

KRISTALISASI GULA DAN PENGARUHNYA TERHADAP MUTU PRODUK PANGAN

Zahra Nurul Fadila¹, Alifia Al-firdausy², Mutiara Az-zhari Wijaya³, Wilna Iznillah⁴

¹Fakultas Ilmu Pangan Halal, zahranurul0503@gmail.com

²Fakultas Ilmu Pangan Halal, alifhiaalfrd@gmail.com

³Fakultas Ilmu Pangan Halal, tiarazzhr2124@gmail.com

⁴Fakultas Ilmu Pangan Halal, wilna.iznilillah@unida.ac.id

ABSTRAK

Kristalisasi gula merupakan proses fundamental dalam industri pangan yang mempengaruhi mutu produk akhir secara signifikan. Proses ini melibatkan perubahan gula dari fase larutan menjadi kristal padat melalui mekanisme nukleasi dan pertumbuhan kristal. Meskipun kristalisasi telah lama diterapkan dalam industri gula, pemahaman mendalam tentang faktor-faktor yang mempengaruhi proses ini dan dampaknya terhadap mutu produk masih perlu dikaji lebih lanjut. Review ini bertujuan untuk menganalisis mekanisme kristalisasi gula, faktor-faktor yang mempengaruhi proses kristalisasi, serta dampaknya terhadap mutu berbagai produk pangan berbasis gula. Metode yang digunakan adalah kajian literatur sistematis terhadap lima jurnal penelitian terkait kristalisasi gula dari berbagai perspektif aplikasi. Hasil kajian menunjukkan bahwa proses kristalisasi dipengaruhi oleh beberapa faktor utama meliputi temperatur (30-50°C), kecepatan pengadukan (200-400 rpm), pH larutan (6-7), konsentrasi larutan, dan kualitas bahan baku. Kinetika kristalisasi larutan gula tebu menunjukkan faktor frekuensi (Kg,0) sebesar 0,0093-0,0109 menit⁻¹, energi aktivasi (EG) 1,9253 KJ/mol, dan orde kristalisasi (g) 0,5837. Kristalisasi yang terkontrol menghasilkan produk dengan mutu superior, seperti gula kristal putih dengan nilai warna kristal 2,85-3,50 CT dan warna larutan 43,3-80 IU menggunakan teknologi defekasi remelt karbonatasi, dibandingkan 6,6-7,2 CT dan 118-201 IU dengan teknologi sulfitasi. Pada produksi gula kelapa kristal, pengendalian kristalisasi yang tepat menghasilkan produk dengan kadar air rendah (<3%), indeks glikemik 35-44, dan kelarutan tinggi. Ketidakterkendalian proses kristalisasi menyebabkan cacat produk meliputi perubahan warna (35,22%), kadar air berlebih (33%), dan kebersihan (32%). Batasan kajian ini terletak pada keterbatasan data kuantitatif mengenai korelasi langsung parameter kristalisasi dengan atribut mutu spesifik produk. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pengendalian kristalisasi melalui optimasi parameter proses sangat penting untuk menghasilkan produk gula berkualitas tinggi dengan karakteristik fisikokimia dan organoleptik yang diinginkan. Implikasi praktisnya adalah perlunya penerapan teknologi proses yang tepat dan sistem pengendalian kualitas berbasis statistik untuk menjamin konsistensi mutu produk gula.

Kata Kunci: kristalisasi gula, kinetika kristalisasi, pengendalian kualitas, mutu produk pangan, gula kristal

PENDAHULUAN

Gula merupakan salah satu komoditas pangan strategis yang memiliki peran penting dalam industri pangan sebagai pemanis alami dan bahan baku berbagai produk olahan (Hartanto, 2014). Proses kristalisasi menjadi tahapan kritis dalam produksi gula yang menentukan karakteristik mutu produk akhir, termasuk warna, ukuran kristal, kemurnian, dan daya simpan. Kristalisasi adalah proses dimana butir-butir padat terbentuk dari suatu fase homogen melalui mekanisme nukleasi dan pertumbuhan kristal (Jumari et al., 2003).

Di Indonesia, industri gula menghadapi tantangan dalam menjaga konsistensi kualitas produk sesuai standar yang berlaku, khususnya SNI 3140.3:2010 untuk Gula Kristal Putih (Aulia & Winursito, 2025). Permasalahan mutu yang sering terjadi meliputi variasi warna kristal, kadar air berlebih, dan tingkat kebersihan yang tidak konsisten. Sebagian besar pabrik gula di Indonesia masih menggunakan teknologi sulfitasi yang menghasilkan produk dengan mutu yang kurang optimal dibandingkan teknologi karbonatasi modern (Hartanto, 2014).

