Agrointek Volume 20 No 2 2026: 363-372

p-ISSN: 1907-8056
e-ISSN: 2527-5410

AGROINTEK
Jurnal Teknologi Industri Pertanian

journal homepage: journal.trunojoyo.ac.id/agrointek

Pengaruh kadar air terhadap sifat fisik gula semut melalui analisis regresi linier

Hary Kurniawan[1*], Rucitra Widyasari[2] , Yeni Sulastri[2]

[1]*Teknik Pertanian, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia*
[2]*Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia*

Article history
Diterima:
29 September 2025
Diperbaiki:
17 Maret 2026
Disetujui:
26 Maret 2026

Keyword
Browning index;
bulk and tapped density;
Carr index;
granulated palm sugar;
moisture content;

ABSTRACT

Granulated palm sugar is a natural sweetener that is increasingly valued for its distinctive flavor, practical granular form, and relatively long shelf life. Its physical quality, however, is highly sensitive to moisture content because the product is hygroscopic and readily absorbs water from the surrounding environment during storage and handling. Changes in moisture content can affect important physical attributes, including density, flowability, and color, which in turn influence product stability, handling performance, and consumer acceptability. This study aimed to evaluate the effect of moisture content on the physical properties of granulated palm sugar using linear regression analysis. Samples were adjusted to five moisture content levels, namely 2.06%, 3.87%, 5.42%, 5.98%, and 7.15% (wet basis), and arranged in a completely randomized design with three replications. The parameters observed were bulk density, tapped density, and color attributes (L, a*, and b*), which were further used to determine Carr Index (CI), Hausner Ratio (HR), hue angle, and total color difference (ΔE). The results showed that increasing moisture content caused bulk density to decrease, while tapped density, CI, and HR increased, indicating reduced flowability and greater cohesiveness at higher moisture levels. Based on HR classification, granulated palm sugar exhibited low cohesiveness at 2.06% moisture content and shifted to intermediate to high cohesiveness as moisture content increased. Color analysis showed that the product remained within hue angle quadrant I, indicating a brownish-yellow appearance. A high coefficient of determination (R^2 = 0.9843) also confirmed a strong relationship between moisture content and color parameters. Overall, the findings highlight that moisture control is essential for maintaining the physical quality and handling characteristics of granulated palm sugar during storage and distribution.*

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

[*] Penulis korespondensi
Email : harykurniawan@unram.ac.id
DOI 10.21107/agrointek.v20i2.31916

PENDAHULUAN

Gula semut merupakan salah satu bentuk diversifikasi produk gula cetak atau gula merah yang dihasilkan melalui proses pengentalan nira palma (aren, kelapa, siwalan) hingga membentuk butiran berdiameter 0,8 – 1,2 mm, berwarna kuning sampai coklat tua, dan memiliki aroma yang khas (Heryani 2016, Feti et al. 2023, Kurniawan et al. 2025). Produk ini tidak hanya dikenal sebagai pemanis alami, tetapi juga memiliki beberapa keunggulan dibandingkan gula cetak konvensional seperti daya simpan lebih lama karena kadar air rendah, bentuk kristal yang memudahkan penggunaan, pengemasan, dan pengangkutan (Kurniawan et al. 2020). Karakteristik tersebut memberikan nilai ekonomis yang relatif lebih tinggi, karena dapat meningkatkan efisiensi penanganan dan distribusi produk serta berpotensi meningkatkan nilai jual dibandingkan gula cetak tradisional (Handayani et al. 2022). Kondisi ini menjadikan gula semut memiliki prospek ekspor yang signifikan, seiring dengan meningkatnya permintaan global terhadap gula alami dan produk pangan berlabel sehat cenderung meningkat (Sahat 2017, Siska et al. 2025). Pasar gula palma global diperkirakan meningkat dari sekitar USD 820 juta pada tahun 2025 menjadi USD 1,22 miliar pada tahun 2035, didorong oleh meningkatnya permintaan terhadap pemanis alami sebagai alternatif gula rafinasi (Fact. MR. 2025).

Namun demikian, gula semut memiliki sifat higroskopis yang tinggi, sehingga mudah menyerap uap air dari lingkungan akibat adanya gugus hidroksil pada gula reduksi yang mampu membentuk ikatan dengan molekul air (Wilberta et al. 2021). Kondisi ini menyebabkan perubahan tekstur, penggumpalan, serta penurunan mutu sensori selama penyimpanan terutama jika terpapar udara sekitar (Kurniawan 2020). Kadar air berperan sebagai parameter kritis yang menentukan kualitas, keamanan, dan umur simpan produk (Plotnikova et al. 2021). Perubahan kadar air pada gula semut cenderung meningkatkan aktivitas air yang digunakan oleh khamir terutama jenis osmofilik untuk tumbuh sehingga memicu terjadinya fermentasi lanjutan, pembentukan gas, dan perubahan sensori (Id et al. 2018, Wang et al. 2024). Oleh karena itu, pengendalian kadar air merupakan faktor fundamental dalam menjaga stabilitas mutu gula semut sepanjang rantai produksi hingga distribusi.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengamati umur simpan (Kurniawan et al. 2018, Ritonga et al. 2020), keragaman kualitas yang beredar di pasaran (Prastiani et al. 2024), variasi warna gula aren (Pontoh 2016), pengayaan produk melalui penambahan rempah (Musita 2019), dan perubahan mutu selama penyimpanan (Huynh et al. 2020, M et al. 2021). Selain itu, studi terkait gula palma juga melaporkan pengaruh pH dan suhu terhadap intensitas pencoklatan serta aktivitas antioksidan (Karseno et al. 2018).

