, *aquadest*,

aluminium foil, kertas label, plastik zipper, dan bahan kimia analisis lainnya.

Rancangan Percobaan

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan dua faktor perlakuan yaitu lama perendaman (T) dua taraf yaitu 45 menit, dan 60 menit dan konsentrasi asam sitrat (A) terdiri dari tiga taraf yaitu 0%, 1,5%, 2%, dan 2,5%. Pengumpulan data dilakukan melalui pengamatan dan pengukuran terhadap parameter indeks derajat putih (W), warna (*lightness* (L), *redness* (a*), *yellowness* (b*)), kadar air, dan kadar abu. Data penelitian dianalisis menggunakan ANOVA taraf 5% dan 1% dan Uji lanjut Beda Nyata Terkecil (BNT).

Prosedur Penelitian

Penelitian ini terdiri dari 3 tahapan yaitu perendaman biji jewawut, pengolahan tepung jewawut, dan pengujian tepung jewawut.

1. Perendaman biji jewawut

Biji jewawut ditimbang sebanyak 100 gram. Asam sitrat ditimbang dengan konsentrasi sesuai perlakuan (1,5%, 2%, 2,5%) dan setiap perlakuan dilarutkan ke dalam 500 ml aquadest. Biji jewawut yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam larutan asam sitrat dan direndam sesuai perlakuan perendaman (45 menit dan 60 menit). Biji ditiriskan dan diangin-

anginkan sampai tidak ada lagi air yang menempel pada permukaan biji.

2. Pengolahan tepung jewawut

Proses pengolahan tepung jewawut mengacu pada Ningrum dan Aqil, (2018) yang telah dimodifikasi. Biji jewawut yang telah diangin-anginkan (tahap 1) dikeringkan menggunakan oven dengan suhu oven pada suhu 70°C selama 6 jam. Biji jewawut kering digiling dengan grinder dan diayak menggunakan ayakan 60 mesh untuk mendapatkan ukuran tepung yang seragam.

3. Pengujian

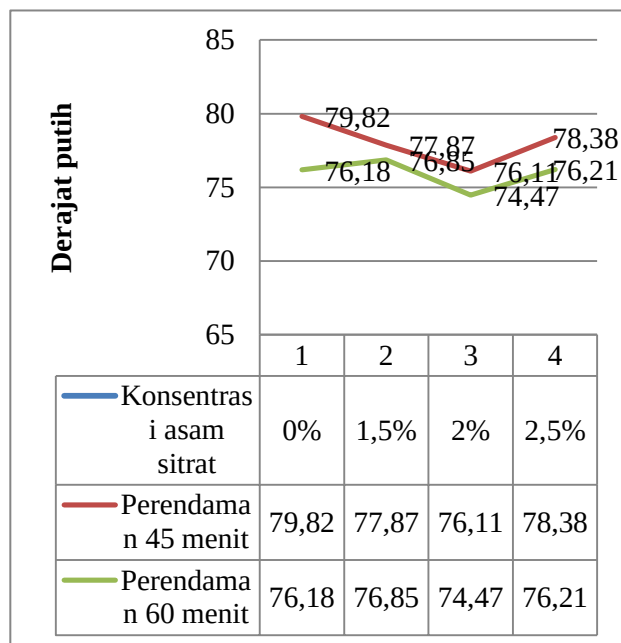
Tepung jewawut setiap perlakuan diuji parameter derajat putih (W) dan warna (L, a*, b*) menggunakan *colorimetri*, kadar air dan kadar abu menggunakan metode *thermogravimetri* (AOAC, 2005), dan pH menggunakan pH meter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Derajat putih (W)

Derajat putih merupakan salah satu parameter penting dalam penilaian kualitas tepung, terutama untuk produk-produk yang memerlukan warna putih sebagai indikator kualitas. Tingginya derajat putih tepung maka warna tepung juga semakin putih (Darmawati *et al.*, 2020). Hasil pengujian derajat putih tepung jewawut

dengan perendaman asam sitrat berdasarkan variasi konsentrasi dan lama perendaman diperoleh data sebagai berikut:



Gambar 1. Hasil uji derajat putih

Hasil uji derajat putih tepung jewawut pada Gambar 1 menunjukkan bahwa pada perendaman asam sitrat selama 45 menit dan 60 menit terjadi penurunan derajat putih seiring peningkatan konsentrasi asam sitrat. Pada kontrol (0% asam sitrat), derajat putih tepung jewawut sebesar 79,82. Setelah perlakuan dengan asam sitrat 1,5% derajat putih menurun menjadi 77,87, atau menunjukkan penurunan sebesar 2,4%. Penurunan lebih signifikan terlihat pada konsentrasi asam sitrat 2%, dimana derajat putih mencapai 76,11 atau menurun sebesar 4,6% dibandingkan dengan kontrol. Penurunan derajat putih pada konsentrasi asam sitrat 2,5% sebesar 78,38

atau penurunan sebesar 1,8% dibandingkan dengan kontrol.

Nilai derajat putih pada perendaman dengan durasi 60 menit terlihat terjadi tren peningkatan derajat seiring besarnya konsentrasi asam sitrat meskipun peningkatannya tidak begitu besar. Perlakuan kontrol (0%) diperoleh derajat putih tepung jewawut sebesar 76,18. Setelah persentase konsentrasi asam sitrat dinaikkan menjadi 1,5%, derajat putih meningkat menjadi 76,85 atau meningkat sebesar 0,9% dari kontrol. Penurunan terjadi pada konsentrasi 2%, dimana derajat putih sebesar 74,47 atau menurun sebesar 2,2% dibandingkan kontrol. Kemudian kembali mengalami peningkatan pada perendaman 2,5%, dimana derajat putih mencapai 76,21 atau meningkat sebesar 0,04% dibandingkan kontrol. Jika dibandingkan dengan perendaman 45 menit, peningkatan nilai derajat putih yang terjadi pada perendaman 60 menit masih lebih rendah dari nilai derajat putih pada perendaman durasi 45 menit. Namun, berdasarkan durasi perendamannya, persentase penurunan lebih kecil terjadi pada perendaman 45 menit pada konsentrasi 2,5% yang mana penurunannya sebesar 1,8% dibandingkan kontrol dan nilai derajat putihnya lebih besar dibandingkan derajat putih semua perlakuan (1,5% dan 2% pada perendaman

45 menit; 1,5%, 2%, dan 2,5% pada perendaman 60 menit).

