

Analisis Perubahan Kadar Fosfat, Gula Reduksi dan °Brix pada Tahapan Pengolahan Nira Tebu Menggunakan Metode Asam Askorbat dan Lane–Eynon di Industri Gula

Analysing the Changes in Levels of Phosphate, Sugar's Reducing, and °Brix at Stages of Processing of Sugarcane Juice Using Ascorbic Acid and Lane–Eynon Method

Siti Nurul Afifah.^{1a}, Siti Farida², Muh. Agus Ferdian²

¹ Prodi Agribisnis, Institut Pertanian Malang, Jl. Soekarno-Hatta Kota Malang, 65142

² Prodi Teknologi Industri Pertanian, Institut Pertanian Malang, Jl. Soekarno-Hatta Kota Malang, 65142.

^aKorespondensi : Siti Nurul Afifah, E-mail: afifah28.sna@gmail.com

Diterima: 13 – 01 – 2026 , Disetujui: 15 – 01 - 2026

ABSTRACT

The key to maintaining the quality of the final product in the sugar industry and the efficiency of the sugar production process during granulated sugar processing is the quality control of sugarcane juice. Study aimed to chemically analyze changes in phosphate and reducing sugar levels in various types of sugarcane juice for quality control, based on operational data from a sugar factory over 10 consecutive days. Phosphate levels were analyzed using the ascorbic acid method and UV-Vis spectrophotometry and reducing sugars were analyzed using the Lane-Eynon method. The addition of phosphoric acid increased the phosphate levels of raw juice from 166.67-263.34 ppm to 206.67-306.67 ppm, indicating the effectiveness of the clarification process. However, phosphate levels decreased after treatment, which indicates process instability or excessive phosphate precipitation. Reducing sugar content was stable in early processing (1.1–2.8%) but increased to 13.53% in thick sap due to heating and evaporation. The Brix value increased during the processing stage, from 12.9–15.1% in the first-pressed sap and to 66.6–75.9% in the thick sap. An increase in the Brix value does not necessarily indicate better sap quality, as it correlates with an increase in reducing sugar content.

Keywords: Sugarcane juice, Phosphate, Reducing sugar, °Brix, Lane-Eynon

ABSTRAK

Kunci dalam menjaga kualitas produk akhir dari produk industri gula serta efisiensi proses produksi gula selama proses pengolahan gula pasir adalah adanya pengendalian mutu nira tebu. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa secara kimiawi perubahan kadar fosfat, gula reduksi, dan °Brix pada berbagai jenis nira tebu untuk kendali mutu berdasarkan data operasional pabrik gula selama 10 hari berturut-turut. Analisis kadar fosfat dilakukan dengan menggunakan metode asam askorbat dan spektrofotometri UV-Vis, gula reduksi dianalisis menggunakan metode Lane-Eynon dan pengukuran %Brix menggunakan refraktometer. Sampel yang dianalisis yaitu nira perahan pertama, nira mentah, nira encer, dan nira kental. Hasil penambahan asam fosfat dapat meningkatkan kadar fosfat nira mentah dari kisaran 166,67-263,34 ppm menjadi 206,67-306,67 ppm yang menunjukkan efektivitas proses klarifikasi. Namun, terdapat penurunan kadar fosfat setelah perlakuan, menunjukkan ketidakstabilan proses atau presipitasi fosfat yang berlebihan. Kadar gula reduksi relatif stabil di tahap pemrosesan awal 1,1–2,8%, tetapi meningkat secara signifikan dalam nira kental menjadi 13,53% karena proses pemanasan dan penguapan yang memicu inversi sukrosa. Nilai Brix meningkat selama tahap pemrosesan 12,9–15,1% pada nira perahan pertama dan 66,6–75,9% pada nira kental. Peningkatan nilai Brix tidak serta merta menunjukkan kualitas nira yang lebih baik karena ini berkorelasi dengan peningkatan kadar gula reduksi.

Kata kunci: Nira tebu, Fosfat, Gula reduksi, °Brix, Lane-Eynon.