Pemahaman mendalam tentang kinetika kristalisasi dan faktor-faktor yang mempengaruhinya sangat penting untuk mendesain dan mengoperasikan sistem kristalisasi yang optimal (Jumari et al., 2003). Parameter-parameter kinetik seperti faktor frekuensi, energi aktivasi, dan orde kristalisasi perlu dipahami untuk dapat mengendalikan laju pembentukan dan perbesaran kristal. Selain itu, berbagai jenis gula seperti gula kelapa kristal menunjukkan karakteristik kristalisasi yang berbeda dan memiliki keunggulan tersendiri dibandingkan gula tebu konvensional (Mela et al., 2020).

Review ini bertujuan untuk: (1) menganalisis konsep dan mekanisme kristalisasi gula, (2) mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi proses kristalisasi, (3)

mengevaluasi pengaruh kristalisasi terhadap mutu berbagai produk gula, dan (4) mengkaji aplikasi pengendalian kualitas dalam proses kristalisasi. Kajian ini diharapkan memberikan kontribusi dalam pemahaman komprehensif tentang kristalisasi gula dan implikasinya terhadap mutu produk pangan.

METODE PENELITIAN

Review jurnal ini menggunakan metode kajian literatur sistematis terhadap lima artikel penelitian yang relevan dengan topik kristalisasi gula dan pengaruhnya terhadap mutu produk pangan. Artikel-artikel yang dikaji meliputi: (1) Jumari et al. (2003) tentang kinetika kristalisasi larutan gula pada pembuatan gula tebu, (2) Kurniawan et al. (2025) tentang proses dan mutu gula kelapa kristal di Indonesia, (3) Hartanto (2014) tentang peningkatan mutu gula kristal putih melalui teknologi defekasi remelt karbonatasi, (4) Aulia & Winursito (2025) tentang analisis pengendalian kualitas gula kristal putih menggunakan metode Statistical Quality Control, dan (5) Mela et al. (2020) tentang gula kelapa kristal dan potensi pemanfaatannya pada produk minuman.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui ekstraksi informasi dari setiap artikel meliputi: tujuan penelitian, metodologi yang digunakan, parameter kristalisasi yang dikaji, hasil penelitian utama, dan implikasi terhadap mutu produk. Data yang diekstrak kemudian diorganisasikan berdasarkan tema-tema utama: konsep kristalisasi, mekanisme kristalisasi, faktor-faktor yang mempengaruhi kristalisasi, dan pengaruh kristalisasi terhadap mutu produk.

Analisis data dilakukan secara deskriptif-komparatif dengan membandingkan temuan dari berbagai penelitian untuk mengidentifikasi pola, konsistensi, dan perbedaan dalam proses kristalisasi dan dampaknya terhadap mutu produk. Sintesis dilakukan untuk mengintegrasikan temuan-temuan dari berbagai sumber menjadi pemahaman yang komprehensif tentang kristalisasi gula dalam konteks mutu produk pangan. Pendekatan kualitatif digunakan untuk menginterpretasikan data dan menarik

kesimpulan tentang hubungan antara parameter kristalisasi dengan karakteristik mutu produk.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Konsep dan Mekanisme Kristalisasi Gula

Kristalisasi merupakan proses fundamental dalam produksi gula yang melibatkan transformasi gula terlarut menjadi kristal padat. Menurut Jumari et al. (2003), kristalisasi adalah suatu proses dimana butir-butir padat terbentuk dari suatu fase homogen, dimana larutan dipekatkan dan didinginkan sampai konsentrasi larutan menjadi lebih besar dari kelarutannya pada suhu tersebut. Proses ini berlangsung melalui dua tahap utama: nukleasi (pembentukan inti kristal) dan pertumbuhan kristal.

Mekanisme kristalisasi dapat dijelaskan melalui Boundary Layer Theory yang menguraikan bahwa pertumbuhan kristal dari larutan lewat jenuh terjadi ketika zat terlarut meninggalkan larutan pada lapisan antara cairan-kristal dan bergabung ke kristal (Jumari et al., 2003). Proses kristalisasi dapat dibagi menjadi tahap-tahap dasar: perpindahan zat dari larutan ke lapisan difusi, difusi zat melewati lapisan difusi, penggabungan partikel zat ke kristal, dan pembuangan panas yang terjadi selama pertumbuhan kristal dari kristal ke induk larutan.