Hasil uji ANOVA menunjukkan konsentrasi asam sitrat, dan lama perendaman berpengaruh sangat nyata terhadap derajat putih tepung jewawut, sedangkan interaksi antara kedua faktor tidak berpengaruh nyata terhadap derajat putih tepung jewawut. Berdasarkan hasil uji lanjut BNT, perlakuan A1 (0%), A2 (1,5%), dan A4 (2,5%) tidak berbeda atau nilai derajat putih tepung dianggap sama, sedangkan A3 (2%) paling berbeda atau derajat putih paling rendah. Sedangkan hasil uji BNT terhadap lama perendaman diperoleh T1 (45 menit) berbeda dengan T2 (60 menit), dimana perendaman 45 menit menghasilkan derajat putih yang lebih tinggi dibandingkan dengan perendaman 60 menit.

Tren derajat putih yang terlihat pada tepung jewawut mengalami penurunan setelah diberi perlakuan perendaman asam sitrat bukan berarti asam sitrat tidak menghambat pencoklatan. Adgidzi *et al.*, (2018), menyatakan bahwa asam sitrat yang berfungsi sebagai penghambat aktivitas enzim polifenol oksidase (PPO) melalui penurunan pH dan pengkelatan ion Cu^{2+} , ketika konsentrasi meningkat dan waktu perendaman diperpanjang hingga 45–60 menit, terjadi peningkatan difusi air ke jaringan biji yang menyebabkan pelepasan komponen terlarut seperti gula

sederhana, protein larut, dan sebagian senyawa fenolik ke permukaan partikel. Fenomena ini dapat menyebabkan terbentuknya lapisan permukaan yang lebih mudah mengalami perubahan warna selama pengeringan dan penepungan. Selain itu, hidrasi yang berlebihan meningkatkan ketidakhomogenan pantulan cahaya sehingga nilai derajat putih menurun walaupun reaksi *browning* enzimatis telah ditekan. Berdasarkan hal tersebut, penurunan derajat putih pada tepung jewawut bukan berarti asam sitrat tidak menghambat pencoklatan.

Asam sitrat merupakan asam organik lemah, tetapi pada konsentrasi lebih tinggi (2–2,5%) dan waktu kontak lebih lama (60 menit), kondisi asam dapat memicu hidrolisis parsial pati pada permukaan granula. Akibatnya terbentuk lebih banyak fraksi gula pereduksi yang selama proses pengeringan lebih mudah berpartisipasi dalam reaksi pencoklatan non-enzimatis (reaksi Maillard atau karamelisasi ringan). Meskipun suhu pengeringan tidak ekstrem, akumulasi gula terlarut dapat menurunkan tingkat kecerahan tepung. Fenomena serupa dilaporkan oleh Putri *et al.*, (2024) pada pengolahan tepung berbasis pisang kepok bahwa peningkatan konsentrasi asam sitrat dapat memodifikasi *whiteness index* melalui perubahan komponen reduksi dan kondisi reaksi selama pengeringan. Selain

itu, pada konsentrasi asam sitrat tinggi dapat menyebabkan perubahan pH. Akibatnya sebagian pigmen alami jewawut dapat mengalami transformasi sehingga meningkatkan komponen kekuningan (*yellowness*), sehingga derajat putih menurun. Hal ini menunjukkan adanya titik optimum penggunaan asam sitrat sebelum terjadi efek penurunan kualitas visual.

Warna (*lightness, redness, yellowness*)

Warna tepung merupakan salah satu atribut yang berpengaruh terhadap penerimaan konsumen dan kualitas produk olahan. Pada penelitian ini, perendaman asam sitrat pada berbagai konsentrasi serta durasi perendaman menunjukkan perubahan yang berbeda pada setiap parameter warna tepung jewawut (*Lightness, Redness, dan Yellowness*).

Tabel 1. Hasil uji warna tepung jewawut

Faktor	Parameter	0%	1,5%	2%	2,5%
Perendaman 45	L*	76,10	78,93	80,93	81,25
	a*	5,07	5,57	5,59	5,47
	b*	17,93	20,88	22,00	20,99
Perendaman 60	L	76,28	80,64	79,19	80,67
	a*	5,79	5,55	5,60	5,50
	b*	21,78	20,86	22,53	22,53

Lightness (L)*

Nilai L* menunjukkan tingkat kecerahan warna dengan rentang 0 (hitam) hingga 100 (putih). Kecerahan murni mengukur seberapa “gelap” atau seberapa

“terang” suatu bahan, tanpa memedulikan arah komponen warna atau bias pigmen seperti kekuningan (b*) atau kemerahan (a*). Nilai L* yang ditunjukkan pada Tabel 1 terlihat peningkatan konsentrasi asam sitrat secara umum meningkatkan nilai L dibandingkan kontrol.

Pada perendaman selama 45 menit, nilai L meningkat dari 76,10 pada kontrol menjadi 81,25 pada konsentrasi 2,5%. Sementara itu, pada perendaman 60 menit nilai L* meningkat dari 76,28 menjadi 80,67. Hasil uji ANOVA menunjukkan perlakuan perendaman asam sitrat berpengaruh sangat nyata terhadap nilai L*.

Peningkatan kecerahan ini mengindikasikan bahwa asam sitrat mampu menghambat terjadinya pencoklatan selama proses pengolahan tepung jewawut. Peningkatan nilai L disebabkan oleh kemampuan asam sitrat dalam menurunkan pH sistem sehingga aktivitas enzim polifenol oksidase (PPO) menjadi terhambat. Enzim PPO merupakan katalis utama oksidasi senyawa fenolik menjadi kuinon yang selanjutnya berpolimerasi membentuk pigmen melanin berwarna cokelat. Selain itu, asam sitrat juga memiliki kemampuan mengkelat ion logam, terutama Cu^{2+} , yang merupakan kofaktor penting bagi aktivitas PPO (Hamdan *et al.*, 2022).