PENDAHULUAN

Industri gula pasir menghadapi tantangan yang semakin kompleks. Adanya peningkatan permintaan jumlah gula pasir juga mempengaruhi jumlah produksi gula sehingga dibutuhkan adanya efisiensi proses, kualitas produk, dan keberlanjutan operasional. Salah satu masalah utama selama dalam proses pengolahan tebu menjadi gula pasir adalah adanya penurunan secara kualitatif dari berbagai jenis nira tebu selama proses produksi berlangsung yang ditandai dengan adanya peningkatan gula reduksi, ketidakstabilan °Brix, dan ketidakefektifan proses klarifikasi (Doherty, 2011; Thai *et al.*, 2015). Keadan tersebut secara langsung mempengaruhi efisiensi dari proses kristalisasi gula pasir, kualitas warna gula pasir yang dihasilkan, viskositas masakan olahan tebu atau nira, dan hasil akhir dari produk gula pasir itu sendiri. Oleh karena itu, pengendalian parameter secara kimiawi dari nira tebu merupakan aspek paling penting dalam sistem kontrol kualitas dan kendali mutu dalam sebuah industri gula pasir (Tawfeuk & Gomaa, 2017).

Analisis fosfat adalah salah satu parameter penting yang harus dipertimbangkan selama klarifikasi nira tebu selama proses pengolahan gula pasir dari nira perahan pertama (NPP), nira mentah (NM), nira encer (NE), dan nira encer. Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi fosfat dalam jus tebu dapat meningkatkan ukuran flok dan jumlah flok yang terbentuk, sehingga meningkatkan kinerja klarifikasi (Thai *et al.*, 2015). Tujuan penambahan asam fosfat adalah untuk membentuk endapan kalsium fosfat yang mampu mengadsorpsi koloid, kotoran non-gula, serta kotoran terlarut dalam proses pemasakan nira menjadi gula pasir sehingga kejernihan nira akan meningkat (Yasipourtehrani *et al.*, 2019). Namun, manajemen fosfat yang tidak tepat dapat menyebabkan pengendapan yang berlebihan atau ketidakstabilan pH yang dapat mempercepat degradasi sukrosa. Selain itu, gula reduksi yang terbentuk dari adanya proses hidrolisis sukrosa selama tahap pemanasan dan pengentalan merupakan indikator degradasi secara kimiawi suatu nira karena gula reduksi bertanggung jawab pada proses pembentukan warna akhir dari produk gula yang diikuti dengan penurunan kualitas gula kristal yang dihasilkan. °Brix, yang menunjukkan adanya total padatan terlarut, sering digunakan sebagai parameter indikator konsentrasi, akan tetapi nilai °Brix yang tinggi tidak secara langsung menggambarkan kualitas nira yang baik jika disertai dengan adanya peningkatan gula reduksi (Ashraf *et al.*, 2009).

Sebagian besar penelitian terbaru di bidang teknologi pemrosesan nira menjadi gula pasir lebih fokus pada pengoptimalan unit operasi tertentu dan/atau penggunaan bahan tambahan alternatif. Sementara, studi yang menggunakan data analisis operasional harian yang mencakup perubahan pada kadar fosfat, gula reduksi, dan °Brix selama proses pengolahan nira dalam industri gula masih sangat sedikit. Padahal, analisis berbasis data nyata dari sebuah industri gula sangat esensial dikarenakan untuk memahami dan mengamati dinamika proses secara komprehensif dan aplikatif. Selain itu adanya penggunaan metode analisis baku dan relevan, seperti analisis fosfat dengan asam askorbat dan analisis gula reduksi dengan metode Lane-Eynon merupakan metode analisis kimiawi yang masih dapat digunakan sebagai analisis rutin yang handal dan mudah diimplementasikan di laboratorium kontrol kualitas industri gula pasir.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan kadar fosfat, gula reduksi, dan °Brix pada berbagai tahapan pengolahan nira tebu menggunakan metode asam askorbat dan Lane-Eynon berdasarkan data operasional selama 10 hari produksi. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan gambaran yang lebih mendalam mengenai keterkaitan antar parameter kimiawi berbagai nira, serta menjadi pijakan awal untuk evaluasi dan pengendalian proses yang optimal untuk menjaga stabilitas kualitas nira dan efisiensi produksi gula dalam industri gula tebu.