Pada bahan pangan berbentuk serbuk atau kristal, kadar air merupakan salah satu parameter kritis yang memengaruhi sifat fisik produk, termasuk warna, densitas curah (*bulk density*), serta karakteristik aliran. Peningkatan kadar air umumnya meningkatkan sifat higroskopis bahan dan memicu terjadinya penggumpalan (*caking*), yang dapat menurunkan kemampuan alir serta mengubah karakteristik fisik produk selama penyimpanan dan distribusi. Oleh karena itu, pengendalian kadar air menjadi penting dalam menjaga stabilitas mutu produk pangan berbentuk serbuk.

Namun, penelitian yang secara khusus menelaah hubungan antara kadar air dengan sifat fisik utama gula semut seperti warna, densitas curah, dan karakteristik daya alir masih relatif terbatas. Padahal, parameter-parameter fisik tersebut berperan penting dalam menentukan stabilitas produk selama penyimpanan, kemudahan penanganan dan pengemasan, serta konsistensi mutu.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kadar air terhadap sifat fisik gula semut, mencakup warna, densitas curah, dan karakteristik daya alir. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis dalam pengendalian mutu serta strategi penyimpanan, sekaligus memperkuat dasar ilmiah bagi pengembangan standar mutu gula semut pada skala industri.

METODE

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain timbangan analitik (Kern ABJ 220, Germany), oven (Memmert UNB 400, Germany), *colormeter*/*color reader* (MiniScan EZ, Hunter Lab, Germany), *sieve shaker*, cawan, gelas ukur, spatula, dan plastic *zip lock*. Sementara bahan

yang digunakan adalah gula semut yang terbuat dari nira aren yang diperoleh dari pengrajin gula semut di Desa Kekait, Kecamatan Gunung Sari, Kabupaten Lombok barat.

Metode

Bahan yang digunakan adalah gula semut yang diperoleh dari satu pengrajin dengan kadar air awal 7,15%. Untuk memperoleh variasi kadar air, sampel dikeringkan menggunakan oven pada suhu 55°C dan diukur setiap 1 jam hingga diperoleh kadar air 2,06%, 3,87%, 5,42%, 5,98%, dan 7,15%. Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan satu faktor yaitu kadar air yang terdiri atas lima taraf perlakuan, masing-masing dengan tiga ulangan.

Penentuan densitas curah dan densitas ketuk (*tapped density*) mengacu pada (Savlak et al. 2016, Tharanon et al. 2024). Sementara itu penentuan *Carr index* (CI) dan Hausner Ratio (HR) mengacu pada (Akseli et al. 2019) yang dihitung melalui Persamaan (1) dan (2).

$$CI = \left[\frac{(\rho_{bulk} - \rho_{tapped})}{\rho_{tapped}}\right] \times 100 \quad (1)$$

$$HR = \frac{\rho_{bulk}}{\rho_{tapped}} \quad (2)$$

Pengukuran warna gula semut dilakukan dengan menggunakan HunterLab MiniScan berdasarkan sistem CIELab, yang mencakup parameter L^*(*lightness*), a^* (*redness/greenness*) dan b^* (*yellowness/blueness*). Nilai L, a dan b selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai Hue angle ($h°$)dan *total color difference* (ΔE) yang masing-masing dinyatakan melalui Persamaan (3) dan (4) (Phuon et al. 2022).

$$Hue\ angle\ (h°) = tan^{-1}\left[\frac{b^*}{a^*}\right] \quad (3)$$

$$\Delta E = [(L_o - L^*)^2 + (a_o - a^*)^2 + (b_o - b^*)^2]^{1/2} \quad (4)$$

Pengukuran kadar air menggunakan metode gravimetri selama 24 jam pada suhu 105°C (AOAC 2016). Hubungan antara kadar air dengan parameter mutu fisik gula semut dianalisis menggunakan analisis regresi linier dan uji korelasi Pearson. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak statistik IBM SPSS Statistics 25. Model regresi linier dinyatakan sebagai Persamaan (5).

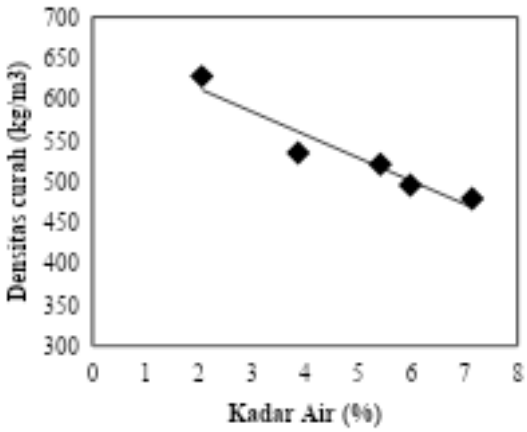
$$y = a + bx \quad (5)$$

di mana y adalah variabel respon, x adalah variabel bebas, a merupakan konstanta yang menunjukkan titik potong garis pada sumbu y (*intercept*), dan b merupakan koefisien regresi yang menunjukkan kemiringan (*slope*) garis regresi (Hazra and Gogtay 2016).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Kadar Air Terhadap Densitas Curah dan Densitas Ketuk

Densitas curah suatu bahan granula seperti gula semut dinyatakan sebagai perbandingan massa sampel yang belum dipadatkan terhadap volume, termasuk volume kosong antar partikel (Prawira-Atmaja et al. 2019). Densitas curah pada bahan *powder* sangat tergantung pada densitas partikel dan susunannya serta cara bagaimana partikel tersebut diberi perlakuan seperti pemadatan, konsolidasi, dan penyimpanan (Tharanon et al. 2024). Sementara itu densitas ketuk diperoleh dengan memadatkan sampel dalam wadah (Alam et al. 2023). Penentuan dua parameter ini akan membantu dalam menentukan indeks kompresibilitas serta kemampuan alir dari suatu produk *powder* atau granula (Akseli et al. 2019). Densitas curah memengaruhi volume serbuk yang terisi dalam wadah kemasan sehingga berdampak langsung pada jumlah yang dapat dimuat dalam ruang penyimpanan dan desain kemasan (Amidon et al. 2017, Malmgren and Riley 2018).