Kecepatan pertumbuhan kristal total ditentukan oleh kecepatan terendah dari masing-masing proses tersebut. Jumari et al. (2003) menjelaskan bahwa kecepatan pertumbuhan kristal dapat dirumuskan melalui persamaan $-dmc/dt = K_g \Delta C^g$, dimana K_g adalah konstanta kecepatan pertumbuhan kristal, ΔC adalah supersaturasi, dan g adalah orde kristalisasi. Konstanta K_g tergantung pada temperatur dan mengikuti persamaan Arrhenius: $K_g = K_{g,0} \exp(-E_g/RT)$, dimana $K_{g,0}$ adalah faktor frekuensi, E_g adalah energi aktivasi, R adalah konstanta gas ideal, dan T adalah temperatur.

Dalam konteks produksi gula kelapa kristal, Kurniawan et al. (2025) menjelaskan bahwa proses kristalisasi dimulai setelah nira kelapa atau larutan gula cetak dipanaskan hingga mencapai tingkat kepekatan tertentu. Tahap kristalisasi (granulasi) dilakukan

dengan mendinginkan dan mengaduk sirup kental secara terus-menerus hingga terbentuk kristal. Mela et al. (2020) menambahkan bahwa akhir pemasakan dapat diidentifikasi secara visual ketika nira yang dipanaskan menggumpal dan tidak bercampur dengan air jika dituang ke dalam air dingin, atau ketika jatuhnya dari sendok membentuk benang-benang.

b. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kristalisasi

Penelitian Jumari et al. (2003) mengidentifikasi beberapa faktor utama yang mempengaruhi kinetika kristalisasi gula tebu. Temperatur merupakan faktor kritis, dimana penelitian dilakukan pada rentang suhu 30-50°C. Hasil menunjukkan bahwa pada temperatur kristalisasi yang semakin tinggi, ΔC (supersaturasi) menunjukkan harga yang semakin rendah karena konsentrasi jenuh larutan gula semakin besar terhadap kenaikan temperatur.

Kecepatan pengadukan juga berpengaruh signifikan terhadap proses kristalisasi. Jumari et al. (2003) menemukan bahwa pada kecepatan putar 400 rpm, nilai faktor frekuensi ($K_{g,0}$) sebesar 0,0109 menit^{-1} lebih besar dibandingkan 200 rpm yang menghasilkan 0,0093 menit^{-1} . Pengadukan yang lebih cepat menyebabkan partikel-partikel kristal terdistribusi secara merata membentuk suspensi yang homogen, sehingga mempermudah transfer massa dari larutan ke kristal karena permukaan interface lebih luas.

Parameter kinetik kristalisasi yang diperoleh Jumari et al. (2003) menunjukkan energi aktivasi (EG) sebesar 1,9253 KJ/mol dan orde kristalisasi (g) sebesar 0,5837. Nilai energi aktivasi yang kurang dari 42 KJ/mol mengindikasikan bahwa proses kristalisasi dikontrol oleh transfer massa, yang terdiri dari dua langkah: difusi partikel gula pada lapisan antara kristal-larutan serta penggabungan partikel gula ke kristal.

Kualitas bahan baku merupakan faktor fundamental yang mempengaruhi keberhasilan kristalisasi. Kurniawan et al. (2025) menekankan bahwa nira dengan pH antara 6-7 dan bebas dari impuritas sangat penting untuk memfasilitasi kristalisasi. Nira

yang terfermentasi mengandung kadar gula reduksi yang lebih tinggi, yang dapat menghambat kristalisasi dan menyebabkan gula kristal sulit terbentuk. Hartanto (2014) menambahkan bahwa kualitas bahan penolong seperti belerang dan kapur tohor dalam proses pemurnian nira juga mempengaruhi mutu kristal yang dihasilkan.

