

4. PEMBAHASAN

4.1. Gula Kelapa dan Gula Lontar

Gula merupakan senyawa organik yang penting sebagai sumber kalori karena sifatnya yang mudah dicerna dan dapat digunakan sebagai pemanis. Penggunaan gula dalam kehidupan sehari-hari masih didominasi oleh gula pasir (sukrosa). Beberapa daerah di Indonesia banyak ditemui bahan pokok yang dapat dijadikan sebagai bahan pemanis. Seperti gula lontar yang dapat ditemui di Kupang, Nusa Tenggara Timur dan gula kelapa yang dapat ditemui di Pacitan. Gula pada masing-masing daerah dapat dijadikan sebagai bahan pemanis alternatif.

Gula kelapa merupakan gula yang berbahan dasar nira kelapa. Proses pembuatan gula kelapa murni yaitu dengan pengambilan nira kelapa yang kemudian dipanaskan. Nira kelapa diambil pada pagi hari menggunakan jergen sebagai tempat penampungan sementara lalu dipanen pada sore hari untuk dilakukan pemanasan. Pada satu pohon kelapa mampu menghasilkan sekitar 15kg nira kelapa. Setelah dipanen, nira akan dipanaskan menggunakan tungku hingga mendidih. Gula dipanaskan selama 4-5 jam dengan suhu kisaran 115 – 120 °C hingga terkaramelisasi. Kemudian dimasukkan ke dalam cetakan gula, lalu didiamkan hingga mengeras. Gula yang murni tidak diberi penambahan bahan pada saat proses pemanasan, tetapi gula campuran akan diberi tambahan contohnya penambahan gula putih untuk mendapatkan hasil yang lebih banyak. Gula campuran biasanya diberi tambahan kapur sebagai pengatur keasaman karena pH yang terlalu asam tidak dapat terjadi pengkristalan sukrosa. pH yang harus tercapai yaitu pada kisaran 8-9 (Zuliana et al., 2016).

Gula lontar merupakan gula yang dibuat dengan bahan dasar nira lontar. Proses pembuatan gula lontar murni yaitu hampir sama dengan proses pembuatan gula kelapa. Nira lontar yang sudah dikumpulkan dari sore akan diambil pada pagi hari di hari berikutnya. Nira lontar yang sudah diambil langsung dimasak menggunakan tungku secara tradisional. Pemasakan dilakukan selama kurang lebih 3 jam atau hingga gula berwarna kecoklatan dan mengeluarkan aroma gula yang khas kisaran 115 – 120 °C. Pada 1 dahan pohon lontar biasanya mampu menghasilkan nira sebanyak 1 jergen. Gula yang sudah matang ini kemudian ditumbuk di dalam batok kelapa hingga agak keras, kemudian

dimasukkan ke dalam cetakan yang telah disiapkan lalu didinginkan selama kurang lebih 15 menit.

Gula kelapa di Pacitan, Jawa Timur dijual seharga Rp 12.000 sampai 15.000 per kilogram. Gula lontar di Kupang, Nusa Tenggara Timur dijual seharga Rp 30.000 sampai Rp 40.000 per kilogram. Jika gula tersebut dijual ke luar kota maka harga yang dipatok akan lebih tinggi. Harga tidak menunjukkan kemurniannya tetapi lebih kepada nilai ekonomi yang berhubungan dengan ketersediaan bahannya. Sampel yang dijual di pasar tidak terkontrol kemurniannya. Pembuatan gula kelapa campuran di Pacitan, menggunakan penambahan *laru* yang terbuat dari kayu nangka untuk mempercepat terjadinya kekentalan ketika proses pemanasan nira kelapa (Haryanti et al., 2012). Selain itu, gula kelapa campuran juga dapat diberi tambahan gula pasir yang mengandung banyak sukrosa untuk mempercepat proses kristalisasi karena meningkatnya kandungan sukrosa yang terbentuk (Pontoh, 2013). Sukrosa yang dihidrolisi oleh enzim sukrase akan membentuk fruktosa dan glukosa. Glukosa akan dicerna oleh tubuh menjadi insulin dan menghasilkan energi (glikogen) sedangkan fruktosa tidak menghasilkan insulin tetapi akan menjadi lemak. Sehingga untuk para penderita diabetes melitus sebaiknya mengkonsumsi gula yang rendah glukosa (Prahastuti, 2011).