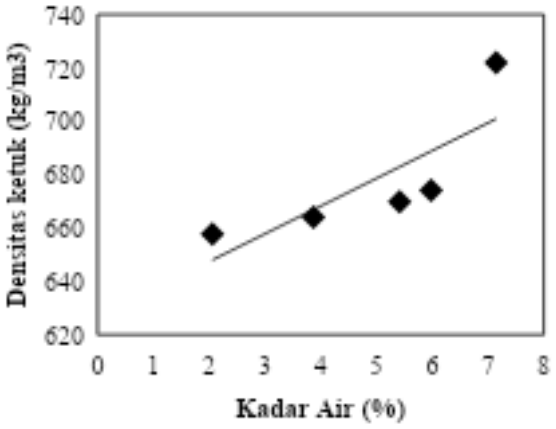


Gambar 1 Hubungan kadar air terhadap densitas curah

Hasil pengukuran menunjukkan densitas curah menurun linier seiring dengan peningkatan kadar air, di mana nilai tertinggi tercatat sebesar 621,56 kg/m³ pada kadar air 2,05% dan menurun

hingga 490,73 kg/m³ pada kadar air 7,14%. Gambar 1 menunjukkan hubungan ini memiliki koefisien determinasi tinggi (R^2 = 0,9183) dan korelasi negatif kuat (r = –0,9582), yang menandakan bahwa kenaikan kadar air mengurangi densitas partikel dalam kemasan (Jung et al. 2018). Fenomena ini dapat dijelaskan melalui terbentuknya lapisan air pada permukaan partikel yang meningkatkan jarak antarpartikel sehingga ruang pori membesar (Tharanon et al. 2024).

Sebaliknya, densitas ketuk justru meningkat seiring kenaikan kadar air, dari 657,66 kg/m³ pada 2,05% menjadi 721,87 kg/m³ pada 7,15% (R^2 = 0,6453; r = 0,8023) seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Hubungan kadar air terhadap densitas ketuk

Pada kadar air yang lebih tinggi dapat dijelaskan oleh terbentuknya jembatan cair (*liquid bridge*) antar partikel akibat adanya lapisan kelembapan. Kehadiran lapisan ini menyebabkan partikel lebih mudah saling melekat, sehingga ruang kosong antar partikel berkurang ketika sampel dikenai perlakuan ketukan atau getaran (Suhag et al. 2024). Akibatnya, terjadi pemadatan yang lebih rapat dan nilai densitas ketuk meningkat. Temuan ini sejalan dengan laporan (López-Córdoba and Goyanes 2017) serta (Juarez-Enriquez et al. 2017), yang menyatakan bahwa kenaikan kadar air memperbesar gaya kohesif pada serbuk pangan sehingga meningkatkan kecenderungan aglomerasi dan kompresibilitas. Meskipun kadar air yang lebih tinggi dapat meningkatkan densitas ketuk, kondisi tersebut juga berpotensi menurunkan sifat alir (*flowability*) serta meningkatkan risiko terjadinya pemadatan atau *caking* selama penyimpanan.

Pengaruh Kadar Air terhadap *Carr index* dan *Hausner Ratio*

Carr Index (CI) dan *Hausner Ratio* (HR) merupakan parameter penting yang banyak digunakan dalam menilai sifat alir (*flowability*) dan kohesivitas (*cohesiveness*) bahan serbuk atau granula (Prabhakar et al. 2025). CI merepresentasikan tingkat kompresibilitas serbuk, di mana nilai yang lebih tinggi menandakan penurunan kemampuan alir, sedangkan HR menggambarkan sejauh mana partikel dalam bahan cenderung saling melekat (Ribeiro et al. 2020). Tabel 1 menunjukkan nilai HR gula semut berada dalam rentang 1,05–1,51. Menurut klasifikasi standar, HR < 1,2 menunjukkan kohesivitas rendah, HR 1,2–1,4 dikategorikan sebagai kohesif sedang (*intermediate cohesive*), sementara HR > 1,4 termasuk kategori kohesif tinggi (López-Córdoba and Goyanes 2017). Dengan demikian, gula semut pada kadar air 2,06% memiliki kohesivitas rendah (HR = 1,05), namun meningkat menjadi kategori kohesif sedang hingga tinggi pada kadar air 3,87–7,15% (HR = 1,24–1,51).