Uji BNT diperoleh semua perlakuan berbeda, dimana konsentrasi 2,5% dianggap paling berbeda dengan rata-rata nilai L^* tertinggi. Uji BNT terhadap lama perendaman diperoleh bahwa lama perendaman 45 menit berbeda dengan perendaman 60 menit dengan nilai rata-rata tertinggi pada perendaman 45 menit 80,72. Uji BNT interaksi antara konsentrasi dan lama perendaman diperoleh perlakuan yang paling berbeda dengan nilai rata-rata tertinggi adalah A4T1 (0%, 45 menit) dengan nilai L^* tertinggi (81,25).

Nilai L tertinggi pada perendaman 45 menit diperoleh pada konsentrasi 2,5% (81,25), sedangkan pada perendaman 60 menit nilai tertinggi diperoleh pada konsentrasi 1,5% (80,64) dan relative tidak berbeda dengan 2,5% (80,67). Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi asam sitrat tidak selalu menghasilkan peningkatan kecerahan secara linear. Setelah mencapai konsentrasi tertentu, efektifitas penghambatan *browning* cenderung mencapai titik optimum sehingga peningkatan konsentrasi tidak memberikan penambahan efek yang signifikan. Temuan ini sejalan dengan penelitian Al Islamiyah *et al.*, (2024) yang melaporkan bahwa penggunaan asam sitrat sebagai anti-browning agent mampu meningkatkan nilai *lightness* tepung jewawut

dibandingkan kontrol akibat terjadi penghambatan proses pencoklatan oleh oksidasi fenolik. Hal yang sama dilaporkan oleh Lalu *et al.*, (2023), bahwa perendaman asam sitrat berpengaruh terhadap kecerahan tepung pisang kepok.

Data nilai kecerahan (Tabel 1) jika dibandingkan dengan derajat putih (Gambar terlihat tidak searah. Nilai kecerahan menunjukkan terjadi peningkatan seiring peningkatan konsentrasi dan lama perendaman asam sitrat, sedangkan nilai derajat putih sebaliknya terjadi penurunan. Hal ini disebabkan karena derajat putih adalah nilai yang diukur tidak hanya dipengaruhi oleh nilai kecerahan (L^*), melainkan juga dikurangi dengan intensitas kepekatan warna lain, seperti komponen kemerahan (a^*), dan komponen kekuningan (b^*). Nilai derajat putih sensitive terhadap nilai bias warna a^* dan b^* , sehingga sedikit saja nilai bias warna merah atau kuning, akan menurunkan nilai derajat putih, meskipun secara visual partikelnya terlihat lebih cerah (L^* naik). Sedangkan, kecerahan (L^*) adalah murni pengukuran terhadap seberapa “terang” atau “gelap suatu bahan, tanpa memedulikan arah komponen warna atau bias pigmen seperti kekuningan (b^*) atau kemerahan (b^*). Pada penelitian ini, terlihat bahwa adanya pengaruh perlakuan terhadap peningkatan nilai a^* dan b^* (Tabel 1) tepung jewawut, yang kemudian

menyebabkan tren derajat putih tidak searah dengan peningkatan kecerahan.

Redness (a*)

Nilai a* menunjukkan kecenderungan warna merah (+) atau hijau (-). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai a* tepung jewawut berkisar antara 5,07-5,79 menunjukkan bahwa seluruh sampel masih berada pada daerah warna kemerahan. Analisis ANOVA diperoleh perlakuan berpengaruh sangat nyata terhadap nilai a*. Hasil uji BNT menunjukkan nilai a* konsentrasi 0% dan 2,5% berbeda dengan semua perlakuan, sedangkan konsentrasi 1,5% dan 2% tidak berbeda atau dianggap sama nilai a* yang dihasilkan. Sedangkan berdasarkan lama perendaman, hasil uji BNT menunjukkan kedua durasi perendaman berbeda, dimana perendaman 45 menit menghasilkan nilai a* lebih rendah dibandingkan perendaman 60 menit. Berdasarkan interaksi antara kedua faktor, hasil uji BNT diperoleh yang paling berbeda dengan nilai a* terendah adalah A1T1 (0%, 45 menit).

Pada perendaman 45 menit, nilai a* meningkat dari 5,07 pada kontrol menjadi 5,59 pada konsentrasi 2%, kemudian sedikit menurun menjadi 5,47 pada konsentrasi 2,5%. Sebaliknya, pada perendaman 60 menit terjadi penurunan nilai a* seiring peningkatan konsentrasi asam sitrat dari 5,79 pada kontrol menjadi

5,50 pada konsentrasi 2,5%. Penurunan nilai a* tepung jewawut mengindikasikan bahwa terjadi pengurangan pembentukan pigmen coklat kemerahan yang biasanya dihasilkan selama oksidasi senyawa fenolik. Semakin rendah nilai a*, semakin kecil intensitas warna merah yang terbentuk akibat reaksi pencoklatan. Menurut Hamdan *et al.*, (2022), lingkungan asam dapat memperlambat pembentukan kuinon sehingga akumulasi pigmen hasil polimerisasi menjadi lebih rendah.

Penurunan nilai a* pada perendaman 60 menit menunjukkan bahwa waktu kontak yang lebih lama memungkinkan penetrasi asam lebih besar ke dalam jaringan biji sehingga penghambatan reaksi oksidatif berlangsung lebih efektif. Hasil ini sejalan dengan penelitian Al Islamiyah *et al.*, (2024), yang menunjukkan bahwa perlakuan *anti-browning agent* berpengaruh nyata terhadap parameter *redness* tepung jewawut.