Sukrosa adalah jenis gula disakarida yang merupakan gabungan dari glukosa dan fruktosa (Sinuhaji, 2017). Pemanasan yang tinggi dan lama pengeringan menyebabkan penurunan kadar air sehingga meningkatkan presentase glukosa dan fruktosa. Selama proses pemanasan, sukrosa akan terhidrolisis menjadi glukosa dan fruktosa. Kecepatan inversi pada sukrosa dipengaruhi oleh suhu, lama pemanasan, dan pH larutan. Jika pemanasan dilakukan terlalu lama maka warna gula akan semakin gelap dan kandungan gula pereduksi akan hilang karena adanya reaksi maillard karena pemanasan gula pereduksi yang bersamaan dengan asam amino, maupun reaksi karamelisasi. Banyaknya kadar sukrosa ditentukan oleh adanya gula reduksi yang terkandung dalam sampel. Semakin tinggi kadar sukrosa maka semakin rendah kadar gula reduksi (Sutrisno & Susanto, 2014). Sukrosa yang dipanaskan sambil diaduk kemudian didinginkan akan membentuk kristal keras yang membuat sampel menjadi semakin padat. Pertumbuhan kristal akan semakin

tinggi pada pemanasan suhu tinggi karena semakin banyak uap yang dilepaskan (Verma et al., 2021).

Kristal yang terbentuk terdapat banyak kilap pada gula yang berwarna coklat muda. Pada gula yang berwarna tua cenderung memiliki warna polos dengan kilap yang tidak sebanyak gula yang berwarna muda. Tekstur gula yang terbentuk cenderung lebih keras untuk gula yang berwarna coklat tua, sedangkan gula yang berwarna coklat muda memiliki tekstur yang tidak sekeras gula yang berwarna coklat tua. Berdasarkan banyaknya kandungan sukrosa pada sampel maka dapat dilihat bahwa tekstur gula lontar lebih padat dibandingkan gula kelapa. Ketika gula kelapa dan gula lontar disimpan pada suhu ruang, ada kelembaban pada lingkungan. Kelembaban relatif pada saat penyimpanan menyebabkan adanya perbedaan tekanan luar dan dalam pada kemasan. Semakin tinggi kelembaban relatifnya maka semakin besar tekanan pada luar kemasan yang menyebabkan perbedaan tekanan di dalam dan di luar kemasan berbeda. Perbedaan tersebut menimbulkan terjadinya difusi uap air dari lingkungan melewati kemasan yang membuat kadar air di dalam kemasan meningkat. Adanya sukrosa yang bersifat higroskopis juga meningkatkan kadar air pada sampel gula pada saat penyimpanan menyebabkan gula kelapa dan gula lontar yang disimpan menjadi lembab dan tidak keras (Kurniawan et al., 2018). SNI gula palma 01-3743-1995 yang dapat dilihat pada tabel 1, terlihat bahwa kandungan sukrosa pada kisaran 77 - 90% b/b. Jika dibandingkan rata-rata sukrosa yang terdapat pada gula kelapa 79,1% dan gula lontar 83,6 dengan SNI maka dapat dilihat bahwa kandungan sukrosa pada gula kelapa dan gula lontar sesuai dengan standar pada SNI palma 01-3743-1995.

4.2. Interpretasi Hasil PCA Gula Kelapa dan Gula Lontar

Seluruh sampel uji yaitu gula kelapa dan gula lontar pada akuades memberikan spektrum yang fitur utamanya adalah air, glukosa, sukrosa, dan fruktosa. Namun demikian secara substansi tentu gula kelapa dan gula lontar terbedakan paling tidak dari segi rasa dan tekstur. Jadi secara keseluruhan unsur-unsur yang ada di kedua macam gula tersebut tidak persis sama baik komposisi relatif ataupun komponen kimiawi. Untuk menguji apakah NIRS dapat membedakan sampel lontar dan kelapa maka dilakukanlah analisis PCA dari set data spektrum gula dan lontar. PCA dilakukan pada spektrum ternormalisasi, spektrum turunan pertama maupun spektrum turunan kedua pada bentangan 4000 – 1000

cm^{-1} . Dari ketiga uji coba ini hanya spektrum turunan kedua yang memberikan hasil yang baik. Seperti yang telah disampaikan sebelumnya bahwa spektrum turunan kedua selalu membantu menaikkan resolusi spektral. Jadi tingkat kemiripan spektrum yang tinggi dapat diatasi dengan memanfaatkan spektrum turunan kedua.

