

Hubungan antara atribut sensori dan kualitas gula merah tebu: pengaruh pH dan kondisi karamelisasi

The relationship between sensory and quality attributes in brown cane sugar: effect of pH and caramelization conditions

Athaya Milda Putri Yuwana¹⁾, Desiana Nuriza Putri^{1)*}, Noor Harini¹⁾

¹⁾Program Studi Teknologi Pangan, Universitas Muhammadiyah Malang, Malang, Jawa Timur

*Email korespondensi: desiana@umm.ac.id

Informasi Artikel:

Dikirim: 03/12/2021; disetujui: 23/02/2022; diterbitkan: 19/03/2022

ABSTRACT

Brown cane sugar is a traditional sugar product manufactured without removing the molasses component. Non-enzymatic browning occurred through Maillard reaction when heated in the caramelization process involving complexes between amino acids and sugar reducer possessing important effects on food properties, such as: nutritional value, color, texture, and taste. This study was conducted to analyze the pH effect and caramelization conditions towards the quality of brown cane sugar and the correlation to sensory properties by Partial Least Squares (PLS) Regression by using four treatments: 440 (40-minute caramelization : 0.3% NaHCO₃), 710 (40-minute caramelization : 0.7% NaHCO₃), 240 (40-minute caramelization : 0% NaHCO₃), and 460 (60-minute caramelization : 0.3% NaHCO₃). Water content, ash content, color (L, a, b*), sensory attributes (color, taste, texture) as well as the level of consumer acceptance were investigated. The results showed that texture was positively correlated with moisture, ash, and b* values. The color intensity and taste were negatively correlated with these parameters but positively correlated with pH. Color intensity was also positively correlated with (L*). A caramelization duration and concentration of NaHCO₃ given effected the quality of brown cane sugar. In other words, the longer of caramelization duration, the darker of color (blackish brown), with a slightly soft texture, high water content, and strong caramel flavor. Besides, the higher of the concentration of NaHCO₃ given, the brighter of the product with hard and sandy textures, which many consumers preferred.*

Keywords: *Brown cane sugar characteristic, maillard reaction, sensory analysis, correlation*

ABSTRAK

Gula merah tebu merupakan produk gula tradisional yang diproduksi tanpa menghilangkan komponen molase. Pencokelatan non enzimatik terjadi melalui reaksi *maillard* saat pemanasan nira pada proses karamelisasi, melibatkan kompleks antara asam amino dan gula pereduksi yang memiliki efek penting pada sifat makanan seperti nilai gizi, warna, tekstur, dan rasa. Studi ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pH dan kondisi karamelisasi terhadap kualitas gula merah serta korelasinya dengan sifat sensoris menggunakan regresi *partial least squares* (PLS). Menggunakan sampel gula merah dengan empat perlakuan yaitu 440 (karamelisasi 40 menit : 0,3% NaHCO₃), 710 (karamelisasi 40 menit : 0,7% NaHCO₃), 240 (karamelisasi 40 menit : 0% NaHCO₃), dan 460 (karamelisasi 60 menit : 0,3% NaHCO₃). Parameter yang diuji meliputi kadar

air, kadar abu, warna (L , a^* , b^*), atribut sensori (warna, cita rasa, tekstur), hingga tingkat penerimaan konsumen. Hasil menunjukkan tekstur berkorelasi positif dengan kadar air, kadar abu, dan nilai b^* . Intensitas warna dan cita rasa berkorelasi negatif dengan parameter tersebut, tetapi berkorelasi positif dengan pH. Intensitas warna juga berkorelasi positif dengan (L^*). Lama waktu karamelisasi dan konsentrasi pemberian NaHCO_3 berpengaruh nyata terhadap kualitas gula merah tebu. Semakin lama waktu karamelisasi kualitas warnanya akan semakin gelap-cokelat kehitaman, memiliki tekstur agak lunak, kadar air tinggi, serta rasa karamelnya kuat. Semakin banyak konsentrasi NaHCO_3 yang diberikan, tingkat kecerahan produk akan semakin tinggi dan bertekstur keras berpasir yang disukai oleh konsumen.

Kata kunci: Karakteristik gula merah tebu, reaksi *maillard*, analisis sensori, korelasi

PENDAHULUAN

Tebu merupakan suatu komoditas perkebunan yang berperan strategis dalam perekonomian Indonesia dengan luas sekitar 415,66 ribu hektar pada tahun 2018 (BPS, 2018). Gula merah dikenal sebagai "gula non-sentrifugal (NCS)", adalah produk gula tradisional yang diproduksi tanpa menghilangkan komponen molase (Asikin *et al.*, 2016). Gula merah populer karena rasa manisnya yang kuat, aroma yang menarik dan nutrisi yang kaya. Selain sukrosa, sari tebu juga kaya akan gula pereduksi, protein, asam amino, mineral, alkohol lemak rantai panjang, aldehida lemak rantai panjang, flavonoid dan zat bermanfaat lainnya (Weerawatanakorn *et al.*, 2016).

Pencokelatan non enzimatik terjadi saat pemanasan nira melalui reaksi *maillard* pada proses karamelisasi. Selama pemrosesan termal seperti penguapan dan karamelisasi, reaksi *maillard* tidak dapat dihindari. Pencokelatan non-enzimatik melalui reaksi *Maillard* melibatkan kompleks antara asam amino dan gula pereduksi memiliki dampak pada sifat makanan, seperti nilai gizi, warna, tekstur, dan rasa produk manis (Martins, Jongen, & van Boekel, 2001) dalam (Asikin *et al.*, 2014). Karakteristik rasa dari produk reaksi *maillard* dapat bervariasi dari aroma yang menyenangkan, harum hingga bau terbakar, tajam, dan seperti karamel (Van Boekel, 2006).

Beberapa penelitian telah membahas mengenai kualitas gula merah tebu termasuk perubahan pH, mutu kimia, dan mutu organoleptiknya selama proses produksi gula

merah tebu. Nilai pH nira berubah dari 8,0 turun sedikit menjadi 7,8 pada waktu satu jam pertama reaksi *maillard*. Selama periode waktu ini, tidak ada perbedaan signifikan pada perubahan pH (Chen *et al.*, 2005). Kemudian pada hasil penelitian Erwinda & Susanto (2014) menerangkan bahwa perlakuan pH produk berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air, nilai kecerahan (L), nilai kemerahan (a^*), dan nilai kekuningan (b^*).