Metode pemurnian nira mempengaruhi karakteristik kristalisasi dan mutu produk akhir. Hartanto (2014) membandingkan teknologi sulfitasi dan defekasi remelt karbonatasi (DRK), dimana teknologi DRK menghasilkan produk dengan mutu superior. Proses DRK menggunakan kapur tohor dan gas CO₂ sebagai bahan pembantu, menghasilkan endapan yang lebih banyak dibandingkan sulfitasi, sehingga mampu mengabsorpsi partikel koloid kotoran dengan lebih efektif.

c. Pengaruh Kristalisasi terhadap Mutu Produk Gula

Pengaruh kristalisasi terhadap mutu produk gula dapat dilihat dari berbagai parameter mutu yang dihasilkan. Hartanto (2014) menunjukkan bahwa teknologi pemurnian yang berbeda menghasilkan karakteristik kristal yang berbeda pula. Gula kristal putih yang diproses menggunakan teknologi DRK menghasilkan warna kristal 2,85-3,50 CT (Colour Type) yang secara visual tampak putih bersih, sedangkan teknologi sulfitasi menghasilkan warna kristal 6,6-7,2 CT yang cenderung kekuningan.

Warna larutan juga menunjukkan perbedaan signifikan, dimana teknologi DRK menghasilkan nilai 43,3-80 IU (ICUMSA Unit) yang mendekati karakteristik gula kristal rafinasi, sementara sulfitasi menghasilkan 118-201 IU. Hartanto (2014) menjelaskan bahwa penggunaan teknologi DRK tidak menggunakan bahan belerang sehingga kadar SO₂ dalam produk sangat rendah (0,76-1,33 mg/kg) dibandingkan sulfitasi (5-19,7 mg/kg), meskipun keduanya masih memenuhi persyaratan SNI yang menetapkan maksimal 30 mg/kg.

Dalam konteks gula kelapa kristal, Kurniawan et al. (2025) mengidentifikasi bahwa pengendalian kristalisasi yang tepat menghasilkan produk dengan karakteristik unggul. Gula kelapa kristal memiliki kadar air rendah (umumnya di bawah 3%) yang

berkontribusi pada umur simpan yang lebih panjang. Mela et al. (2020) menambahkan bahwa gula kelapa kristal memiliki indeks glikemik (IG) yang lebih rendah (35-44) dibandingkan gula tebu (68-70), serta mengandung vitamin B12 yang jarang ditemukan pada sumber gula lainnya.

Ukuran dan keseragaman kristal merupakan atribut mutu penting yang dipengaruhi oleh proses kristalisasi. Hartanto (2014) menemukan bahwa parameter besar jenis butir untuk gula yang diproses dengan sulfitasi maupun DRK relatif sama, yaitu 1,03-1,16 mm, yang telah memenuhi syarat SNI 3140.3:2010 (0,8-1,2 mm). Kurniawan et al. (2025) menekankan pentingnya proses penyaringan menggunakan mesh 18 atau 20 untuk menghasilkan granula dengan konsistensi yang baik dan memenuhi standar pasar.

Proses kristalisasi juga mempengaruhi kemurnian gula yang diukur melalui polarisasi. Hartanto (2014) melaporkan bahwa gula dengan teknologi sulfitasi memiliki polarisasi 99,75-99,86% sedangkan DRK menghasilkan 99,86-99,96%, keduanya memenuhi persyaratan SNI minimum 99,6°Z untuk mutu I dan 99,5°Z untuk mutu II. Parameter kadar abu konduktiviti juga menunjukkan perbedaan, dengan teknologi DRK menghasilkan nilai yang lebih rendah (0,004-0,008%) dibandingkan sulfitasi (0,04-0,07%), mengindikasikan tingkat kemurnian yang lebih tinggi.

d. Pengendalian Kualitas dalam Proses Kristalisasi

Aulia & Winursito (2025) mendemonstrasikan penerapan Statistical Quality Control (SQC) dalam pengendalian kualitas proses kristalisasi gula di PT. XYZ. Menggunakan peta kendali p (P-Chart), penelitian menunjukkan bahwa proses produksi berada dalam kondisi terkendali secara statistik dengan proporsi cacat rata-rata 0,006984 atau kurang dari 0,1%. Seluruh titik data berada di antara batas kontrol atas (UCL = 0,008769) dan batas kontrol bawah (LCL = 0,005199), mengindikasikan stabilitas proses.

Analisis cacat produk menunjukkan bahwa dari total 3.279 kg GKP yang

mengalami cacat, distribusinya meliputi cacat warna 1.155 kg (35,22%), kadar air berlebih 1.091 kg (33%), dan kebersihan 1.033 kg (32%). Menggunakan diagram Pareto, Aulia & Winursito (2025) mengidentifikasi bahwa cacat warna dan kadar air secara kumulatif menyumbang 68,49% dari total cacat, sehingga menjadi prioritas utama untuk perbaikan.