Yellowness

Nilai b* menunjukkan tingkat kekuningan warna sampel. Berdasarkan hasil penelitian, seluruh perlakuan menunjukkan nilai b* positif yang relative tinggi, berkisar antara 17,93-22,53. Hal ini menunjukkan bahwa warna dasar tepung jewawut cenderung kuning, yang

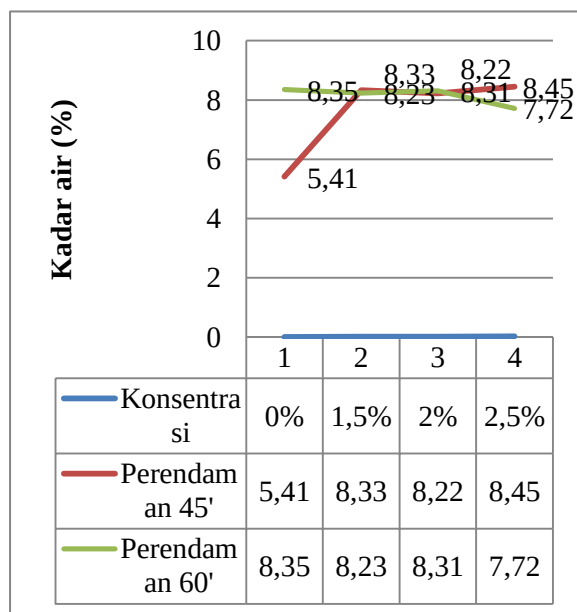
merupakan karakteristik alami biji jewawut.

Pada perendaman 45 menit, nilai b^* meningkat dari 17,93 pada control menjadi 22,00 pada konsentrasi 2%, kemudian sedikit menurun menjadi 20,99 pada konsentrasi 2,5%. Pada perendaman 60 menit, nilai b^* tertinggi terjadi pada konsentrasi 2% dan 2,5% yaitu 22,53. Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh nyata terhadap nilai b^* tepung jewawut yang dihasilkan. Hasil uji BNT terhadap perlakuan konsentrasi menunjukkan semua konsentrasi menghasilkan nilai b^* yang berbeda satu sama lain, dimana nilai b^* terendah pada konsentrasi 0%, tertinggi pada konsentrasi 2%. Sedangkan hasil uji BNT terhadap faktor lama perendaman menghasilkan kedua durasi perendaman berbeda, dimana perendaman 45 menit menghasilkan nilai b^* yang lebih rendah dibandingkan perendaman 60 menit. Hasil uji BNT terhadap interaksi kedua faktor diperoleh A1T1 paling berbeda diantara yang lain dimana nilai b^* paling rendah, A2T2, A2T1, dan A4T1 tidak berbeda atau dianggap memiliki nilai b^* yang sama, A1T2 dan A3T1 tidak berbeda atau dianggap nilai b^* sama, A4T2 dan A3T2 tidak berbeda atau dianggap nilai b^* sama dan merupakan nilai b^* tertinggi.

Peningkatan nilai b^* setelah perendaman asam sitrat diduga berkaitan

dengan semakin jelasnya pigmen karotenoid alami jewawut akibat berkurangnya pigmen coklat hasil oksidasi. Ketika proses pencoklatan terhambat, warna kuning alami menjadi lebih jelas (dominan) dan lebih mudah terdeteksi oleh alat pengukur warna. Menurut Yousaf *et al.*, (2021), millet mengandung pigmen karotenoid dan senyawa fenolik yang berkontribusi terhadap warna kuning khas biji. Pengolahan yang mampu menekan oksidasi fenolik umumnya meningkatkan stabilitas beberapa pigmen karotenoid selama proses pengolahan sehingga nilai b^* menjadi lebih tinggi.

Peningkatan nilai b^* pada konsentrasi 2-2,5% menunjukkan bahwa asam sitrat tidak hanya berperan sebagai *anti-browning agent* tetapi juga mempertahankan karakteristik alami warna jewawut. Hal ini serupa yang dilaporkan oleh Sruthi dan Rao (2021), yang menyatakan bahwa perlakuan pendahuluan pada millet dapat meningkatkan intensitas warna kuning akibat berkurangnya pembentukan pigmen cokelat selama pengolahan.

Kadar air

Gambar 2. Hasil uji kadar air

Kadar air merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan mutu dan stabilitas penyimpanan tepung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air tepung jewawut berbeda di setiap perlakuan. Kadar air tepung jewawut berkisar antara 5,41-8,45%, dimana masih memenuhi persyaratan kadar air tepung sereal yang umumnya berada di bawah 14% sehingga relatif tahan lama selama penyimpanan jangka panjang. Hasil uji ANOVA menunjukkan perendaman asam sitrat berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air. Hasil uji BNT diperoleh konsentrasi 0% dan 2,5% berbeda dengan semua perlakuan, sedangkan konsentrasi 1,5% dan 2% tidak berbeda atau sama. Hasil uji BNT terhadap durasi perendaman diperoleh bahwa kedua durasi berbeda, dimana 45 menit menghasilkan kadar air

yang lebih rendah dibandingkan 60 menit. Sedangkan hasil uji BNT terhadap interaksi kedua faktor diperoleh perlakuan yang paling berbeda dengan kadar air terendah adalah A1T1 (5,41%).

Grafik kadar air pada Gambar 2 terlihat perendaman asam sitrat selama 45 menit menghasilkan kadar air yang lebih tinggi dibandingkan kontrol. Kadar air meningkat dari 5,41% menjadi 8,33%, 8,22%, dan 8,45% masing-masing pada konsentrasi 1,5%, 2%, dan 2,5%. Peningkatan kadar air ini menunjukkan bahwa proses perendaman dalam larutan asam sitrat meningkatkan kemampuan biji jewawut untuk menyerap air. Selama perendaman, molekul air berdifusi ke dalam jaringan biji melalui proses imbibisi dan hidrasi komponen penyusun seperti pati, protein, dan serat pangan. Asam sitrat dapat menyebabkan pelunakan dinding sel dan meningkatkan permeabilitas jaringan sehingga penetrasi air ke dalam biji menjadi lebih besar dibandingkan perendaman dalam air biasa. Menurut Yousaf *et al.*, (2021), proses perendaman pada millet menyebabkan peningkatan hidrasi granula pati dan matriks protein sehingga kapasitas penyerapan air bahan meningkat. Selain itu, kondisi asam dapat memodifikasi struktur makromolekul penyusun biji sehingga lebih mudah berinteraksi dengan molekul air.