Hasil *Partial Least Squares* (PLS) dapat menunjukkan hubungan yang jelas antara atribut sensori dan parameter yang diidentifikasi terkait erat dengan analisis kualitas suatu produk (Moghaddam *et al.*, 2016). Sehingga korelasi antara atribut sensori dan kualitas penting bagi peneliti dan manufaktur makanan. Hasil ini memiliki kepentingan praktis dalam upaya untuk memprediksi kualitas makanan (akseptibilitas) dari pe-ngukuran sampel, sejalan dengan yang dilaporkan oleh Moghaddam *et al.*, (2016). Agar produk gula merah tebu menghasilkan produk yang memiliki mutu sesuai dengan standarnya dan dapat diterima oleh konsumen, maka dilakukan penelitian ini yang bertujuan untuk melihat korelasi antara hasil lab dengan uji produk secara sensori.

METODE

Bahan

Bahan baku yang digunakan adalah gula merah tebu hasil produksi dari Koperasi Agro Niaga (KAN) Jabung Malang, kapur (Ca(OH)_2), flokulan kation, dan NaHCO_3 .

Bahan yang digunakan untuk analisa adalah aquades dan buffer pH 6,86 - 25°C.

Alat

Alat yang digunakan untuk analisa adalah oven (*Romand*), tanur (*Barnstead Thermolyne 48000*), pH meter digital (*ATC*), *colour reader* (*Konica Minolta*), neraca analitik (*Ohaus*), spatula, kurs porselen, desikator, penjepit besi, gelas kaca, dan batang pengaduk. Alat yang digunakan untuk uji organoleptik adalah neraca digital (*Oxone*), plastik klip, kertas label, tisu, lembar uji organoleptik, dan alat tulis.

Metode pelaksanaan

Proses pengambilan tiap sampel dilakukan dengan mengambil gula merah tebu pada tiap *batch* proses produksi yang telah diatur lama waktu karamelisasi, konsentrasi penggunaan Ca(OH)_2 , flokulan, dan NaHCO_3 . Sehingga didapatkan 4 sampel perlakuan yaitu 440 (karamelisasi 40 menit : 0,3% NaHCO_3), 710 (karamelisasi 40 menit : 0,7% NaHCO_3), 240 (karamelisasi 40 menit : 0% NaHCO_3), dan 460 (karamelisasi 60 menit : 0,3% NaHCO_3). Kemudian dilakukan pengamatan pada parameter nilai pH, kadar air, kadar abu, intensitas warna, uji mutu sensori, dan uji mutu hedonik. Penelitian dilakukan di laboratorium Teknologi Pangan Universitas Muhammadiyah Malang.

Nilai pH diukur menggunakan pH meter digital (*ATC*). Metode gravimetri (SNI 2891-1992) mengenai uji makanan dan minuman digunakan untuk analisa kadar air, yaitu

timbang berat awal sampel dan setelah dioven menggunakan suhu 100°C dengan waktu 4 jam kemudian nilai kadar air diukur dari selisih berat. Metode tanur (SNI 2891-1992) digunakan untuk analisa kadar abu, yaitu timbang sampel gula merah tebu lalu diabukan menggunakan suhu 600°C dengan waktu 6 jam, dan hitung nilai kadar abu dari selisih beratnya. Intensitas warna diukur menggunakan alat *colour reader* (*Konica Minolta*) dan hasil analisis yang dihasilkan berupa nilai L (*lightness and darkness*), a^* (*red and green*), dan b (*yellow and blue*). Pengukuran nilai L dilakukan untuk mengetahui kecerahan sampel. Nilai a^* negatif (-) menunjukkan warna produk cenderung ke arah warna kehijauan, dan nilai a^* positif (+) menunjukkan warna produk cenderung ke arah kemerahan. Nilai b^* negatif (-) menunjukkan warna produk cenderung ke arah warna kuning, dan nilai b^* positif (+) menunjukkan warna produk cenderung ke arah kebiruan (Ali *et al.*, 2018).

Evaluasi organoleptik

Keempat sampel gula merah tebu dilakukan uji organoleptik oleh 50 panelis *untrained* yang berada pada lokasi pengambilan sampel dan lingkungan penulis. Uji sensori digunakan untuk mendeskripsikan perbedaan antar sampel dilakukan dengan metode ranking. Lima deskriptor dipilih untuk menggambarkan sampel terkait atribut intensitas warna, intensitas cita rasa, dan tekstur (Tabel 1).

Tabel 1. Skala penilaian sensori

Skor	Warna	Cita rasa	Tekstur
1	Hitam	Rasa karamel sangat kuat	Sangat keras
2	Agak Hitam	Rasa karamel agak kuat	Keras berpasir
3	Cokelat Pekat	Rasa karamel lemah	Agak keras
4	Cokelat	Rasa karamel semi terasa	Agak lunak
5	Cokelat Muda	Rasa karamel tidak terasa	Lunak

Terdapat uji mutu hedonik untuk mengetahui tingkat penerimaan konsumen yang juga dilakukan oleh 50 panelis *untrained*. Skala hedonik menggunakan 5 poin skala deskriptif, di mana 5 = sangat

tidak suka, 1 = sangat suka (sangat suka, suka, agak suka, tidak suka, dan sangat tidak suka) dan skor 3 adalah diambil sebagai batas bawah akseptabilitas (Pakpahan *et al.*, 2019).

Analisis statistik

Seluruh analisis statistik dilakukan uji menggunakan *software IBM SPSS Statistics 20*. Analisa kadar air, kadar abu, dan warna (L^* , a^* , b^*) menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) Sederhana yaitu gula merah dengan perbedaan lama waktu karamelisasi dan konsentrasi NaHCO_3 sebanyak 4 level dengan sampel 440 (40 menit : 0,3%); 710 (40 menit : 0,7%); 240 (40 : 0%); 460 (60 menit : 0,3%) dengan dua ulangan. Kemudian data dianalisis statistik menggunakan ANOVA (*Analysis of Variance*) pada $\alpha=5\%$. Apabila hasil analisa menunjukkan perlakuan berpengaruh nyata terhadap parameter penelitian, dilakukan uji lanjut DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) pada $\alpha = 5\%$ untuk menentukan perlakuan mana yang berbeda nyata.