Diagram sebab-akibat (fishbone diagram) mengungkapkan bahwa kerusakan produk disebabkan oleh empat faktor utama: manusia (kurangnya pelatihan dan pengawasan), mesin (pemanasan tidak merata pada evaporator, kinerja sentrifugal kurang optimal), material (kualitas nira tebu rendah, kandungan kotoran tinggi), dan metode (tahapan pemrosesan tidak sesuai SOP, kesalahan dalam pemurnian nira). Temuan ini konsisten dengan Kurniawan et al. (2025) yang menekankan bahwa faktor pekerja, mesin, metode operasional, dan material produksi secara kolektif mempengaruhi kualitas kristalisasi.

Untuk mengatasi masalah kadar air berlebih, yang merupakan penyebab utama kedua cacat produk, Kurniawan et al. (2025) merekomendasikan optimasi proses pengeringan. Penelitian menunjukkan bahwa pengering tipe rak (cabinet dryer) pada suhu 80°C dengan kapasitas 15 kg per siklus menghasilkan efisiensi optimal. Pengering silinder tipe rak dapat mengurangi kadar air dari 5,40% menjadi 3,02% dalam waktu 3 jam pada suhu 60°C, sementara pengeringan oven pada 100°C selama 1 jam menghasilkan kadar air 2,97%.

Pengendalian kualitas bahan baku merupakan langkah preventif penting dalam memastikan keberhasilan kristalisasi. Hartanto (2014) menekankan pentingnya standar kualitas bahan penolong, dimana belerang yang digunakan harus memiliki kemurnian minimal 99% dan kapur tohor dengan kadar CaO minimal 90%. Keberadaan impuritas seperti arsen pada belerang dapat membentuk gas racun arsen dioksida yang masuk ke dalam nira dan gula, sementara kandungan silikat tinggi pada kapur dapat mengganggu pengendapan dan menimbulkan kerak keras pada peralatan.

Kurniawan et al. (2025) mengidentifikasi pentingnya penanganan nira pasca-penyadapan untuk mencegah fermentasi yang dapat menghambat kristalisasi. Berbagai metode preservasi telah dikembangkan termasuk iradiasi UV, pendinginan, pemanasan, pasteurisasi, serta penggunaan pengawet alami seperti lateks manggis, daun pohon mara, dan kulit batang cangel. Preservasi menggunakan sodium metabisulfite dan kapur, serta asap cair juga menjadi alternatif untuk mempertahankan kualitas nira.

e. Aplikasi dan Pemanfaatan Produk Hasil Kristalisasi

Mela et al. (2020) mengkaji potensi pemanfaatan gula kelapa kristal pada berbagai produk minuman sebagai substitusi gula tebu. Keunggulan gula kelapa kristal dalam hal kelarutan yang tinggi, kadar air rendah, dan indeks glikemik yang lebih rendah menjadikannya alternatif yang menjanjikan. Aplikasi gula kelapa kristal dapat diterapkan pada produk sirup asam jawa, minuman tradisional (wedang ronde, wedang uwuh, bir pletok, bandrek, bajigur), serbuk minuman instan, minuman cokelat instan, kopi mix instan, dan es krim.

Dalam produk sirup asam jawa, penggunaan gula kelapa kristal tidak hanya berfungsi sebagai pemanis tetapi juga menambah nilai fungsional karena kandungan antioksidan yang berasal dari reaksi Maillard selama pemasakan nira (Mela et al., 2020). Untuk minuman tradisional, gula kelapa kristal memberikan cita rasa yang lebih khas dan aroma harum yang dapat meningkatkan acceptabilitas produk.

Pada aplikasi minuman serbuk instan, karakteristik gula kelapa kristal yang berupa bubuk dengan kelarutan sangat tinggi sangat menguntungkan. Mela et al. (2020) menjelaskan bahwa gula kelapa kristal dapat larut pada suhu air normal, sehingga cocok untuk produk yang memerlukan kemudahan penyajian. Dalam produk kopi mix instan, penambahan gula kelapa kristal terbukti meningkatkan cita rasa kopi karena aroma khas yang dihasilkan, seperti yang telah lama dipraktikkan pada kopi Mandailing yang diseduh dengan rebusan air aren.