Peningkatan kadar air setelah perlakuan perendaman asam sitrat pada berbagai sereal dan pseudosereal juga dilaporkan oleh Balyatanda *et al.*, (2024), bahwa asam sitrat mampu meningkatkan retensi air akibat terjadinya pembengkakan jaringan dan perubahan struktur komponen polisakarida.

Lama perendaman memberikan pengaruh yang berbeda pada setiap konsentrasi asam sitrat. Pada perlakuan kontrol (0%), peningkatan waktu perendaman dari 45 menit menjadi 60 menit menyebabkan kadar air meningkat cukup besar dari 5,41% menjadi 8,35%. Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin lama bahan kontak dengan air, semakin banyak air yang dapat berdifusi ke dalam jaringan biji. Fenomena tersebut sesuai dengan prinsip difusi massa dimana gradien konsentrasi antara air perendaman dan bahan mendorong perpindahan air ke dalam matriks bahan hingga mencapai keseimbangan. Menurut Paliwal *et al.*, (2022), peningkatan waktu perendaman pada millet secara signifikan meningkatkan hidrasi bahan karena semakin banyak ruang antar sel dan granula pati yang terisi air.

Namun, pola berbeda terlihat pada perlakuan asam sitrat 1,5% dan 2,5%, dimana kadar air justru semakin menurun setelah perendaman 60 menit. Pada konsentrasi 1,5%, kadar air turun dari

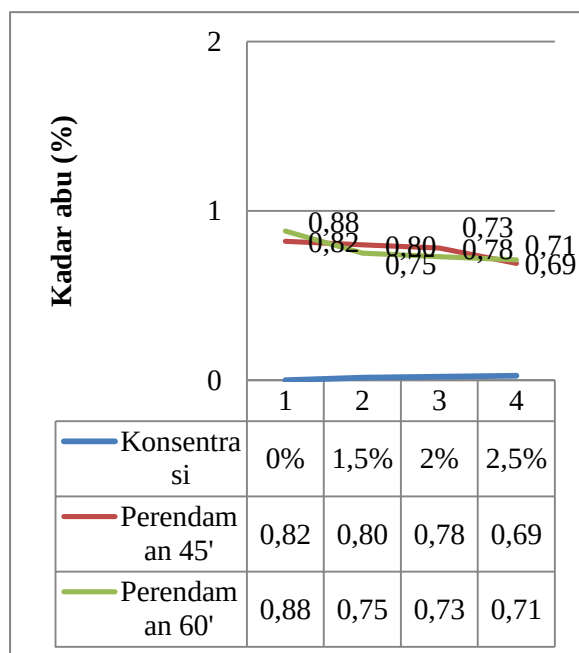
8,33% menjadi 8,23%, sedangkan pada konsentrasi 2,5% terjadi penurunan yang lebih besar dari 8,45% menjadi 7,72%.

Penurunan ini diduga berkaitan dengan perubahan struktur jaringan akibat paparan asam yang lebih lama. Asam sitrat dapat menyebabkan hidrolisis parsial komponen dinding sel dan sebagian pati amorf sehingga selama proses pengeringan air menjadi lebih mudah dilepaskan dari matriks bahan. Akibatnya, kadar air akhir tepung setelah pengeringan menjadi lebih rendah dibandingkan perendaman dengan waktu yang lebih singkat. Menurut Sruthi dan Rao (2021), perlakuan pendahuluan yang melibatkan kondisi asam dapat mempengaruhi kemampuan bahan mempertahankan air selama pengeringan karena adanya perubahan struktur mikro bahan dan modifikasi sifat ikatan air pada komponen pati serta protein.

Data penelitian menunjukkan bahwa interaksi antara konsentrasi asam sitrat dan lama perendaman menghasilkan respon yang tidak sepenuhnya linear. Pada perendaman 45 menit, kadar air tertinggi diperoleh pada konsentrasi 2,5% (8,46%), sedangkan pada perendaman 60 menit kadar air terendah justru diperoleh pada konsentrasi yang sama yaitu 7,72%. Fenomena ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi asam sitrat yang tinggi, efek hidrasi selama perendaman diimbangi oleh meningkatnya pelepasan air selama

pengeringan akibat perubahan struktur bahan. Dengan kata lain, semakin tinggi konsentrasi asam sitrat dan semakin lama waktu kontak, struktur biji jewawut mengalami modifikasi yang menyebabkan air tidak terikat kuat dalam matriks bahan. Selain itu, asam sitrat dapat meningkatkan porositas jaringan setelah pengeringan sehingga difusi uap air keluar dari bahan berlangsung lebih cepat.

Kadar abu



Kadar abu adalah parameter yang menggambarkan jumlah total mineral yang terkandung dalam suatu bahan. Nilai kadar abu sering digunakan sebagai indikator kandungan mineral anorganik seperti kalsium, kalium, fosfor, magnesium, besi, dan seng. Pada penelitian ini, perlakuan perendaman asam sitrat menunjukkan kecenderungan menurunkan kadar abu tepung jewawut seiring meningkatnya

konsentrasi asam sitrat dan lama perendaman.

Berdasarkan data yang terlihat pada Gambar 3 bahwa kadar abu mengalami penurunan dari 0,82%-0,88% pada kontrol menjadi 0,69-0,80% pada perlakuan asam sitrat. Nilai terendah diperoleh pada konsentrasi 2,5% dengan perendaman 45 menit (0,69%), sedangkan nilai tertinggi terdapat pada kontrol 60 menit (0,88%).