Data hasil uji sensoris dianalisis statistik menggunakan ANOVA (*Analysis of Variance*) dengan Rancangan Acak Kelompok (RAK) Sederhana pada $\alpha = 5\%$. Apabila hasil analisa menunjukkan perlakuan berpengaruh nyata terhadap parameter penelitian, dilakukan uji lanjut LSD (*Least Significant Differences*) untuk mengetahui adanya perbedaan yang nyata antar perlakuan. Sedangkan untuk pengujian hedonik dianalisis statistik menggunakan ANOVA (*Analysis of Variance*) pada $\alpha = 5\%$, kemudian dilanjutkan Uji Dunnett untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap variabel dan dibandingkan dengan variabel kontrol.

Melihat korelasi antara hasil lab dengan uji produk secara sensori menggunakan *software XLSTAT 2019*. *Partial*

Least Square (PLS) diterapkan untuk mengeksplorasi hubungan antara data instrumental dan sensorik. Analisis PLS dilakukan untuk setiap variabel sensorik secara terpisah dan untuk semua variabel sensorik bersamaan dan untuk variabel sensorik dan instrumental satu sama lain. Karena PLS merupakan teknik multivariat yang dapat menganalisa beragam hal, se-perti variabel respon hingga variabel eksplanatori secara bersamaan. Model PLS dikembangkan untuk mengkorelasikan data kimia dengan data sensorik, serta untuk mengaitkan atribut sensorik dan kesukaan konsumen dengan demografi konsumen. Jumlah komponen utama yang dipilih untuk pengembangan model didasarkan pada varians residual yang dijelaskan oleh masing-masing komponen (Yu *et al.*, 2018).

HASIL DAN PEMBAHASAN

pH

Hasil uji pH gula merah tebu bernilai antara 6,1-6,5 (Tabel 2). Data yang didapatkan menunjukkan keempat perlakuan memiliki nilai pH yang tidak berbeda signifikan. Nilai pH yang didapatkan termasuk gula merah tebu berkualitas baik karena cenderung tidak berbeda jauh dengan nira tebu segar pada kisaran pH 5,5-6,0 (Ambarsari *et al.*, 2018). Pada proses pemurnian nira terdapat pemberian bahan tambahan pangan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Bahan ini efektif dalam meningkatkan nilai pH nira murni yang memiliki sifat asam dengan pH 4,9-5,5 (Erwinda & Susanto, 2014).

Tabel 2. Rata-rata hasil pengujian tiap parameter

Parameter	440	710	240	460
pH	6.3 ^a	6.5 ^a	6.4 ^a	6.1 ^a
Kadar Air (%)	40,30 ± 2,19 ^b	30,79 ± 1,19 ^a	39,31 ± 0,41 ^b	40,10 ± 0,89 ^b
Kadar Abu (%)	3,69 ± 0,02 ^b	2,85 ± 0,07 ^a	4,05 ± 0,07 ^c	3,71 ± 0,13 ^b
L^*	26,55 ± 1,95 ^a	35,15 ± 2,05 ^b	24,35 ± 0,05 ^a	24,75 ± 0,75 ^a
a^*	2,8 ± 0,8 ^a	3,45 ± 0,15 ^a	2,9 ± 0,7 ^a	3,8 ± 0,2 ^a
b^*	3,15 ± 0,95 ^a	2 ± 0,1 ^a	2,65 ± 0,75 ^a	3,85 ± 0,05 ^a

Keterangan: *) Angka yang diikuti dengan notasi huruf yang berbeda menunjukkan bahwa adanya beda nyata nilai sampel berdasarkan uji duncan pada taraf 5%

Penambahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ akan mempertahankan pH nira tetap tinggi, sehingga dapat menghambat terjadinya hidrolisa baik oleh jasad renik maupun pengaruh asam. CaO atau $\text{Ca}(\text{OH})_2$ di dalam air membentuk $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kemudian menghasilkan ion OH^- bebas yang membuat larutan alkalis (Zhang *et al.*, 2009). Pemberian BTP ini digunakan karena jika pH nira tetap rendah maka gula akan mudah mengalami kerusakan dan sukar untuk mengkristal. Serta digunakan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sebagai bahan pengawet karena dapat membentuk kalsium hidroksida yang bersifat desinfektan, menggumpalkan protein, dan asam nukleat, serta merusak dinding sel mikroba sehingga pH nira yang dihasilkan menjadi tinggi. Sehingga konsentrasi NaHCO_3 dan lama waktu karamelisasi tidak mempengaruhi kenaikan nilai pH gula merah tebu. Sesuai dengan penelitian Ambarsari *et al.*, (2018) yang menggunakan NaHCO_3 dengan konsentrasi 0,01% mendapatkan nilai pH sebesar 4,39 - 4,56 maka NaHCO_3 tidak efektif dalam meningkatkan nilai pH karena telah ditunjukkan bahwa berapapun konsentrasi NaHCO_3 tidak dapat meningkatkan nilai pH.

Kadar air

Parameter utama dalam penentuan kualitas suatu produk pangan adalah kadar air. Karena akan mempengaruhi tekstur, umur simpan, penerimaan konsumen, dan sebagainya. Risiko kerusakan suatu bahan semakin tinggi jika kadar airnya tinggi, karena dapat mengakibatkan tumbuhnya bakteri, mikroba, jamur, serta oksidasi. Kadar air gula merah tebu yang didapatkan dari hasil uji sangat tinggi yaitu berkisar antara 30,79 – 40,30%. Kadar air terendah diperoleh pada sampel dengan lama waktu karamelisasi 40 menit, pemberian NaHCO_3 tertinggi sebanyak 0,7%, dan pada pH 6,5. Kadar air tertinggi diperoleh pada sampel dengan lama waktu karamelisasi 40 menit, pemberian NaHCO_3 0,3%, dan nilai pH 6,3 (Tabel 2). Seperti pada hasil penelitian Erwinda & Susanto, (2014) bahwa pada pH 4,5 menghasilkan kadar air sebesar 8,05%. Sedangkan pada pH 5,5 menghasilkan nilai rerata kadar air sebesar 5,46%.

Kadar air pada gula merah mempengaruhi kekerasan tekstur yang dihasilkan. Kadar air gula merah yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan produk menjadi lunak serta cepat mengalami kerusakan selama penyimpanan (Erwinda & Susanto, 2014). Hal lain yang mempengaruhi nilai kadar air adalah kadar gula pereduksi. Semakin tinggi kandungan gula pereduksi khususnya fruktosa, menunjukkan kadar air yang didapatkan nilainya tinggi. Fruktosa memiliki sifat higroskopis (mudah menyerap air atau uap air di lingkungan). Sehingga jika kelembaban udara cukup tinggi, gula merah menyerap uap air dengan mudah dan terdapat peningkatan kadar air serta penurunan tekstur gula merah (Dewi, 2014).