MATERI DAN METODE

Gula pasir (sukrosa) secara kimiawi adalah disakarida yang mengandung satu unit glukosa dan satu fruktosa yang dihubungkan dengan ikatan glikosidik (α -1,2) (Chen *et al.*, 2019)(Li *et al.*, 2022). Rumus kimia sukrosa adalah $C_{12}H_{22}O_{11}$ yang bersifat non-reducing sugar, hal ini disebabkan karena unit monosakaridanya tidak terlepas karena terikat dengan metode ikatan glikosidik (Periasamy *et al.*, 2025). Namun, pada kondisi tertentu sukrosa akan terhidrolisis menjadi glukosa dan fruktosa, yang merupakan reducing sugar (Shivalingamurthy *et al.*, 2018). Beberapa kondisi yang dapat mengakibatkan terjadinya reaksi hidrolisis sukrosa, di antaranya adalah pemanasan, sifat asam, atau aktivitas enzim. Proses di atas dikenal sebagai reaksi inversi dan merupakan salah satu reaksi yang memengaruhi kualitas gula pada saat pemrosesan sukrosa (Preisser & Komor, 1991).

Sedangkan secara biologi, gula adalah produk akhir dari proses fotosintesis suatu tanaman tebu (*Saccharum Officinarum L.*), di mana karbohidrat diproduksi melalui konversi karbon dioksida dan air dengan bantuan energi sinar matahari. Sukrosa disintesis di daun dan kemudian dipindahkan ke batang tebu sebagai penyimpanan energi. Selama tahap pasca-panen dan pemrosesan, aktivitas mikroorganisme seperti bakteri dan ragi dapat memanfaatkan sukrosa dan gula sederhana sebagai sumber energi mereka, sehingga memicu degradasi gula dan peningkatan gula reduktif dalam getah (Ogando *et al.*, 2021).

Proses pengolahan gula pasir mencakup proses penggilingan tebu, proses klarifikasi berbagai jenis nira olahan, proses penguapan atau evaporasi, dan proses kristalisasi (Khan *et al.*, 2024). Pertama, proses penggilingan tebu dilakukan untuk mengambil ekstrak nira dari batanhg tebu yang akan menghasilkan jenis nira perahan pertama (NPP) dengan kandungan sukrosa tertinggi dengan tingkat kontaminasi yang cukup sedikit (Bilaska-Kos *et al.*, 2020). Kedua, proses klarifikasi nira dilakukan dengan adanya penghilangan kotoran, koloid serta zat non-gula dengan adanya penambahan zat kimia seperti kapur dan asam fosfat (Eggleston *et al.*, 2012). Adanya reaksi pembentukan kalsium fosfat dapat membantu proses adsorpsi kotoran terlarut sehingga dihasilkan nira yang lebih jernih (Chandra *et al.*, 2015). Ketiga yaitu proses penguapan dalam tangki evaporator bertingkat untuk meningkatkan padatan terlarut hingga diperoleh nira kental dengan °Brix yang tinggi. Tahap ini sangat rentan pada proses pembentukan gula reduksi akibat dari proses pemanasan. Keempat, yaitu proses kristalisasi yang dilakukan di tangka vacuum untuk mengendapkan sukrosa dalam bentuk Kristal. Pengendalian kejenuhan sangat penting untuk mendapatkan Kristal dengan ukuran partikel gula pasir yang seragam (Periasamy *et al.*, 2025).

Proses pemurnian gula pasir dilakukan dengan beberapa macam cara diantaranya pemurnian raw sugar dengan pelarutan ulang dan pemisahan pengotor sebelum dilakukan kristalisasi ulang, pemurnian karbonatasi menggunakan CO₂ untuk mengendapkan kalsium karbonat yang mengadsorpsi zat warna dan pengotor, serta pemurnian sulfitasi dengan mengalirkan SO₂ pada nira sehingga terjadi penurunan warna dan penghambatan adanya warna coklat pada gula (Shyu *et al.*, 2019) (Muharja *et al.*, 2022).