Hasil ANOVA menunjukkan perlakuan berpengaruh sangat nyata terhadap kadar abu tepung jewawut. Peningkatan konsentrasi asam sitrat dari 0% menjadi 2,5% menyebabkan penurunan kadar abu secara bertahap. Pada perendaman 45 menit, kadar abu menurun dari 0,82% menjadi 0,69%, sedangkan pada perendaman 60 menit menurun dari 0,88% menjadi 0,71%. Penurunan kadar abu ini menunjukkan bahwa sebagian mineral keluar dari jaringan biji dan larut selama perendaman. Sebagaimana yang dilaporkan pada penelitian Adgidzi *et al.*, (2018), bahwa tepung millet yang direndam dalam larutan asam sitrat 1% selama 12 jam memiliki kadar abu yang lebih rendah dibandingkan kontrol, hal ini disebabkan karena kondisi asam meningkatkan pelepasan mineral biji ke dalam media perendaman. Menurut Arora *et al.*, (2003) menyatakan bahwa perlakuan perendaman asam sitrat menurunkan

kandungan mineral total akibat proses *leaching* seiring meningkatnya kontak dengan media asam karena sebagian mineral berpindah ke larutan perendaman.

Hasil uji lanjut BNT terhadap perlakuan konsentrasi diperoleh bahwa konsentrasi 2,5% berbeda dengan semua perlakuan dan menghasilkan kadar abu terendah, konsentrasi 2% dan 1,5% tidak berbeda atau dianggap kadar abu yang dihasilkan sama, dan konsentrasi 0% juga berbeda dengan semua perlakuan menghasilkan kadar abu tertinggi dibanding semua perlakuan. Hasil uji BNT terhadap lama perendaman diperoleh 45 menit berbeda dengan 60 menit, dimana nilai kadar abu terendah diperoleh pada perendaman 45 menit. Sedangkan hasil uji BNT terhadap interaksi kedua faktor diperoleh perlakuan yang paling berbeda dengan kadar abu terendah adalah A4T1 (0,69%), tertinggi pada A1T2 (0,88).

Asam sitrat adalah asam organik yang memiliki kemampuan mengkelat (*chelating agent*) ion-ion mineral, sehingga ketika konsentrasi asam sitrat meningkat, jumlah ion H^+ dalam larutan juga meningkat sehingga ikatan antara mineral dengan matriks biji menjadi lebih mudah terlepas. Mineral yang terlarut tersebut kemudian larut ke dalam media perendaman dan ikut terbuang saat proses pencucian dan penirisan.

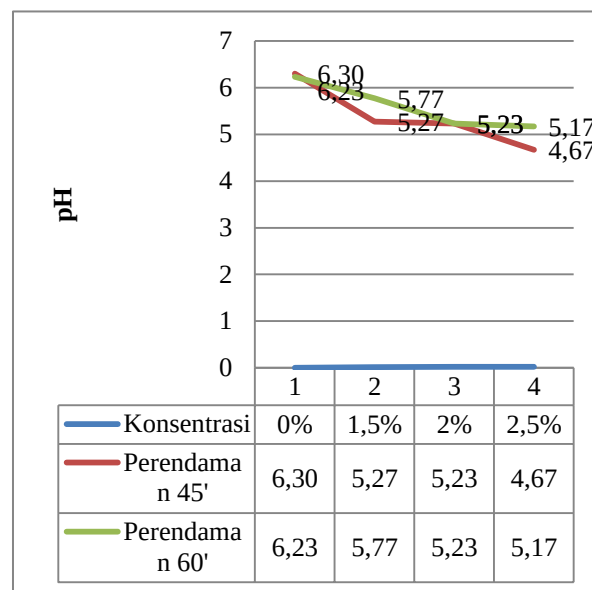
Lama perendaman juga mempengaruhi kadar abu tepung jewawut. Pada perlakuan asam sitrat 1,5% dan 2%, peningkatan waktu perendaman dari 45 menit menjadi 60 menit menyebabkan kadar abu menurun dari 0,80% menjadi 0,75% dan dari 0,78% menjadi 0,73%. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak antara biji dan larutan asam sitrat, semakin besar kesempatan terjadinya difusi mineral ke dalam larutan. Proses ini mengikuti prinsip perpindahan massa, dimana mineral yang berada pada konsentrasi lebih tinggi di dalam jaringan biji akan bergerak menuju larutan perendaman yang memiliki konsentrasi lebih rendah hingga mencapai keseimbangan (Abioye *et al.*, 2022). Walaupun kandungan mineral total menurun, bioavailabilitas mineral seringkali meningkat karena terjadi degradasi fitat dan tannin yang sebelumnya mengikat mineral tersebut. Asam sitrat membantu melepaskan mineral yang semula terikat dalam kompleks fitat-mineral sehingga sebagian mineral menjadi larut dan terbawa keluar selama perendaman.

Interaksi antara konsentrasi asam sitrat dan lama perendaman menunjukkan pada konsentrasi 2,5%, kadar abu meningkat sedikit dari 0,69% menjadi 0,71% ketika perendaman diperpanjang dari 45 menit menjadi 60 menit. Meskipun

demikian, nilainya tetap lebih rendah dibandingkan keseluruhan perlakuan. Kenaikan kecil ini kemungkinan tidak menunjukkan peningkatan kandungan mineral yang sesungguhnya, melainkan dipengaruhi oleh variasi biologis sampel atau perubahan komposisi relative akibat kehilangan komponen organik selama pengolahan. Secara umum, tren yang terlihat tetap menunjukkan bahwa perlakuan asam sitrat menghasilkan kadar abu yang lebih rendah dibandingkan kontrol. Berdasarkan hasil penelitian, perlakuan 2,5% asam sitrat selama 45-60 menit menghasilkan kadar abu terendah, yang menunjukkan bahwa konsentrasi asam merupakan faktor dominan dalam menurunkan kandungan mineral total tepung jewawut melalui mekanisme pelindian mineral selama perendaman.

pH

pH adalah tingkat keasaman suatu bahan pangan dan berpengaruh terhadap stabilitas kimia, aktivitas enzim, umur simpan, serta karakteristik fungsional tepung. Pada penelitian ini, perlakuan perendaman menggunakan asam sitrat memberikan pengaruh sangat nyata terhadap pH tepung jewawut yang dihasilkan.