Kadar abu

Parameter utama untuk menentukan kualitas gula merah selain kadar air adalah kadar abu. Karena mekanisme pemurnian nira terdapat penambahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang dapat memberikan kandungan Ca, sehingga parameter ini menunjukkan kandungan Ca gula merah tebu. Konsentrasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang diberikan pada penelitian ini seragam untuk seluruh sampel, yaitu 0,03%. Perbedaan konsentrasi bahan tambahan pangan berupa NaHCO_3 berpengaruh sangat nyata terhadap kadar abu gula merah tebu yang dihasilkan. Kadar abu gula merah tebu yang didapatkan dari lokasi uji bernilai antara 2,85 – 4,05% (Tabel 2). Nilai kadar abu ini tergolong tinggi, karena menurut persyaratan SNI 01-3743-1995 kadar abu maksimal yang terkandung pada gula merah adalah 2% (Maharani *et al.*, 2014). Kemudian pada penelitian Erwinda & Susanto, (2014) kadar abu didapatkan pada pH 4,5 memiliki nilai 1,58%, sedangkan pada pH 5,5 memiliki nilai kadar abu sebesar 2,54%. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Ambarsari *et al.*, (2018) bahwa kondisi ini diduga berkaitan dengan adanya penambahan kapur ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dan NaHCO_3 serta kadar abu tidak dipengaruhi oleh lama karamelisasi maupun pH produk. Selain itu yang dapat mempengaruhi kadar abu gula merah tebu karena banyaknya pengotor yang terdapat pada nira yaitu semakin banyak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang terikat, akan me-

nyebabkan sulitnya proses pemurnian nira. Akibatnya masih banyak $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang tercampur di dalam nira setelah proses pemurnian dan mengakibatkan kandungan Ca di dalam gula merah, sehingga kadar abu gula merahnya pun tinggi (Dewi, 2014).

Kecerahan (L^*)

Tingkat kecerahan (L^*) gula merah tertinggi yaitu 35,15 oleh sampel 710 dengan perlakuan lama karamelisasi 40 menit: NaHCO_3 0,7%. Kecerahan terendah yaitu 24,35 oleh gula merah sampel 240 dengan perlakuan lama karamelisasi 40 menit: NaHCO_3 0% (Tabel 2). Gugus aldosa atau ketosa apabila terjadi pemanasan dengan gugus-gugus amin, akan menyebabkan beberapa reaksi dan menghasilkan berbagai macam senyawa, seperti rasa, aroma, dan bahan-bahan polimer berwarna gelap yang mempengaruhi warna pada gula merah yang dihasilkan. Sehingga sampel gula merah tanpa penambahan NaHCO_3 memiliki kecerahan yang rendah karena tidak adanya gugus aldosa dan ketosa yang bereaksi (Erwinda & Susanto, 2014).

Kemerahan (a^*)

Nilai kemerahan (a^*) gula merah tertinggi yaitu 3,8 pada sampel 460 dengan perlakuan lama karamelisasi 60 menit : NaHCO_3 0,3% menunjukkan warna mengarah ke arah positif (merah). Sedangkan nilai kemerahan (a^*) terendah yaitu 2,8 pada sampel 440 dengan perlakuan lama karamelisasi 40 menit : 0,3% NaHCO_3 menunjukkan warna mengarah ke arah negatif (hijau) (Tabel 2). Semakin lama waktu karamelisasi gula merah tebu, semakin banyak mengalami reaksi *maillard* sehingga menghasilkan warna gula merah yang semakin gelap. Pemanasan saat pengolahan gula merah mengakibatkan produk yang mengalami *browning non enzimatis* (reaksi *maillard*) sehingga memiliki warna condong ke arah Cokelat, yang saat dibaca oleh alat *colour reader* dengan nilai a^* cenderung ke arah positif. Nilai kecerahan (L^*) gula merah menurun sedangkan nilai kemerahan (a^*) semakin meningkat karena adanya reaksi *maillard* ini (De Castro *et al.*, 2019).

Kekuningan (b^*)

Nilai tertinggi yaitu 3,85 diperoleh pada perlakuan lama karamelisasi 60 menit : NaHCO_3 0,3% yang menunjukkan bahwa warna semakin mengarah ke arah positif (kuning). Sedangkan nilai kekuningan (b^*) terendah yaitu 2 diperoleh pada sampel 710 dengan perlakuan lama karamelisasi 40 menit : NaHCO_3 0,7% yang menunjukkan bahwa warna mengarah ke arah negatif (biru) (Tabel 2). Hasil yang didapat tidak sejalan dengan hasil penelitian Erwinda & Susanto (2014) bahwa semakin lama reaksi *maillard* yang terjadi maka semakin gelap warna gula merah yang dihasilkan, mengakibatkan rendahnya nilai kekuningan (b^*). Pada gula merah nilai kekuningan (b^*) berbanding lurus dengan kecerahan (L) dan berbanding terbalik dengan kemerahan (a^*). Rendahnya rata-rata nilai kemerahan (a^*) maka rata-rata kecerahan (L) dan kekuningan (b^*) gula merah akan tinggi. Adapun faktor yang menyebabkan perbedaan hasil dengan penelitian terdahulu adalah ketidaksesuaian kondisi sampel saat dilakukan pengujian, terkait ketebalan sampel yang tidak seragam.

Pembentukan warna gula merah yang dihasilkan, diakibatkan oleh proses pemasakan nira. Tingginya suhu pemasakan, menyebabkan intensitas warna merah pada gula merah tinggi juga. Pada gula merah karena adanya reaksi *browning maillard* dan karamelisasi, maka terdapat warna kecokelatan yang dihasilkan dari pigmen melanoidin (pigmen warna cokelat). Suhu serta durasi pemasakan berpengaruh pada reaksi karamelisasi yang terjadi. Reaksi karamelisasi terjadi karena gula (glukosa, fruktosa, sukrosa, dsb) dipanaskan sampai pada titik lelehnya. Lama waktu pemasakan, semakin tinggi intensitas warna gula yang dihasilkan. Akan tetapi untuk mendapatkan warna yang baik harus dilakukan pemasakan dengan waktu yang tepat agar reaksi karamelisasi tidak berlebihan yang dapat menyebabkan warna Cokelat pekat kurang menarik. Sementara, konsentrasi NaHCO_3 mempengaruhi karena semakin banyak NaHCO_3 yang diberikan maka kecerahan semakin meningkat.