Tabel 1 Nilai Carr Indeks dan Hausner Ratio

Kadar Air (%wb)	*Carr Index*	*Hausner ratio*
2.06	4.55 ± 1.13^{d}	1.05 ± 0.01^{e}
3.87	14.69 ± 1.51^{c}	1.17 ± 0.02^{d}
5.42	22.20 ± 1.25^{b}	1.29 ± 0.0208^{c}
5.98	25.43 ± 1.74^{b}	1.34 ± 0.03^{b}
7.15	33.74 ± 0.45^{a}	1.51 ± 0.01^{a}

Keterangan: angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf berbeda menunjukkan berbeda nyata pada taraf 5%

Hasil uji statistik menunjukkan bahwa variasi kadar air memberikan pengaruh nyata terhadap nilai CI dan HR gula semut ($p<0,05$), sebagaimana ditunjukkan oleh perbedaan huruf pada Tabel 1. Nilai CI meningkat dari 4,55 ± 1,13 pada kadar air 2,06% menjadi 33,74 ± 0,45 pada kadar air 7,15%, sedangkan nilai HR meningkat dari 1,05 ± 0,01 menjadi 1,51 ± 0,01. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar air cenderung meningkatkan kompresibilitas dan kohesivitas gula semut. Namun demikian, pada nilai CI antara kadar air 5,42% dan 5,98% tidak menunjukkan perbedaan nyata, sehingga peningkatan kadar air pada kisaran tersebut belum menghasilkan perubahan kompresibilitas yang signifikan secara statistik.

Tabel 2 Profil warna gula semut pada berbagai variasi kadar air

Kadar Air (%wb)	L	a	b	Hue
2.06	49.81	14.58	33.24	68.05
3.87	53.29	13.73	34.40	68.58
5.42	52.79	12.33	32.49	68.93
5.98	51.12	13.33	33.68	68.36
7.15	46.53	13.67	33.47	66.09

Keterangan: *L**(*lightness*) kisaran 0 (hitam) hingga 100 (putih), *a** (*redness/greenness*) dan *b** (*yellowness/blueness*) a* > 0 dan b* > 0 berada pada rentang 0°–90°, a* < 0 dan b* > 0 pada rentang 90°–180°, a* < 0 dan b* < 0 pada rentang 180°–270°, serta a* > 0 dan b* < 0 pada rentang 270°–360°

Peningkatan kadar air menunjukkan hubungan positif yang sangat kuat ($p < 0,05$) dengan nilai HR, dengan koefisien korelasi sebesar r = 0,9780 dan koefisien determinasi R^2 = 0,9566. Hal ini menunjukkan bahwa 95,66% variasi HR dapat dijelaskan oleh perubahan kadar air. Secara mekanistik, fenomena ini diduga berkaitan dengan terbentuknya *liquid bridge* antar partikel akibat meningkatnya kelembapan, sehingga gaya kohesif antar partikel bertambah dan aliran serbuk menjadi kurang lancar (Chinwan and Castell-Perez 2019, Suhag et al. 2024). Berdasarkan klasifikasi HR, gula semut pada kadar air 2,06% tergolong memiliki kohesivitas rendah, sedangkan pada kadar air 3,87–5,98% tergolong kohesif sedang, dan pada kadar air 7,15% telah masuk kategori kohesif tinggi. Temuan ini menegaskan bahwa peningkatan kadar air menurunkan *flowability* dan meningkatkan kecenderungan penggumpalan pada gula semut.

Pada kadar air rendah, nilai densitas curah dan densitas ketuk relatif mendekati satu sama lain, sehingga selisih kedua densitas tersebut kecil. Kondisi ini menyebabkan nilai CI dan HR rendah, yang menunjukkan bahwa sifat alir serbuk relatif lebih baik. Sebaliknya, pada kadar air yang lebih tinggi, perbedaan antara densitas curah dan densitas ketuk meningkat, sehingga nilai CI dan HR juga meningkat, yang mengindikasikan penurunan *flowability* serbuk (Meghwal et al. 2024).

Nilai CI gula semut menunjukkan pola yang sejalan dengan HR, meningkat dari 4,55% pada kadar air 2,06% menjadi 33,61% pada kadar air 7,15%. Menurut klasifikasi *flowability*, CI < 15% mengindikasikan aliran sangat baik (*excellent flow*), 15–25% dikategorikan aliran baik hingga sedang (*good to fair flow*), sedangkan CI > 25% menunjukkan aliran buruk (*poor flow*) (Neikov and Yefimov 2019). Dengan demikian, gula semut dengan kadar air rendah memiliki kemampuan alir yang baik, namun pada kadar air tinggi sifat alirnya menurun secara signifikan.

Hasil ini mengindikasikan bahwa pengendalian kadar air menjadi faktor kritis dalam menjaga kualitas fisik gula semut. Kadar air yang terlalu tinggi meningkatkan kohesivitas dan menurunkan *flowability*, yang pada praktiknya dapat menimbulkan masalah selama pengemasan, pencampuran, maupun transportasi, serta memperbesar risiko terjadinya penggumpalan. Berdasarkan penelitian ini, untuk mendapatkan nilai HR kategori rendah dan CI sangat baik, maka kadar air gula semut harus < 2,06%.

Pengaruh Kadar Air terhadap nilai *L, *a**, *b****

Warna didefinisikan sebagai respon mata manusia terhadap panjang gelombang cahaya tampak (390–760 nm) dan dapat digunakan tidak hanya sebagai indikator estetika, tetapi juga sebagai petunjuk adanya perubahan kimiawi maupun biokimiawi yang terjadi selama proses pengolahan maupun penyimpanan (Salehi and Kashaninejad 2018).