Gambar 4. Hasil uji pH

Berdasarkan Gambar 4 terlihat bahwa peningkatan konsentrasi asam sitrat menurunkan pH tepung jewawut dibandingkan kontrol. Nilai pH tertinggi diperoleh pada perlakuan tanpa asam sitrat (6,30-6,23), sedangkan nilai pH terendah diperoleh pada konsentrasi asam sitrat 2,5% selama 45 menit (4,67). Hasil ANOVA diperoleh bahwa perlakuan perendaman asam sitrat berpengaruh sangat nyata terhadap nilai pH tepung jewawut. Semakin tinggi konsentrasi asam sitrat, semakin rendah pH tepung jewawut yang dihasilkan. Pada perendaman 45 menit, pH turun dari 6,30 pada kontrol menjadi 5,27, 5,23, dan 4,67 pada konsentrasi 1,5%, 2%, dan 2,5%. Pola serupa terlihat pada perendaman 60 menit, dimana pH menurun dari 6,23 menjadi 5,77, 5,23, dan 5,17.

Penurunan pH ini terjadi karena asam sitrat merupakan asam organik

triprotik yang melepaskan ion H^+ ke dalam sistem. Ion H^+ yang terserap ke dalam jaringan biji selama proses perendaman akan tetap berada dalam matriks bahan setelah pengeringan dan penepungan sehingga meningkatkan keasaman tepung yang dihasilkan. Semakin tinggi konsentrasi asam sitrat, semakin banyak ion H^+ yang teradsorpsi pada permukaan granula pati, protein, dan komponen serat, sehingga pH tepung semakin rendah. Residu asam yang tertinggal dalam bahan setelah proses pengeringan menjadi penyebab utama meningkatnya keasaman tepung (Trithavisup *et al.*, 2016).

Lama perendaman juga memengaruhi nilai pH tepung. Pada perlakuan kontrol, peningkatan waktu perendaman dari 45 menit menjadi 60 menit menyebabkan pH sedikit menurun dari 6,30 menjadi 6,23. Penurunan ini diduga berkaotan dengan hidrasi biji yang intensif sehingga beberapa komponen organik larut air, termasuk senyawa fenolik dan fitat, mengalami perubahan selama perendaman.

Namun, pola yang berbeda terlihat pada perlakuan asama sitrat. Pada konsentrasi 1,5% dan 2,5%, pH justru meningkat ketika waktu perendaman diperpanjang menjadi 60 menit. Pada konsentrasi 2,5%, pH meningkat dari 4,67 menjadi 5,17. Hal ini terjadi karena terjadi ketika waktu perendaman semakin lama,

sebagian asam sitrat yang tidak terikat kuat dapat berdifusi kembali ke media perendaman bersama komponen larut lainnya selama pencucian dan penirisan. Akibatnya, jumlah residu asam yang tertinggal dalam bahan setelah pengeringan menjadi lebih rendah sehingga pH tepung sedikit meningkat (Paliwal *et al.*, 2022).

Hasil uji BNT terhadap perlakuan variasi konsentrasi diperoleh semua perlakuan berbeda satu sama lain, dimana nilai pH terendah pada konsentrasi 2,5% dan tertinggi pada konsentrasi 0%. Hasil uji BNT terhadap lama perendaman diperoleh keduanya berbeda, dimana 45 menit menghasilkan nilai pH yang lebih rendah dibandingkan 60 menit. Sedangkan hasil uji BNT terhadap interaksi kedua faktor diperoleh perlakuan yang paling berbeda dengan nilai pH terendah adalah A4T1 (4,67), dan A1T2 dan A1T1 tidak berbeda (sama) dengan nilai pH tertinggi dibandingkan semua perlakuan (6,23;6,30).

Penurunan pH memiliki implikasi terhadap keberhasilan penghambatan pencoklatan tepung jewawut. Enzim PPO yang berperan dalam pembentukan warna coklat memiliki aktivitas optimum pada kondisi mendekati netral. Ketika pH turun hingga kisaran 4,5-5,5 aktivitas PPO mengalami penurunan sehingga pembentukan pigmen melanin dapat

ditekan. Hasil penelitian ini mendukung data warna yang menunjukkan peningkatan nilai *lightness* pada tepung jewawut yang diberi perlakuan asam sitrat. Semakin rendah pH yang dicapai, semakin kecil kemungkinan terjadinya oksidasi fenolik dan pembentukan warna cokelat selama pengeringan dan penyimpanan (Yousaf *et al.*, 2021). Selain itu, penurunan pH juga berimplikasi pada ketersediaan mineral karena aktivitas fitase meningkat pada kondisi pH yang lebih rendah. Kondisi asam selama perendaman dapat membantu hidrolisis sebagian senyawa antinutrisi. Dengan demikian, penurunan pH pada perlakuan asam sitrat tidak hanya berperan dalam pengendalian pencoklatan, tetapi juga berpotensi meningkatkan kualitas nutrisi tepung jewawut melalui penurunan senyawa antinutrisi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perlakuan perendaman asam sitrat berpengaruh sangat nyata terhadap semua parameter yang diuji pada tepung jewawut yaitu derajat putih, warna (*lightness*, *redness*, *yellowness*), kadar air, kadar abu, dan pH.
2. Perendaman dengan variasi konsentrasi asam sitrat berpengaruh sangat nyata terhadap nilai derajat putih dan nilai warna (*lightness*, *redness*, *yellowness*) tepung jewawut yang dihasilkan. Hasil uji BNT menunjukkan konsentrasi 0%, 1,5%, dan 2,5% dianggap sama dengan nilai derajat putih 78,00; 77,36; dan 77,30. Sedangkan konsentrasi 2% berbeda dari yang lainnya dengan nilai derajat putih terendah 75,29. Lama perendaman yang optimal dengan nilai derajat putih tertinggi adalah 45 menit. Waktu ini cukup untuk penghambatan pencoklatan tanpa kerusakan struktur berlebihan.
3. Perlakuan perendaman asam sitrat memberikan pengaruh sangat terhadap karakteristik warna tepung jewawut. Peningkatan nilai L^* menunjukkan warna tepung yang semakin cerah, sedangkan penurunan atau stabilisasi nilai a^* menunjukkan berkurangnya pembentukan warna kemerahan akibat pencoklatan. Di sisi lain, peningkatan nilai b^* menunjukkan bahwa warna kuning alami jewawut menjadi lebih dominan setelah proses perendaman.