Pada perhitungan PCA, titik sampel gula kelapa diberi warna merah sedangkan gula lontar diberi warna biru. Hasil PCA ditampilkan dalam tiga dimensi PC yaitu PC1, PC2 dan PC3. PC1 menunjukkan hasil perkalian antara matriks V dengan D^T pada kolom pertama, PC2 menunjukkan hasil perkalian matriks V dengan D^T pada kolom kedua, dan PC3 menunjukkan hasil perkalian antara matriks V dengan D^T pada kolom ketiga. PC1 dan PC2 sudah mampu menerangkan hingga 92,46% sedangkan PC1, PC2 dan PC3 mampu menerangkan hingga 96,61% data. Hal ini berarti bahwa dengan menampilkan plot PC tiga dimensi tingkat validitas observasi mencapai 96,61%. Plot PC menunjukkan bahwa sampel terbagi menjadi dua kluster utama dimana titik-titik yang ditandai biru (lontar) mengumpul di sisi berbeda dengan sampel-sampel yang ditandai merah (kelapa). Hal ini mengindikasikan bahwa PCA mampu membedakan sampel kelapa dan lontar. Sampel nomor 21, 22, dan 23 merupakan sampel gula kelapa kontrol yang murni ketika pembuatan gula tidak diberi tambahan bahan lain. Nomor sampel lainnya pada titik yang berwarna merah menunjukkan sampel yang diambil secara acak di pasar. Gula lontar kontrol merupakan gula lontar murni yang ketika dilakukan pembuatan gula tidak diberi bahan tambahan lainnya ditunjukkan oleh sampel 34 dan 35 sedangkan nomor sampel yang lainnya menunjukkan gula lontar yang diambil secara acak di pasar.

Derajat penyebaran sampel dengan titik biru berbeda dengan sampel dengan titik merah. Titik biru cenderung kurang menyebar dibandingkan dengan titik merah. Hal ini menandakan bahwa sampel berwarna biru lebih seragam daripada sampel berwarna merah. Keseragaman ini diduga karena gula lontar yang dihasilkan mirip satu sama lain meskipun dari petani yang berbeda. Keseragaman atas produk lontar mungkin disebabkan oleh kebiasaan petani yang secara turun-temurun memproduksi lontar dengan metode yang sama dan kurangnya kasus pencampuran bahan lain pada gula lontar. Hal ini didapat dari hasil wawancara petani lontar ketika perkunjungan lapangan di Kabupaten Kupang, NTT.

Lain halnya dengan gula kelapa yang penyebarannya sangat tinggi. Derajat penyebaran yang tinggi ini mengindikasikan langsung bahwa terdapat variasi produk gula kelapa. Variasi ini mungkin disebabkan oleh petani gula kelapa yang menghasilkan produk dengan cara ataupun metode khusus termasuk kemungkinan adanya pencampur (*impurity*) dari gula itu sendiri. Pencampuran ini dapat disengaja ataupun tidak. Pada penelitian ini penulis tidak memiliki kesempatan untuk menelusuri lebih jauh sumber-sumber pencampuran ini jika ada. Namun dari wawancara penulis dengan petani pembuat bahwa pembuatan gula lontar dapat berbeda tiap petani meliputi lamanya pemasakan.

4.3. Pendugaan Glukosa, Sukrosa, dan Fruktosa dari Gula Kelapa dan Gula Lontar dengan PLSR

Pendugaan kandungan glukosa, sukrosa, dan fruktosa pada gula kelapa dan gula lontar menggunakan parameter PLSR dari data kalibrasi. Hasil pendugaan menunjukkan bahwa baik gula kelapa maupun gula lontar sebagai besar terdiri dari sukrosa dimana gula kelapa mengandung 79,1% sedangkan lontar 83,6%. Jadi dengan mempertimbangkan ralat 2 x standar deviasi 4,2% maka dapat dikatakan bahwa gula lontar cenderung mengandung lebih banyak sukrosa daripada gula kelapa. Kandungan glukosa pada gula kelapa maupun gula lontar berturut-turut 15,5% dan 14,4%. Memperhatikan ralat 2 x standar deviasi 5,4% maka kandungan glukosa dapat dikatakan sama. Fruktosa pada gula kelapa dan lontar berturut-turut yaitu 5,7% dan 2,6%. Dengan memperhatikan ralat 2 x standar deviasi 2,6% dapat dikatakan bahwa gula kelapa memiliki fruktosa lebih banyak daripada gula lontar. Mengingat fruktosa lebih baik daripada glukosa dan sukrosa dalam hal kesehatan metabolik dan gizi maka secara umum dapat dikatakan bahwa gula kelapa berpeluang memiliki dampak pada kesehatan sedikit lebih baik daripada gula lontar.