Hasil pengukuran pada Tabel 1 menunjukkan bahwa parameter warna L*, a*, dan b* berfluktuasi pada berbagai kadar air, yang mengindikasikan bahwa perubahan warna gula semut tidak berlangsung secara linier seiring peningkatan kadar air. Nilai L* cenderung meningkat pada kadar air rendah hingga sedang, namun menurun pada kadar air yang lebih tinggi hingga mencapai 46,53, yang menunjukkan penurunan tingkat kecerahan produk. Sementara itu, nilai a* yang seluruhnya positif (12,33–14,58) menunjukkan dominansi warna merah yang relatif tetap, sedangkan nilai b* yang juga seluruhnya positif (32,49–34,40) menunjukkan dominansi warna kuning yang lebih kuat dibandingkan komponen merah. Fluktuasi ketiga parameter warna ini diduga berkaitan dengan perubahan sifat fisik partikel akibat peningkatan kadar air, seperti penggumpalan dan perubahan kemampuan

permukaan dalam memantulkan cahaya, serta kemungkinan berlangsungnya reaksi pencoklatan nonenzimatis yang berkontribusi terhadap penurunan kecerahan dan perubahan intensitas warna produk (Jung et al. 2018, Frank et al. 2023).

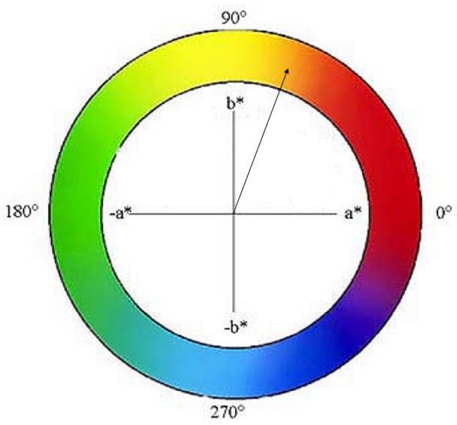
Analisis regresi berganda antara kadar air dengan nilai *L**, *a**, dan *b** menghasilkan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9843, yang menunjukkan bahwa 98,43% variasi kadar air dapat dijelaskan oleh kombinasi ketiga parameter warna tersebut. Hubungan matematis yang diperoleh, yaitu kadar air (%) = 25,74 - 0,66*L* - 2,95*a* + 1,58*b*. Hasil tersebut menggambarkan bahwa kontribusi paling besar terhadap variasi kadar air berasal dari penurunan nilai *L**, diikuti oleh parameter *a**, sementara *b** berperan dalam arah sebaliknya. Dengan demikian, nilai *L** dapat dianggap sebagai indikator paling sensitif untuk mendeteksi perubahan kadar air pada gula semut. Perubahan kadar air pada bahan pangan diketahui dapat mempengaruhi sifat optik produk sehingga tercermin pada perubahan parameter warna *L**, *a**, dan *b** yang sering digunakan sebagai indikator perubahan kualitas selama pengolahan maupun penyimpanan (Hong et al. 2024).

Implikasi praktis dari hasil ini adalah bahwa pengendalian kadar air sangat krusial untuk mempertahankan kualitas visual gula semut. Produk dengan kadar air tinggi berpotensi mengalami penurunan kecerahan yang signifikan, yang dapat menurunkan nilai estetika sekaligus persepsi mutu konsumen. Oleh karena itu, menjaga kadar air pada level optimal (<2,06% wb) direkomendasikan agar warna produk tetap cerah dan menarik, serta konsisten dengan standar mutu produk gula semut menurut SNI SNI 3743:2021 (Badan Standardisasi Nasional 2021).

Pengaruh Kadar Air terhadap Hue *angle* dan ΔE

Hue *angle* (derajat hue) merupakan parameter penting dalam sistem warna CIELab yang digunakan untuk menentukan rona dominan suatu produk pangan, dihitung berdasarkan koordinat a* dan b*. Nilai ini biasanya direpresentasikan dalam bentuk roda warna (Gambar 3), yang membagi ruang warna ke dalam empat kuadran utama: merah (+a*), hijau (–a*), kuning (+b*), dan biru (–b*). Berdasarkan hasil perhitungan (Tabel 3), hue *angle* gula semut pada berbagai variasi kadar air berada pada kisaran 66–68°, yang menempatkannya pada kuadran I dengan rona kuning kecokelatan. Hal ini sesuai dengan karakteristik visual gula semut komersial, dimana warna cokelat kekuningan dihasilkan dari reaksi pencoklatan non-enzimatis seperti Maillard reaction dan karamelisasi selama proses pemasakan nira. Reaksi Maillard terjadi antara gula pereduksi dan gugus amino dari protein saat pemanasan nira, yang berkontribusi terhadap perubahan warna gula (Badan Standardisasi Nasional 2021). Nilai derajat hue yang lebih rendah pada kadar air tinggi menunjukkan bahwa warna gula semut cenderung bergeser dari kuning ke arah kuning kecokelatan. Hal ini diduga karena kadar air yang lebih tinggi mempercepat perubahan fisik dan kimia produk, seperti penggumpalan dan pencoklatan nonenzimatis, sehingga komponen warna kuning menjadi kurang dominan dan nilai hue menurun. Dengan demikian, kadar air yang tinggi menunjukkan kecenderungan warna gula semut menjadi lebih gelap (Salehi and Kashaninejad 2018, Jung et al. 2018, Bou-maroun 2025)

Selain itu, perbedaan warna total (*total color difference*, ΔE) dihitung untuk mengevaluasi sejauh mana perubahan warna dapat diamati secara visual. Nilai ΔE yang diperoleh berada pada kisaran 2,87–3,81, yang menurut kriteria visual dapat dikategorikan dalam tingkat "terlihat baik/jelas" (3,0–6,0) (Ciobanu et al. 2024). Dengan demikian, variasi kadar air terbukti menghasilkan perbedaan warna gula semut yang nyata secara visual, meskipun tidak sampai ke tingkat perubahan ekstrem. Kenaikan ΔE pada kadar air 3,87% (ΔE = 3,77) dan 5,42% (ΔE = 3,81) mengindikasikan bahwa pada kadar air menengah terjadi perubahan visual yang paling jelas dibandingkan dengan sampel kontrol (2,06%), sedangkan nilai ΔE yang relatif lebih rendah pada 5,98% dan 7,15% mengisyaratkan stabilisasi rona warna pada kadar air lebih tinggi (Kurniawan 2020, Cui et al. 2024, Han et al. 2025)