Atribut sensori

Warna

Kualitas warna gula merah pada dasarnya dipengaruhi oleh tahap pemurnian nira, suhu serta waktu pemasakan. Indeks mutu bahan pangan dapat dilihat dari perubahan warna, yang digunakan sebagai parameter untuk menilai mutu fisik produk dan penerimaan konsumen. Warna adalah salah satu aspek penerimaan konsumen yang pa-

ling penting dari gula merah, tetapi juga merupakan salah satu variabel paling kompleks untuk dikendalikan dan distandarisasi. Banyak faktor yang mempengaruhi warna, termasuk varietas tebu dan komposisi kimianya (gula, flavonoid dan asam organik), kondisi agroekologi, keberadaan penyakit, jenis, dan konsentrasi ekstrak penjernih, profil suhu, waktu tinggal, dan efisiensi proses klarifikasi (Velásquez *et al.*, 2019).

Tabel 3. Rata-rata nilai atribut sensori warna

	Warna	Keterangan
440	3,44	Cokelat pekat
710	4,4	Cokelat
240	3,04	Cokelat pekat
460	1,5	Hitam

Gula merah sampel 440 dengan perlakuan lama karamelisasi 40 menit dan penggunaan NaHCO_3 sebanyak 0,3% memiliki warna cokelat pekat (Tabel 3). Gula merah sampel 710 dengan perlakuan lama karamelisasi 40 menit dan penggunaan NaHCO_3 sebanyak 0,7% memiliki warna Cokelat. Gula merah sampel 240 dengan perlakuan lama karamelisasi 40 menit dan dengan tidak terdapat penggunaan NaHCO_3 (0%) memiliki warna Cokelat pekat. Gula merah sampel kode 460 dengan lama karamelisasi 60 menit dan penggunaan NaHCO_3 sebanyak 0,3% memiliki warna agak hitam. Sehingga gula merah yang memiliki warna paling gelap adalah gula merah dengan sampel 460 dan gula merah yang memiliki warna paling muda pada sampel 710.

Hal ini terjadi karena perbedaan lama karamelisasi dan konsentrasi NaHCO_3 yang diberikan, di mana pada sampel 460 lama karamelisasi selama 60 menit dan sampel 710 lama karamelisasi selama 40 menit. Serta terdapat perbedaan konsentrasi NaHCO_3 yang diberikan di mana sampel 460 menggunakan 0,3% NaHCO_3 dan sampel 710 menggunakan 0,7% NaHCO_3 . Sampel 710 secara fisik telah menghasilkan warna gula merah yang memenuhi SNI 01-6237-2000 yaitu berwarna Cokelat kekuningan. Sehingga dapat diketahui bahwa proses pemasakan dapat mempengaruhi intensitas

warna gula merah, terutama saat terjadinya karamelisasi dan konsentrasi NaHCO_3 yang diberikan. Pemanasan nira terutama pada proses karamelisasi terjadi pencokelatan non-enzimatik melalui reaksi *maillard*, menyertakan kompleks antara asam amino dan gula pereduksi. Ini juga memiliki efek penting pada sifat makanan, termasuk nilai gizi, warna, tekstur, dan rasa produk manis, kopi, dan Cokelat (Zhou *et al.*, 2013). Sehingga pemasakan dengan waktu karamelisasi yang tepat harus dilakukan, agar mendapatkan warna yang baik. Jika waktunya sangat singkat reaksi karamelisasi kurang maksimal begitu pula sebaliknya jika waktunya sangat lama seperti sampel 460, reaksi karamelisasi berlebihan dan menyebabkan warna cokelat pekat yang kurang menarik.

Cita rasa

Cita rasa termasuk suatu atribut mutu yang sangat penting dalam penentuan mutu suatu produk bahan pangan. Rasa merupakan parameter utama yang berpengaruh dalam penerimaan konsumen pada suatu produk pangan. Rasa melibatkan komponen yang ada di dalam bahan hingga proses yang dialami. Rasa dijadikan sebagai faktor yang dapat menentukan keputusan akhir konsumen untuk menolak atau menerima suatu produk, meskipun atribut penilaian lain lebih baik, jika rasa makanan tidak disukai maka produk

pasti ditolak (Saragih, 2014). Berdasarkan SNI I-6237-2000, gula merah tebu memiliki rasa yang khas. Selama pemrosesan termal, seperti penguapan dan konsentrasi, karamelisasi dan reaksi *maillard* tidak dapat dihindari, yang memberikan aroma menyenangkan dalam produk gula merah. Gula merah digambarkan memiliki aroma

manis, karamel dan sedikit buah. Keton, furanon, pirazin, aldehida, alkohol, asam dan senyawa yang mengandung belerang merupakan golongan utama senyawa dalam gula merah (Asikin *et al.*, 2016). Pembentukan senyawa ini dipengaruhi oleh bahan baku dan kondisi pengolahan.

Tabel 4. Rata-rata nilai atribut sensori cita rasa

	Cita rasa	Keterangan
440	3,44	Rasa karamelisasi lemah & Semi terasa nira
710	3,12	Rasa karamelisasi lemah & Semi terasa nira
240	3,22	Rasa karamelisasi lemah & Semi terasa nira
460	1,16	Rasa karamelisasi sangat kuat

Gula merah sampel 440 dengan perlakuan lama karamelisasi 40 menit : NaHCO_3 0,3% memiliki cita rasa karamelisasi lemah dan semi terasa nira. Gula merah sampel 710 dengan perlakuan lama karamelisasi 40 menit : NaHCO_3 0,7% memiliki cita rasa karamelisasi lemah dan semi terasa nira. Gula merah sampel 240 dengan perlakuan lama karamelisasi 40 menit : tanpa NaHCO_3 (0%) memiliki cita rasa karamelisasi lemah dan semi terasa nira, gula merah sampel kode 460 dengan lama karamelisasi 60 menit : NaHCO_3 0,3% memiliki rasa karamelisasi sangat kuat (Tabel 4). Hal ini membuktikan bahwa lama waktu karamelisasi berperan penting terhadap cita rasa gula merah (Wojtczak *et al.*, 2013). Karakteristik rasa dari produk reaksi *Maillard* (MRPs) dapat bervariasi dari aroma yang menyenangkan, harum hingga bau terbakar, tajam, dan seperti karamel (Van Boekel, 2006).