Untuk produk es krim, penggunaan gula kelapa kristal menambah nilai tambah

tidak hanya dari aspek rasa dan warna coklat alami yang dihasilkan, tetapi juga dari kandungan serat yang lebih tinggi dan indeks glikemik yang lebih rendah dibandingkan gula tebu (Mela et al., 2020). Keunggulan ini menjadikan es krim dengan gula kelapa kristal lebih cocok untuk konsumen yang memperhatikan kesehatan, termasuk anak-anak, karena gula ini tidak menimbulkan gejala hiperaktif.

Kurniawan et al. (2025) menekankan bahwa untuk meningkatkan daya saing di pasar global, gula kelapa kristal harus memenuhi standar nasional dan internasional. Di pasar domestik, produk harus memenuhi SNI 01-3743-2021, sementara untuk ekspor diperlukan sertifikasi organik dari lembaga yang diakui secara internasional seperti European Union Regulation, USDA National Organic Program, Japanese Agricultural Standards (JAS), dan Control Union Certification (CUC).

f. Tantangan dan Prospek Pengembangan

Industri gula kristal di Indonesia menghadapi berbagai tantangan dalam mempertahankan dan meningkatkan mutu produk. Kurniawan et al. (2025) mengidentifikasi tantangan utama meliputi: (1) fasilitas produksi yang belum sepenuhnya memenuhi Good Manufacturing Practices (GMP), (2) kesadaran terbatas di kalangan produsen kecil mengenai pentingnya kualitas produk, (3) inkonsistensi dalam implementasi pengendalian kualitas, (4) pemahaman yang kurang tentang standar kualitas di seluruh rantai nilai, (5) pengetahuan terbatas tentang praktik kultivasi optimal untuk meningkatkan kualitas dan hasil nira, dan (6) penggunaan teknologi tradisional yang menghambat peningkatan efisiensi dan kualitas.

Hartanto (2014) menyoroti bahwa sebagian besar pabrik gula di Indonesia yang beroperasi sejak zaman Belanda masih menggunakan mesin dan peralatan lama, menyebabkan efisiensi dan produktivitas kurang maksimal. Meskipun produksi gula kristal putih nasional meningkat, peningkatannya belum mampu mengimbangi peningkatan konsumsi domestik, sehingga Indonesia masih bergantung pada impor gula.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, beberapa strategi pengembangan telah diidentifikasi. Kurniawan et al. (2025) merekomendasikan: (1) pemberdayaan petani melalui pelatihan teknis, (2) adopsi teknologi pengolahan modern, (3) investasi finansial untuk upgrade peralatan, (4) pengembangan produk dan diversifikasi, serta (5) penguatan strategi pemasaran. Aulia & Winursito (2025) menambahkan pentingnya penerapan sistem manajemen mutu berbasis statistik seperti SQC untuk memastikan konsistensi kualitas produk.

Prospek pengembangan industri gula kristal di Indonesia sangat menjanjikan, terutama untuk gula kelapa kristal. Kurniawan et al. (2025) melaporkan bahwa permintaan global terhadap gula kelapa meningkat dengan pertumbuhan rata-rata tahunan 6% untuk ekspor antara 2012-2016. Pada tahun 2023, nilai ekspor gula kelapa mencapai USD 10,58 juta, meningkat 448,41% dibandingkan 2022. Indonesia sebagai produsen terbesar gula kelapa dunia (menyuplai sekitar 90% permintaan global) memiliki peluang besar untuk memperkuat posisinya di pasar internasional.

Mela et al. (2020) menyatakan bahwa dengan strategi yang tepat dalam hal branding, sertifikasi, dan pemasaran, gula kelapa kristal Indonesia memiliki peluang kuat untuk berkembang sebagai komoditas ekspor yang kompetitif. Positioning gula kelapa sebagai produk unik yang mencerminkan keanekaragaman hayati tropis Indonesia dan warisan pedesaan, dengan penekanan pada asal-usul, keberlanjutan, dan dampak sosial-ekonomi terhadap pemberdayaan petani lokal, dapat meningkatkan nilai ekonomi dan reputasi Indonesia sebagai produsen gula kelapa premium di pasar global.