Gambar 3 Roda warna *hue angle* (White et al. 2003)

Sementara itu, perbedaan warna total ΔE seperti yang ditentukan oleh persamaan (4), umumnya digunakan untuk mengevaluasi besarnya perubahan warna gula semut secara keseluruhan dibandingkan sampel awal (t = 0). Nilai ini dapat digunakan untuk melihat adanya perbedaan atau perubahan warna gula semut selama penyimpanan, dan menunjukkan apakah perbedaan ini terlihat atau tidak. Perbedaan warna tersebut dapat diklasifikasikan secara analitis sebagai tidak terlihat (0–0,5), sedikit terlihat (0,5–1,5), terlihat (1,5–3,0), terlihat baik/jelas (3,0–6,0) dan sangat terlihat baik (>6,0) (Ciobanu et al. 2024). Nilai ΔE pada penelitian ini berada pada kisaran 2,87–3,81, yang menunjukkan bahwa perbedaan warna akibat variasi kadar air termasuk dalam kategori terlihat hingga terlihat jelas secara visual. Fenomena ini berkaitan erat dengan perubahan derajat kecerahan (L*). Penurunan nilai L* menunjukkan bahwa warna gula semut menjadi semakin gelap, sehingga jarak warna total terhadap sampel acuan semakin besar dan tercermin pada peningkatan nilai ΔE. Dengan kata lain, perubahan kecerahan merupakan salah satu komponen utama yang berkontribusi terhadap TCD. Oleh karena itu, kenaikan kadar air tidak hanya menurunkan kecerahan gula semut, tetapi juga menyebabkan perubahan warna total yang dapat dibedakan secara visual oleh mata.

Tabel 3 Profil warna gula semut pada berbagai variasi kadar air

Kadar Air (%wb)	Hue	ΔE
2.06	68.05	0.00
3.87	68.58	3.77
5.42	68.93	3.81
5.98	68.36	2.87
7.15	66.09	3.41

KESIMPULAN

Variasi kadar air berpengaruh terhadap sifat fisik gula semut, khususnya densitas curah, densitas ketuk, dan karakteristik warna. Peningkatan kadar air menyebabkan perubahan densitas serta perbedaan warna yang dapat diamati secara visual. Berdasarkan nilai Hausner Ratio, gula semut dengan kadar air 2,06–7,15% tergolong sebagai granula dengan sifat kohesif sedang. Warna gula semut berada pada *hue angle* kuadran I yang menunjukkan karakteristik kuning kecokelatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air optimal untuk memperoleh sifat alir yang baik berada pada <2,06%. Hasil ini menunjukkan bahwa pengendalian kadar air merupakan faktor penting dalam menjaga kualitas fisik gula semut selama penyimpanan dan distribusi. Temuan ini menunjukkan adanya hubungan yang kuat antara kadar air dengan sifat fisik gula semut, namun diperlukan analisa lanjutan mengenai mekanisme yang mendasari serta memvalidasi pada kondisi dan sampel yang lebih beragam.

DAFTAR PUSTAKA

Akseli, I., J. Hilden, J. M. Katz, R. C. Kelly, T. T. Kramer, C. Mao, F. Osei-Yeboah, and J. C. Strong. 2019. Reproducibility of the Measurement of Bulk/Tapped Density of Pharmaceutical Powders Between Pharmaceutical Laboratories. Journal of Pharmaceutical Sciences 108(3):1081–1084. https://doi.org/10.1016/j.xphs.2018.10.009

Alam, M., M. Biswas, M. M. Hasan, M. F. Hossain, M. A. Zahid, M. S. Al-Reza, and T. Islam. 2023. Quality attributes of the developed banana flour: Effects of drying methods. Heliyon 9(7):e18312. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18312

Amidon, G. E., P. J. Meyer, and D. M. Mudie. 2017. Chapter 10 - Particle, Powder, and Compact Characterization. Pages 271–293 *in* Y. Qiu, Y. Chen, G. G. Z. Zhang, L. Yu, and R. V. B. T.-D. S. O. D. F. (Second E. Mantri, editors. Academic Press, Boston. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802447-8.00010-8

AOAC. 2016. *Official Method of Analysis: Moisture and Ash. Association of Official Analytical Chemists*. 20th edition. The Association of Official Analytical Chemist. Inc., Arlington.

Badan Standardisasi Nasional. 2021. *SNI Gula Palma 3743 2021*. Jakarta.

Bou-maroun, E. 2025. Maillard Reaction : Mechanism , Influencing Parameters , Advantages , Disadvantages , and Food Industrial Applications : A Review. :1–43.

Chinwan, D., and M. E. Castell-Perez. 2019. Effect of conditioner and moisture content on flowability of yellow cornmeal. Food Science and Nutrition 7(10):3261–3272. https://doi.org/10.1002/fsn3.1184

Ciobanu, M. M., M. C. Ciobotaru, I. Gucianu, P. C. Boișteanu, and D. R. Manoliu. 2024. Impact of Bone Broth on Protein Content, Color, and Consumer Preferences in Emulsified Chicken and Turkey Frankfurters. Scientific Papers. Series D. Animal Science LXVII(1):395–403.