Penilaian cita rasa gula merah tebu menurut panelis pada sampel dengan lama karamelisasi 40 menit, gula merah tebu masih berasa manis khas namun dirasa kurang manis. Produk dengan lama karamelisasi 60 menit merupakan suhu optimal pemasakan gula merah tebu, dinilai panelis menghasilkan rasa gula merah tebu kuat rasa karamelnya, tetapi tetap khas gula, manis, namun agak terasa pahit (Tabel 4). Hasil yang didapat sesuai dengan standar SNI 01-6237-2000, bahwa rasa gula merah adalah khas, baik mutu I maupun mutu II. Hal ini juga

sesuai dengan De Mann 1997 *dalam* (Diniyah *et al.*, 2012) proses pemasakan mempengaruhi rasa pada gula merah. Reaksi *maillard* terjadi selama pemasakan nira menjadi gula merah dan menyebabkan rasa karamel yang khas. Perubahan struktur gula merah juga terjadi lebih kompleks karena adanya pemasakan gula merah. Sehingga terjadinya proses karamelisasi yang menyebabkan perubahan rasa manis nira tebu menjadi rasa manis khas gula. Sedangkan perlakuan konsentrasi NaHCO_3 tidak berpengaruh terhadap cita rasa gula merah.

Tekstur

Tekstur termasuk faktor utama pada kualitas fisik produk gula merah tebu. Gula merah tebu menurut SNI 01-6237-2000 dengan kualitas yang baik memiliki tekstur dan struktur yang kompak, berpasir lembut, serta tidak terlalu keras (Badan Standardisasi Nasional, 2000). Gula merah sampel 440 dengan perlakuan lama karamelisasi 40 menit dan penggunaan NaHCO_3 sebanyak 0,3% memiliki tekstur agak keras. Gula merah sampel 710 dengan perlakuan lama karamelisasi 40 menit dan penggunaan NaHCO_3 sebanyak 0,7% memiliki tekstur keras. Gula merah sampel 240 dengan perlakuan lama karamelisasi 40 menit dan dengan tidak terdapat penggunaan NaHCO_3 (0%) memiliki tekstur agak keras, gula merah sampel kode 460 dengan lama karamelisasi 60 menit dan penggunaan NaHCO_3 sebanyak 0,3% memiliki tekstur agak lunak (Tabel 5).

Tingginya kandungan air dapat menyebabkan produk mudah mengalami kerusakan karena kontaminasi mikroba. Selain itu juga dapat menurunkan kualitas fisik produk gula merah

yang dihasilkan. Kandungan air yang tinggi menyebabkan gula merah memiliki tekstur condong ke lunak (Ambarsari *et al.*, 2018).

Tabel 5. Rata-rata nilai atribut sensori tekstur

Sampel	Tekstur	Keterangan
440	3,44	Agak keras
710	1,92	Keras berpasir
240	2,96	Agak keras
460	3,7	Agak lunak

Perbedaan perlakuan pemberian konsentrasi bahan tambahan pangan berupa NaHCO_3 berpengaruh terhadap tekstur yang dihasilkan. Semakin tinggi pemberian konsentrasi NaHCO_3 maka tekstur yang dihasilkan oleh gula merah semakin keras dan memiliki tekstur terurai (berpasir) (Tabel 5). Kekerasan (*hardness*) gula merah yang dihasilkan tidak dipengaruhi secara nyata oleh interaksi pH (Dewi *et al.*, 2014). Kekerasan tertinggi dicapai pada sampel dengan lama karamelisasi 40 menit dan konsentrasi NaHCO_3 0,7%, kemudian kekerasan terendah dicapai pada sampel dengan lama karamelisasi 40 menit dan konsentrasi NaHCO_3 0,3% (Tabel 5). Tekstur gula merah juga dipengaruhi oleh kandungan sukrosa dalam gula. Semakin tinggi kadar sukrosa dalam gula, semakin keras (baik) tekstur gula yang dihasilkan (Dewi, 2014). Hal ini disebabkan oleh kandungan sukrosa pada gula merah dengan lama karamelisasi 60 menit mempunyai kadar sukrosa paling rendah (fruktosa lebih tinggi), sehingga menyebabkan tekstur gula semakin lunak, karena fruktosa bersifat higroskopis. Kandungan gula pereduksi yang tinggi akan mempercepat penggosongan

(karamelisasi) selama pemanasan, dan juga menyebabkan gula merah lebih higroskopis sehingga cepat menjadi lunak dalam penyimpanan.

Kesukaan

Kualitas pangan dan sifat organoleptik adalah kriteria terbaik yang digunakan konsumen untuk menentukan kualitas gula merah tebu. Sebuah analisis global tentang bagaimana konsumen mempersiapkan rasa manis atau keasaman, bau, rasa, dan warna dilakukan pada produk gula merah tebu. Meskipun gula merah tebu sebagai bahan setengah jadi yang akan dikonsumsi sebagai bahan pembuat minuman atau produk lainnya, konsumen biasanya memilih produk dengan rasa yang agak manis, warna Cokelat muda, dan rasanya aroma khas (Vera-Gutiérrez *et al.*, 2019). Kesukaan merupakan tingkat penerimaan oleh konsumen terhadap sampel yang telah diberi perlakuan masing-masing. Analisis hasil menggunakan uji ANOVA dengan uji lanjut dunnet dengan *software* SPSS melaporkan adanya perbedaan yang nyata antara sampel 240 terhadap sampel kontrol (440) (Tabel 6).