Jenis-jenis nira dalam proses pengolahan gula pasir tebu yaitu nira perahan pertama (NPP), nira mentah (NM), nira encer (NE), dan nira kental (NK). Dimana Nira NPP adalah jenis nira hasil gilingan awal dengan kualitas terbaik, nira NM yaitu campuran dari nira sebelum dilakukan klarifikasi, NE adalah nira encer yang merupakan nira hasil klarifikasi dan pengenceran dan nira NK merupakan nira hasil penguapan dengan nilai °Brix tinggi (Abo *et al.*, 2024).

Gula pereduksi adalah gula yang mampu mereduksi ion logam, seperti glukosa dan fruktosa. Faktor penyebab pembentukan gula pereduksi meliputi: pH asam, suhu tinggi, waktu tinggal yang lama, aktivitas mikroorganisme, dan kelebihan atau kekurangan bahan kimia proses. Analisis gula pereduksi biasanya dilakukan menggunakan metode *Lane-Eynon* menurut ICUMSA. Metode ini

memanfaatkan sifat gula pereduksi terhadap ion Cu^{2+} dalam larutan Fehling (Sariwahyuni *et al.*, 2022).

Analisis fosfat dilakukan menggunakan metode asam askorbat berdasarkan spektrofotometri UV-Vis. Fosfat penting dalam proses penjernihan karena membentuk endapan kalsium fosfat yang membantu menghilangkan kontaminan. Kandungan fosfat yang tidak terkontrol dapat mengakibatkan pengendapan berlebih dan berdampak buruk pada stabilitas sirup (Yasipourtehrani *et al.*, 2019).

Pemahaman menyeluruh tentang berbagai aspek kimiawi dan biologis, standar kualitas, dan proses pembuatan gula pasir sangat penting untuk kualitas gula putih yang dihasilkan. Analisis gula pereduksi dan fosfat sangat penting dalam industri gula sebagai bagian dari sistem pengendalian mutu (Lu *et al.*, 2018).

Penelitian ini adalah studi deskriptif eksperimental-kuantitatif dengan pendekatan analisis kimia standar berdasarkan metode SNI dan ICUMSA yang umum digunakan di industri gula. Penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi perubahan parameter kimia utama dari nira tebu, yaitu fosfat, gula reduksi, dan ° Brix, dalam tahap pemrosesan selama periode 10 hari produksi berturut-turut. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi korelasi parameter dan pemrosesan parameter, serta proses parameter, berdasarkan data analisis laboratorium dari Pengendalian Kualitas (QC).

Penelitian ini dilakukan di laboratorium *Quality of Control* (QC) pabrik gula selama musim penggilingan. Pengambilan sampel dilakukan setiap hari pada waktu operasional dengan jam yang sama selama 10 hari berturut-turut.

Bahan yang digunakan diantaranya adalah Kieselghur murni, NaOH 0,1 N, H_2SO_4 , aquades (H_2O), Amonium molibdat, asam askorbat, Pb-Asetat-Netral, Natrium Fosfat, Kalium Oksalat, Fehling I, Fehling II, Metilen Biru, Kertas saring kasar dan kertas saring whatmann 40. Jenis sampel nira yang dianalisis Adalah nira perahan pertama (NPP), nira mentah (NM), nira encer (NE), nira kental (NK).

Alat yang digunakan Adalah neraca analitik, *hot plate*, spektrofotometer UV-Vis, refractometer, pH-meter, gelas arloji, spatula, beaker glass 100 mL dan 25 mL, pipet tetes, pipet ukur 5 mL, beaker glass 50 mL, labu ukur 50 mL, labu ukur 250 mL, bola hisap dan bola semprot.