Cui, G., T. Wang, Z. Cai, J. Liu, Y. Hu, Q. Wang, and T. Liu. 2024. Comprehensive Analysis of Physicochemical Properties and Sensory Attributes of Original-Cut Potato Chips in the Chinese Market. :1–15.

Fact. MR. 2025. Palm sugar market size and share forecast outlook 2025 to 203. https://www.factmr.com/report/palm-sugar-market

Feti, F., J. Junardi, A. Tritisari, and A. Andiyono. 2023. KARAKTERISTIK GULA SEMUT NIRA TEBU DENGAN PENAMBAHAN PENGAWET ALAMI. Jurnal Agroindustri Pangan 2(2):44–55. https://doi.org/10.47767/agroindustri.v2i2.542

Frank, J., T. V Raiber, L. Grotenhoff, and R. Kohlus. 2023. Development of In-Line Measurement Techniques for Monitoring Powder Characteristics in a Multi-Stage Spray Drying Process.

Han, M., H. Zhao, Z. Liu, J. Liu, X. Liu, F. Hang, and K. Li. 2025. Color Development Characteristic and Kinetic Modeling of Maillard Reaction in Membrane-Clarified Sugarcane Juice During Vacuum Evaporation Process. :1–20.

Handayani, P. A., F. S. Pribadi, R. Rusiyanto, S. Sariyoga, M. R. Putri, and R. Andriyani. 2022. INOVASI PRODUK GULA AREN CETAK MENJADI GULA SEMUT UNTUK MENINGKATKAN NILAI JUAL. Jurnal Pengabdian Dinamika 9(1):87. https://doi.org/10.62870/dinamika.v9i1.17347

Hazra, A., and N. Gogtay. 2016. Biostatistics Series Module 6: Correlation and Linear Regression. Indian journal of dermatology 61(6):593–601. https://doi.org/10.4103/0019-5154.193662

Heryani, H. 2016. *Keutamaan Gula Aren & Strategi Pengembangan Produk*. Lambung Mangkurat University Press, Banjarmasin.

Hong, S.-I., H.-H. Lee, and J.-W. Rhim. 2024. Effects of moisture content and packaging on color stability of red pepper (Capsicum annuum L.) powder. Food Science and Biotechnology 33(12):2797–2806. https://doi.org/10.1007/s10068-024-01604-1

Huynh, D., T. Le, W. Lu, and P. Li. 2020. Sustainable Processes and Chemical Characterization of Natural Food Additives : Palmyra Palm (Borassus Flabellifer Linn .) Granulated Sugar. sustainability 12(2650):1–21.

Id, C. E., J. Manuel, I. Loira, and A. Su. 2018. Zygosaccharomyces rouxii : Control Strategies and Applications in Food and Winemaking. :1–12. https://doi.org/10.3390/fermentation4030069

Juarez-Enriquez, E., G. I. Olivas, P. B. Zamudio-Flores, E. Ortega-Rivas, S. Perez-Vega, and D. R. Sepulveda. 2017. Effect of water content on the flowability of hygroscopic powders. Journal of Food Engineering 205:12–17. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.02.024

Jung, H., Y. Lee, and W. Yoon. 2018. Effect of Moisture Content on the Grinding Process and Powder Properties in Food: A Review. Processes 6(6):69. https://doi.org/10.3390/pr6060069

Karseno, Erminawati, Tri Yanto, R. Setyawati, and P. Haryanti. 2018. Effect of pH and temperature on browning intensity of coconut sugar and its antioxidant activity. Food Research 2(1):32–38. https://doi.org/10.26656/fr.2017.2(1).175

Kurniawan, H., S. Rahayoe, and H. Z. Amnah. 2025. Processing and Quality of Crystalized Palm Sugar in Indonesia: A Review. Jurnal Teknik Pertanian Lampung 14(4):1517–1533. https://doi.org/10.23960/jtep-l.v14i4.1517-1533

Kurniawan, H. 2020. Pengaruh Kadar Air Terhadap Nilai Warna Cie Pada Gula Semut. Jurnal Teknik Pertanian Lampung 9(3):213–221. https://doi.org/10.23960/jtep-l.v9.i3.213-221

Kurniawan, H., N. Bintoro, and J. N. W.K. 2018. Pendugaan Umur Simpan Gula Semut Dalam Kemasan Dengan Pendekatan Arrhenius (Shelf Life Prediction of Palm Sugar on Packaging using Arrhenius

Equation). Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem 6(1):93–99. https://doi.org/10.29303/jrpb.v6i1.68

Kurniawan, H., K. R. Septiyana, M. Adnand, I. Adriansyah, and H. Nurkayanti. 2020. Karakteristik Pengeringan Gula Semut Menggunakan Alat Pengering Silinder Tipe Rak. Rona Teknik Pertanian 13(2):1–13. https://doi.org/10.17969/rtp.v13i2.17284

López-Córdoba, A., and S. Goyanes. 2017. Food Powder Properties. Reference Module in Food Science:1–7. https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.21198-0

M, C. S. R., S. Dv, P. Ashok, S. Suneetha, S. Rv, and V. Sekhar. 2021. Influence of packing material and storage conditions in extending shelf life and quality attributes of Palmyrah (Borassus flabellifer L .) Jaggery. The Pharma Innovation Journal 10(6):1049–1053.