Berdasarkan data yang diperoleh, konsentrasi 2–2,5% merupakan rentang perlakuan yang menghasilkan kualitas warna terbaik karena mampu menghasilkan nilai L^* tertinggi (79,19–81,25) dan nilai b^* tertinggi (22,00–22,53).

4. Perlakuan konsentrasi **2,5% selama 60 menit** berpotensi menghasilkan tepung dengan stabilitas penyimpanan yang lebih baik karena memiliki kadar air paling rendah (7,72%), sementara perlakuan **2,5% selama 45 menit** menghasilkan kadar air tertinggi (8,45%) akibat tingginya penyerapan air selama perendaman.
5. Peningkatan konsentrasi asam sitrat dari 0% menjadi 2,5% menyebabkan penurunan kadar abu secara bertahap. Pada perendaman 45 menit, kadar abu menurun dari **0,82% menjadi 0,69%**, sedangkan pada perendaman 60 menit menurun dari **0,88% menjadi 0,71%**. Peningkatan waktu perendaman dari 45 menit menjadi 60 menit menyebabkan kadar abu menurun dari **0,80% menjadi 0,75%** dan dari **0,78% menjadi 0,73%**. Penurunan kadar abu juga dapat dikaitkan dengan berkurangnya senyawa antinutrisi seperti fitat dan tannin, sehingga bioavailabilitas mineral cenderung meningkat melalui pengurangan antinutrisi.
6. Semakin tinggi konsentrasi asam sitrat, semakin rendah nilai pH yang diperoleh akibat meningkatnya jumlah ion H^+ yang teradsorpsi pada matriks bahan. Nilai pH terendah pada penelitian ini diperoleh pada perlakuan **2,5% selama 45 menit (pH 4,67)**, sedangkan nilai

tertinggi terdapat pada kontrol **45 menit (pH 6,30)**. penggunaan asam sitrat pada kisaran **2–2,5%** mampu menghasilkan kondisi asam yang cukup efektif untuk menghambat browning tanpa menyebabkan penurunan pH yang terlalu ekstrem

7. Kondisi perendaman asam sitrat yang optimal untuk menghasilkan tepung jewawut dengan kualitas terbaik adalah konsentrasi 2%-2,5% dengan lama perendaman 45 menit. Pada konsentrasi 2% penghambatan pencoklatan mulai efektif dan warna cenderung lebih cerah. Sedangkan pada konsentrasi 2,5% adalah kondisi optimum karena keseimbangan antara penghambatan pencoklatan dan stabilitas struktur.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan optimasi proses menggunakan RSM dengan melibatkan lebih banyak taraf konsentrasi dan lama perendaman, dan mengevaluasi kandungan gizi tepung jewawut lebih mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

- Abioye, V. F., Babarinde, G. O., Ogunlakin, G. O., Adejuyitan, J. A., Olatunde, S. J., & Abioye, A. O. 2022. Varietal and processing influence on nutritional and phytochemical properties of finger millet: A review. *Heliyon*, 8(12).
- Adgidzi, E. A., Ani, J. C., Karim, R., & Ghazali, H. M. 2018. Physical and chemical characteristics of depigmented oven dried dehulled

- millet flours. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 6(8), 1022-1029. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v6i8.1022-1029.1924>
- Al Islamiyah, S., Samang, A. M. B., & Nurhafnita, N. 2024. Pengaruh Jenis dan Konsentrasi Anti-Browning Agent Terhadap Mutu Fisik Tepung Jewawut (Foxtail Millet). *Jurnal Teknologi dan Industri Pertanian Indonesia*, 16(2), 137-143.
- Arora, P., Sehgal, S., & Kawatra, A. 2003. Content and HCl-extractability of minerals as affected by acid treatment of pearl millet. *Food chemistry*, 80(1), 141-144.
- Bheemaiah Balyatanda, S., Gowda, N. N., Subbiah, J., Chakraborty, S., Prasad, P. V., & Siliveru, K. 2024. Physicochemical, bio, thermal, and non-thermal processing of major and minor millets: a comprehensive review on antinutritional and antioxidant properties. *Foods*, 13(22), 3684.
- Hamdan, N., Lee, C. H., Wong, S. L., Fauzi, C. E. N. C. A., Zamri, N. M. A., & Lee, T. H. 2022. Prevention of enzymatic browning by natural extracts and genome-editing: A review on recent progress. *Molecules*, 27(3), 1101.
- Lalu, N., Une, S., & Bait, Y. (2023). Pengaruh waktu perendaman asam sitrat terhadap peningkatan kualitas fisik tepung pisang kepok (musa paradisaca) di UMKM miss putungo. *Jambura Journal of Food Technology*, 5(2), 195-205.
- Legowo, A., Pramono, Y., Hintono, A., Setiani, B. E., Nabila, A., & Handoko, N. 2024. Inhibition of maillard reaction of kepok banana flour with citric acid. *Indonesian Journal of Agricultural Research*, 7(1), 29-37. <https://doi.org/10.32734/injar.v7i1.15207>
- Paliwal, A., Sharma, N., & Singh, R. 2022. Effects of wet processing on physicochemical and functional characteristics of millet flour. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 10(3), 980.
- Sruthi, N. U., & Rao, P. S. 2021. Effect of processing on storage stability of millet flour: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 58-74.
- Trithavisup, K., & Charoenrein, S. 2016. Influence of acid treatment on physicochemical properties of aged rice flour. *International Journal of Food Properties*, 19(9), 2074-2086.
- Yousaf, L., Hou, D., Liaqat, H., & Shen, Q. 2021. Millet: A review of its nutritional and functional changes during processing. *Food Research International*, 142, 110197.