Tabel 6. Rata-rata nilai atribut sensori kesukaan

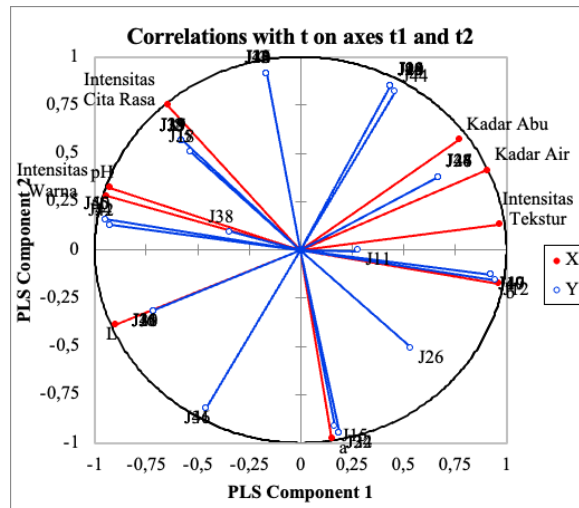
Sampel	Kesukaan	Keterangan
440	2,68 ^{ns}	Suka
710	2,12 ^{ns}	Suka
240	3,04	Agak suka
460	2,16 ^{ns}	Suka

Keterangan: *) Angka yang diikuti notasi (ns) menunjukkan tidak ada beda nyata dengan kontrol berdasarkan uji Dunnet pada taraf 5%

Penilaian yang disukai menurut panelis adalah gula merah pada kode sampel 710 yang diolah dengan lama waktu karamelisasi 40 menit dan konsentrasi NaHCO_3 sebanyak 0,7% dan gula merah pada kode sampel 460 dengan lama waktu karamelisasi 60 menit dan konsentrasi NaHCO_3 sebanyak 0,3%. Dapat disimpulkan bahwa panelis lebih menyukai sampel 710 dengan

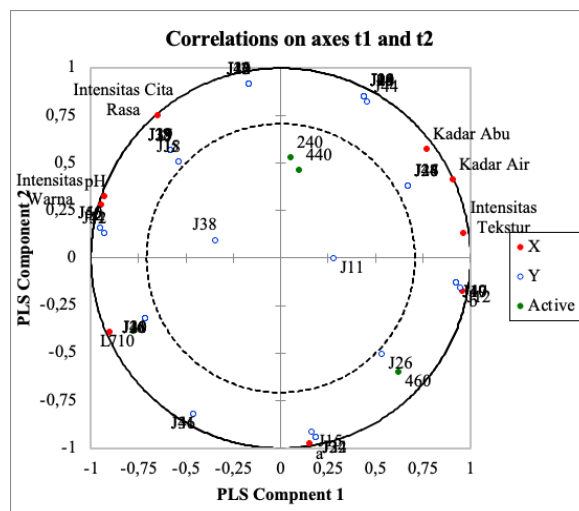
Analisis variabel multivariat

warna coklat, memiliki cita rasa karamelisasi lemah dan semi terasa nira, serta bertekstur keras. Hal ini sesuai dengan pernyataan (Dewi, 2014) bahwa konsumen lebih suka gula merah yang keras tetapi berpasir dibanding yang lunak. Serta yang disukai konsumen ialah gula merah dengan warna lebih muda.



Gambar 1. Lingkaran korelasi antara atribut sensori, karakteristik, dan panelis gula merah tebu

Keterangan: *) J1-J50 merupakan jumlah panelis, 3 digit angka (440, 710, 240, 460) merupakan kode sampel, dan angka yang terdapat pada sumbu X dan Y merupakan R-squares di mana 0,75 (kuat), 0,5 (moderate), dan 0,25 (lemah) (Ghozali, 2016)



Gambar 2. Lingkaran korelasi produk gula merah antara atribut sensori, karakteristik, dan panelis

Keterangan: *) J1-J50: panelis 1-50, 3 digit angka (440, 710, 240, 460): kode sampel sesuai perlakuan, dan angka yang terdapat pada sumbu X dan Y merupakan R-squares di mana 0,75 (kuat), 0,5 (moderate), dan 0,25 (lemah) (Ghozali, 2016)

Hubungan antara keseluruhan variasi untuk analisis *Partial Least Square* (PLS) yang mencakup atribut sensori, karakteristik, dan penilaian panelis terhadap produk gula merah tebu sebagai variabel dependen. Regresi *Partial Least Square* (PLS) dari variabel Y 50 panelis pada 9 variabel X sifat kimia (pH, kadar air, kadar abu, warna L^* , a^* , b^*) dan sensorik (intensitas warna, intensitas cita rasa, tekstur). Tingkat kesukaan konsumen menunjukkan korelasi positif terhadap seluruh parameter kecuali warna *lightness* (L^*) karena berada kuadran yang berbeda dan terletak pada kuadran negatif. Tekstur berkorelasi positif antara kadar air, kadar abu, dan nilai b^* sedangkan intensitas warna dan cita rasa berkorelasi negatif dengan parameter tersebut, tetapi berkorelasi positif dengan pH. Selain itu, hasil penelitian menunjukkan intensitas warna berkorelasi positif dengan pH dan (L^*) (Gambar 1).

Produk 240 dan 440 memiliki karakteristik tekstur, kadar air, dan kadar abu yang hampir sama (terletak pada satu kuadran), namun kedua produk tersebut memiliki karakteristik yang berbeda signifikan dengan produk 460 (terletak pada kuadran 3) dan 710 (terletak pada kuadran 4) (Gambar 2).

Hasil PLS menunjukkan hubungan yang jelas antara atribut sensori dan parameter yang diidentifikasi yang terkait erat dengan analisis kualitas suatu produk. Sehingga korelasi antara atribut sensori dan kualitas penting bagi peneliti dan manufaktur makanan. Hasil ini memiliki kepentingan praktis dalam upaya untuk memprediksi kualitas makanan (akseptibilitas) dari pengukuran sampel sejalan dengan yang dilaporkan oleh (Moghaddam *et al.*, 2016).

KESIMPULAN

Tekstur berkorelasi positif dengan kadar air, kadar abu, dan nilai b^* sedangkan intensitas warna dan cita rasa berkorelasi negatif dengan parameter tersebut, tetapi berkorelasi positif dengan pH. Intensitas warna juga berkorelasi positif dengan (L^*). Kesukaan konsumen berkorelasi positif terhadap seluruh parameter uji laboratorium

selain (L^*). Produk 240 dan 440 memiliki karakteristik tekstur, kadar air, dan kadar abu yang hampir sama karena terletak pada satu kuadran. Namun kedua produk tersebut memiliki karakteristik yang berbeda signifikan dengan produk 460 dan 710.