Malmgren, A., and G. B. T.-R. M. in E. S. and E. S. Riley. 2018. Biomass Power Generation☆. Elsevier. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11014-0

Meghwal, M., C. Lekhwar, Y. Kumar, V. Kumar, R. Suhag, and P. K. Prabhakar. 2024. Modulation of Physical and Thermal Properties in Wild Banana (Musa balbisiana Colla) Seed Powder by Moisture Variations. International Journal of Food Science 2024:1–11. https://doi.org/10.1155/2024/8846365

Musita, N. 2019. Pengembangan Produk Gula Semut dari Aren dengan Penambahan Bubuk Rempah. Warta Industri Hasil Pertanian 36(2):106. https://doi.org/10.32765/wartaihp.v36i2.5212

Neikov, O. D., and N. A. Yefimov. 2019. *Powder Characterization and Testing*. *Handbook of Non-Ferrous Metal Powders*. Second edition. Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100543-9.00001-4

Phuon, V., I. N. Ramos, T. R. S. Brandão, and C. L. M. Silva. 2022. Assessment of the impact of drying processes on orange peel quality characteristics. Journal of Food Process Engineering 45(7). https://doi.org/10.1111/jfpe.13794

Plotnikova, I. V, I. M. Zharkova, G. O. Magomedov, M. G. Magomedov, A. A. Khvostov, and E. N. Miroshnichenko. 2021. Forecasting and quality control of confectionery products with the use of “water activity” indicator. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 640(6):062003. https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/6/062003

Pontoh, J. 2016. Pengembangan Metode Analisa Warna Gula Aren. Buletin Palma 15(2):150–153. https://doi.org/10.21082/bp.v15n2.2014.150-153

Prabhakar, P. K., S. Yadav, Y. Kumar, R. Suhag, and G. Ferrentino. 2025. Fruit–Vegetable–Herb Blend-Based Polyphenol-Rich Food Powder: Physicochemical, Functional, Antioxidant, and Sensory Evaluation. International Journal of Food Science 2025(1). https://doi.org/10.1155/ijfo/1373291

Prastiani, I., O. Nawansih, T. Setiawan, and H. Al Rasyid. 2024. Keragaman Mutu Gula Semut yang Beredar di Wilayah Bandar Lampung berdasarkan SNI 01-3743-1995. Jurnal Agroindustri Berkelanjutan 3(2):231–242.

Prawira-Atmaja, M. I., S. Haryanto, H. Maulana, S. Shabri, and Dr. D. Rohdiana. 2019. Karakteritik sifat alir bubuk teh hijau yang diproses dengan metode penepung berbeda. Jurnal Sains Teh dan Kina 21(2):85–95. https://doi.org/10.22302/pptk.jur.jptk.v21i2.147

Ribeiro, L. C., J. M. C. da Costa, and M. R. A. Afonso. 2020. Flow behavior of cocoa pulp powder containing maltodextrin. Brazilian Journal of Food Technology 23. https://doi.org/10.1590/1981-6723.03420

Ritonga, A. M., M. Masrukhi, and S. Siswantoro. 2020. Pendugaan Umur Simpan Gula Kelapa Kristal Menggunakan Metode Akselerasi Berdasarkan Pendekatan Kadar Air Kritis. Jurnal Teknologi Pertanian 21(1):11–18. https://doi.org/10.21776/ub.jtp.2020.021.01.2

Sahat, S. F. 2017. WARTA EKSPOR Peluang Ekspor Gula Semut. Kementrian Perdagangan Republik Indonesia:1–20.

Salehi, F., and M. Kashaninejad. 2018. Modeling of moisture loss kinetics and color changes in the surface of lemon slice during the combined infrared-vacuum drying. Information Processing in Agriculture 5(4):516–523. https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.05.006

Savlak, N., B. Türker, and N. Yeşilkanat. 2016. Effects of particle size distribution on some physical, chemical and functional properties of unripe banana flour. Food Chemistry 213(October 2014):180–186. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.064

Siska, A. I., E. N. Sari, and M. H. A. Shidiqi. 2025. Peningkatan Mutu dan Higiene Gula Semut melalui Inovasi Alat Pengering (Solar Dryer Dome) di Agroindustri Banyuwangi. I-Com: Indonesian Community Journal 5(4):2221–2230. https://doi.org/10.70609/i-com.v5i4.8291

Suhag, R., A. Kellil, and M. Razem. 2024. Factors Influencing Food Powder Flowability. Powders 3(1):65–76. https://doi.org/10.3390/powders3010006

Tharanon, W., Y. Guo, J. Peerapattana, and C. Calvin. 2024. A systematic comparison of four pharmacopoeial methods for measuring powder flowability. International Journal of Pharmaceutics 661(April):124454. https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2024.124454

Wang, H., J. Tang, J. Lv, X. Wang, and H. Sun. 2024. Physiological and transcriptomic insights into sugar stress resistance in osmophilic yeast Zygosaccharomyces rouxii. Food Microbiology 117:104395. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fm.2023.104395

White, S. A., J. G. Latimer, H. L. Scoggins, and R. P. Marini. 2003. Nutrition and Plant Growth Regulator Rates for High Quality Growth of Containerized Spiderwort (Tradescantia virginiana L .) Nutrition and Plant Growth Regulator Rates for High Quality Growth of Containerized Spiderwort (Tradescantia virginiana L .).

Wilberta, N., N. T. Sonya, and S. H. R. Lydia. 2021. Analisis Kandungan Gula Reduksi Pada Gula Semut dari Nira Aren Yang Dipengaruhi pH dan Kadar Air. BIOEDUKASI (Jurnal Pendidikan Biologi) 12(1):101. https://doi.org/10.24127/bioedukasi.v12i1.3760