Pendugaan glukosa, sukrosa, dan fruktosa dengan NIR memakan waktu lebih singkat. Sekali parameter penduga melalui larutan kalibrasi terbangun maka pendugaan glukosa, sukrosa dan fruktosa dapat ditentukan segera setelah spektrum sampel uji dipindai oleh NIR. Algoritma penentuan tidak terlalu panjang dan dapat dijalankan dengan Matlab (lihat *coding* terlampir). Jadi penentuan kadar glukosa, sukrosa, dan fruktosa dengan NIR memungkinkan proses penentuan kandungan glukosa, sukrosa, dan fruktosa ini bebas dari

pemakaian bahan kimia atau pelarut organik. Pengukuran yang relatif cepat ini memungkinkan sampel yang lebih banyak dapat diuji dalam waktu yang relatif singkat.

Parameter PLSR yang dipakai pada penelitian ini belum memasukkan kemungkinan adanya komposisi lain selain glukosa, sukrosa dan fruktosa. Hal ini disebabkan karena bentangan spektrum yang menjadi target analisis hanya bentangan yang sensitif terhadap perubahan komposisi glukosa, sukrosa, dan fruktosa. Namun demikian perlu diingat bahwa PCA sudah mendeteksi adanya perbedaan antara sampel lontar dan gula kelapa ketika dipakai bentang spektrum total $4000 - 10000 \text{ cm}^{-1}$. Untuk bisa mendeteksi komponen lain tersebut perlu dilakukan kalibrasi dengan memasukan larutan standar unsur yang akan diprediksi. Karena itu komposisi glukosa, sukrosa, dan fruktosa untuk saat ini dinyatakan dalam presentasi relatif ketiganya.

Pada penelitian ini pengukuran spektrum sampel padat tidak dilakukan mengingat bahwa proses kalibrasi memerlukan sampel gula kelapa dan gula lontar yang jauh lebih banyak. Pada masa pandemi pengumpulan sampel dalam jumlah besar dari petani yang terkontrol untuk keperluan kalibrasi lebih sulit dilakukan. Selain itu perlu analisis HPLC untuk penentuan kadar gula di awal. Namun demikian sekali data kalibrasi terbentuk maka metode ini dapat dipakai untuk penentuan cepat tanpa merusak sampel (Karlinasari et al., 2012).

Jika dibandingkan dengan metode penentuan konsentrasi kadar gula menggunakan brix meter maka NIRS memberikan berbagai kelebihan. Kelebihan yang dimaksud adalah:

1. NIRS memanfaatkan kombinasi serapan pada multi panjang gelombang sehingga dengan tegas dapat membedakan glukosa, sukrosa, dan fruktosa. Karena itu spektrum NIR sering disebut *finger print* dari sample spesifik. Brix memanfaatkan derajat pembelokan cahaya dengan panjang gelombang rata-rata. Dengan kata lain berdasarkan indeks bias. Indeks bias dapat saja memiliki nilai yang sama untuk berbagai sampel berbeda. Jadi brix tidak dapat membedakan konsentrasi komposisi glukosa, sukrosa, dan fruktosa dalam satu larutan. Brix hanya mengasumsikan sampel ukur adalah fruktosa murni atau fruktosa ekuivalen.

2. NIRS memungkinkan pengukuran sampel-sampel yang tidak transparan bahkan sampel padat. Brix mengharuskan sampel berbentuk cair dan transparan karena sampel yang relatif keruh dapat memberikan pembacaan brix yang jauh menyimpang dari nilai sebenarnya. Hal ini disebabkan oleh prinsip pengukuran menggunakan teknik refraktif index seperti yang dijelaskan di atas.
3. NIRS dapat mendiferensiasi sampel yang berbeda (seperti lontar dan gula merah) melalui PCA karena basis PCA memanfaatkan karakteristik spektral. Artinya spektrum NIR sampel yang sama sekalipun akan berbeda spektrumnya jika memiliki konsentrasi yang berbeda. Brix tidak memungkinkan diferensiasi sampel gula kelapa dan lontar dengan PCA karena semata-mata berbasis nilai (%) saja. Brix yang sama dapat saja berasal dari sampel yang berbeda.