Nilai pH tidak berpengaruh signifikan terhadap atribut sensori dan karakteristik gula merah tebu. Kondisi karamelisasi dan konsentrasi pemberian NaHCO_3 berpengaruh terhadap beberapa parameter kualitas gula merah tebu. Semakin lama waktu karamelisasi kualitas warnanya akan semakin gelap-cokelat kehitaman, memiliki tekstur agak lunak, kadar air tinggi, serta rasa karamelnya kuat. Semakin banyak konsentrasi NaHCO_3 yang diberikan, tingkat kecerahan produk akan semakin tinggi dan bertekstur keras berpasir yang disukai oleh konsumen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada produsen pusat pengolahan gula merah nira tebu Koperasi Agro Niaga Jabung Malang.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, D. Y., Yuwono, S. S., & Istianah, N. (2018). Penjernihan nira tebu dan nira sorgum menggunakan proses sentrifugasi dengan penambahan adsorben. *Jurnal Ilmu Pangan Dan Hasil Pertanian*, 2(1), 63. <https://doi.org/10.26877/jiphp.v2i1.2319>
- Ambarsari, I., Anomsari, S. D., & Hartoyo, B. (2018). Penggunaan bahan tambahan pangan pada proses produksi gula merah tebu di Jawa Tengah. *Jurnal Pengkajian Dan Pengembangan Teknologi Pertanian*, 20(3), 231. <https://doi.org/10.21082/jpftp.v20n3.2017.p231-240>
- Asikin, Y., Hirose, N., Tamaki, H., Ito, S., Oku, H., & Wada, K. (2016). Effects of different drying-solidification processes on physical properties, volatile fraction, and antioxidant activity of non-centrifugal cane brown sugar. *LWT - Food Science and*

- Technology*, 66, 340–347. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.039>
- Asikin, Y., Kamiya, A., Mizu, M., Takara, K., Tamaki, H., & Wada, K. (2014). Changes in the physicochemical characteristics, including flavour components and Maillard reaction products, of non-centrifugal cane brown sugar during storage. *Food Chemistry*, 149, 170–177. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.089>
- Chen, S. L., Jin, S. Y., & Chen, C. S. (2005). Relative reactivities of glucose and galactose in browning and pyruvaldehyde formation in sugar/glycine model systems. *Food Chemistry*, 92(4), 597–605. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.09.005>
- De Castro, B. J. C., Marciniuk, M., Giuliatti, M., & Bernardo, A. (2019). Sucrose crystallization: modeling and evaluation of production responses to typical process fluctuations. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 36(3), 1237–1253. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20190363s20180240>
- Dewi, S. (2014). The effect of temperature cooking of sugar juice and stirring speed on the quality of brown sugar cane. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 15(3), 149–158. <https://doi.org/10.21776/ub.jtp.2014.015.03.01>
- Diniyah, N., Wijanarko, S. B., & Purnomo, H. (2012). Teknologi pengolahan gula Cokelat cair nira silawan (*Borassus flabellifera* L.). *J. Teknol. dan Industri Pangan*, 23(1), 53–57.
- Erwinda, M. D., & Susanto, W. H. (2014). Pengaruh pH nira tebu (*Saccharum officinarum*) dan konsentrasi penambahan kapur terhadap kualitas gula merah. *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, 2(3), 54–64.
- Ghozali, H. I. (2016). *Aplikasi analisis multivariate dengan program IBM SPSS 23*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Maharani, D. M., Yulianingsih, R., Dewi, S. R., Sugiarto, Y., & Indriani, D. W. (2014). Influences of sodium metabisulphite and evaporation vacuum temperature on brown sugar cane quality. *Agritech*, 34(4), 365–373.
- Martins, S. I. F. S., Jongen, W. M. F., & van Boekel, M. A. J. S. (2001). A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends Food SciTechnol*, 11(9–10), 364–373.
- Moghaddam, M. T., Razavi, S. M. A., Taghizadeh, M., & Sazgarnia, A. (2016). Sensory and instrumental texture assessment of roasted pistachio nut/kernel by partial least square (PLS) regression analysis: effect of roasting conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 370–380. <https://doi.org/10.1007/s13197-0152054-2>
- Pakpahan, O. P., Anggita, C., Cahyanti, S., Putri, D. N., & Monica, S. A. (2019). Performance edible coating containing oleoresin from ginger emprit (*Zingiber Officinale* var. *Amarum*) and its effect on consumer preference properties. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*, 11(3), 175–184. <https://doi.org/10.34302/crpfjst/2019.11.3.15>
- Saragih, R. (2014). Uji kesukaan panelis pada teh daun torbangun (*Coleus amboinicus*). *Journal Kesehatan dan Lingkungan*, 1(1), 46–52.
- Van Boekel, M. A. J. S. (2006). Formation of flavour compounds in the maillard reaction. *Biotechnology Advances*, 24(2), 230–233. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2005.11.004>
- Velásquez, F., Espitia, J., Mendieta, O., Escobar, S., & Rodríguez, J. (2019). Non-centrifugal cane sugar processing: A review on recent advances and the influence of process variables on qualities attributes of final products. *Journal of Food Engineering*, 255, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.03.009>
- Vera-Gutiérrez, T., García-Muñoz, M. C., Otálvaro-Alvarez, A. M., & Mendieta-

- Menjura, O. (2019). Effect of processing technology and sugarcane varieties on the quality properties of unrefined non-centrifugal sugar. *Heliyon*, 5(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02667>
- Weerawatanakorn, M., Asikin, Y., Takahashi, M., Tamaki, H., Wada, K., Ho, C. T., & Chuekittisak, R. (2016). Physico-chemical properties, wax composition, aroma profiles, and antioxidant activity of granulated non-centrifugal sugars from sugarcane cultivars of Thailand. *Journal of Food Science and Technology*, 53(11), 4084–4092. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2415-5>
- Wojtczak, M., Antczak, A., & Lisik, K. (2013). Contamination of commercial cane sugars by some organic acids and some inorganic anions. *Food Chemistry*, 136(1), 193–198. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.07.036>
- Yu, P., Low, M. Y., & Zhou, W. (2018). Design of experiments and regression modelling in food flavour and sensory analysis: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 71, 202–215. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.013>
- Zhang, Q., Ames, J. M., Smith, R. D., Baynes, J. W., & Metz, T. O. (2009). A perspective on the maillard reaction and the analysis of protein glycation by mass spectrometry: Probing the pathogenesis of chronic disease. *Journal of Proteome Research*, 8(2), 754–769. <https://doi.org/10.1021/pr80085Bh>
- Zhou, P., Guo, M., Liu, D., Liu, X., & Labuza, T. P. (2013). Maillard-reaction-induced modification and aggregation of proteins and hardening of texture in protein bar model systems. *Journal of Food Science*, 78(3), 437–444. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12061>