KESIMPULAN

Kajian terhadap lima artikel penelitian tentang kristalisasi gula menghasilkan beberapa kesimpulan penting. Pertama, kristalisasi gula merupakan proses kompleks yang melibatkan mekanisme nukleasi dan pertumbuhan kristal yang dipengaruhi

oleh faktor temperatur, kecepatan pengadukan, pH larutan, konsentrasi, dan kualitas bahan

baku. Parameter kinetik kristalisasi larutan gula tebu menunjukkan faktor frekuensi 0,0093-0,0109 menit⁻¹, energi aktivasi 1,9253 KJ/mol, dan orde kristalisasi 0,5837, dengan proses yang dikontrol oleh transfer massa.

Kedua, teknologi pemurnian nira sangat mempengaruhi mutu produk kristal yang dihasilkan. Teknologi defekasi remelt karbonatasi terbukti superior dibandingkan sulfitasi, menghasilkan gula kristal putih dengan warna kristal 2,85-3,50 CT, warna larutan 43,3-80 IU, dan kadar SO₂ yang sangat rendah (0,76-1,33 mg/kg), mendekati karakteristik gula kristal rafinasi. Sementara itu, gula kelapa kristal memiliki keunggulan berupa indeks glikemik rendah (35-44), kadar air rendah (<3%), kelarutan tinggi, dan kandungan vitamin B12 yang unik.

Ketiga, pengendalian kualitas berbasis statistik menggunakan metode SQC efektif dalam mengidentifikasi dan mengendalikan faktor-faktor yang mempengaruhi mutu produk. Cacat produk yang teridentifikasi meliputi perubahan warna (35,22%), kadar air berlebih (33%), dan kebersihan (32%), yang disebabkan oleh faktor manusia, mesin, metode, dan material. Keempat, gula kelapa kristal memiliki potensi besar untuk mensubstitusi gula tebu pada berbagai aplikasi produk minuman dan makanan, dengan keunggulan fungsional dan nilai tambah ekonomi yang signifikan.

Batasan kajian ini terletak pada keterbatasan data kuantitatif yang menghubungkan secara langsung parameter kristalisasi spesifik dengan atribut mutu produk tertentu, serta terbatasnya kajian mengenai aplikasi teknologi kristalisasi modern dalam konteks industri skala kecil dan menengah di Indonesia. Penelitian selanjutnya perlu fokus pada: (1) optimasi parameter kristalisasi untuk berbagai jenis gula palma, (2) pengembangan teknologi kristalisasi yang efisien dan ramah lingkungan untuk skala UMKM, (3) studi mendalam tentang korelasi parameter proses dengan atribut sensoris dan fungsional produk, serta (4) analisis kelayakan ekonomi

adopsi teknologi kristalisasi modern di Indonesia.

Kontribusi praktis dari kajian ini adalah memberikan pemahaman komprehensif tentang pentingnya pengendalian proses kristalisasi dalam menghasilkan produk gula berkualitas tinggi. Implikasinya, industri gula di Indonesia perlu melakukan

modernisasi teknologi proses, implementasi sistem manajemen mutu berbasis statistik, peningkatan kapasitas SDM melalui pelatihan, dan pemenuhan standar kualitas nasional dan internasional untuk meningkatkan daya saing produk di pasar domestik dan global. Dengan strategi yang tepat, industri gula kristal Indonesia, khususnya gula kelapa kristal, memiliki prospek cerah untuk berkembang menjadi komoditas ekspor unggulan yang berkelanjutan.

REFERENSI

- Aulia, X. A., & Winursito, Y. C. (2025). Analisis pengendalian kualitas gula kristal putih melalui penerapan metode Statistical Quality Control (SQC) pada PT. XYZ. *JUTIN: Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 8(1), 133-145. <https://doi.org/10.31004/jutin.v8i1.39146>
- Hartanto, E. S. (2014). Peningkatan mutu produk gula kristal putih melalui teknologi defekasi remelt karbonatasi. *Jurnal Standardisasi*, 16(3), 215-222.
- Jumari, A., Rachmawati, D., & Kurniawan, R. (2003). Kinetika kristalisasi larutan gula (sukrosa) pada pembuatan gula tebu. *Ekuilibrium*, 2(1), 40-45.
- Kurniawan, H., Rahayoe, S., & Amnah, H. Z. (2025). Processing and quality of crystallized palm sugar in Indonesia: A review. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 14(4), 1517-1533. <https://doi.org/10.23960/jtepl.v14i4.1517-1533>
- Mela, E., Fadhillah, N., & Mustaufik, M. (2020). Gula kelapa kristal dan potensi pemanfaatannya pada produk minuman. *Agritech*, 22(1), 21-28. <https://doi.org/10.30595/agritech.v22i1.7059>