Analisis fosfat dilakukan menggunakan metode asam askorbat, seperti yang tertuang dalam SNI 06-6989.31, dan dalam ICUMSA GS 5/7-10. Dalam larutan asam, ion ortofosfat bereaksi dengan ammonium molibdat dan kalium antimonitrat membentuk kompleks fosfomolibdat. Kompleks ini kemudian diubah oleh asam askorbat menjadi senyawa berwarna biru (biru molibdenum), intensitasnya berkaitan langsung dengan konsentrasi fosfat yang ada (Pai, 2025).

Analisis kadar fosfat dilakukan sebagaimana prosedur diantaranya yaitu Pertama, diukur 50 mL nira dengan gelas ukur 100 ml. Kedua, ditimbang 1 gram *Kieselghur* murni lalu ditambahkan dalam 50 mL nira yang akan dianalisis kemudian diaduk hingga larut sempurna. Ketiga, disaring campuran larutan tersebut dengan kertas saring biasa lalu dipipet sebanyak 25 mL dan dipindahkan ke dalam beaker glass 50 mL. Keempat, diukur pH larutan tersebut dengan pH-meter kemudian dinormalisasi hingga pH normal yaitu 7 dengan larutan H_2SO_4 0,1 N atau NaOH 0,1 N dan dipindahkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan H_2O hingga tanda batas dan dihomogenkan. Kelima, Dipipet 100 mL larutan dan dipindahkan ke beaker glass dan ditambahkan larutan ammonium molibdat. Selanjutnya dipanaskan diatas hotplate dan ditambahkan asam askorbat 0,1 gr dalam labu ukur 50 mL. selanjutnya diuji dengan spektrofotometri UV-Vis dengan Panjang gelombang 650 nm. Dilakukan pengulangan pada jenis nira yang lain.

Konsentrasi fosfat pada sampel sebelum dan sesudah penambahan fosfat dihitung menggunakan persamaan:

$$C_{fosfat} = \frac{A_{sampel}}{A_{standar}} \times C_{standar} \times FP \quad (1)$$

di mana:

- C_{fosfat} = konsentrasi fosfat (mg/L)
- A_{sampel} = absorbansi sampel
- $A_{standar}$ = absorbansi standar
- $C_{standar}$ = konsentrasi standar (mg/L)
- FP = faktor pengenceran

Awalnya, masing-masing 5 mL ditambahkan ke dalam Fehling A dan Fehling B, lalu direbus. Sampel nira yang sudah diencerkan kemudian dititrasikan hingga indikator biru metilen berubah dari biru menjadi tidak berwarna dan tetap tidak berwarna. Volume yang dititrasikan dicatat sebagai volume larutan sampel yang diperlukan untuk mereduksi larutan Fehling.

Analisa gula reduksi dilakukan dengan cara mengukur 75 mL sampel nira dalam labu ukur 250 mL kemudian ditambahkan 12 mL Timbal-Asetat-Netral dan terus ditambahkan H₂O hingga tanda batas. Kedua, disaring dan filtratnya diukur 200 mL untuk dimasukkan dalam labu ukur 250 mL untuk ditambahkan Na-Fosfat dan Kalium-Oksalat lalu ditambahkan H₂O hingga tanda batas dan dihomogenkan dan disaring. Lalu dilakukan titrasi dengan 5 ml Fehling I dan 5 mL Fehling II pada masing-masing labu ukur 250 ml dan ditambahkan batu didih. Lalu ditambahkan dengan 3 tetes metilen blue serta dididihkan hingga 2 menit hingga mendidih. Lalu, sedikit demi sedikit ditambahkan larutan sampel nira hingga berubah warna dan dicatat jumlah filtrat ini (Ahmad *et al.*, 2023).

Persentase gula reduksi dihitung menggunakan persamaan:

$$\%GR = \frac{F \times 100}{V \times FP} \quad (2)$$

di mana:

- % GR = persen gula reduksi
- F = faktor fehling
- V = volume titrasi sampel (mL)
- FP = faktor pengenceran

Pengukuran °Brix menggunakan refraktometer dilakukan sesuai dengan ICUMSA GS 4/3-13. Alat dikalibrasi dengan air murni pada suhu ruang. Sampel diletakkan di atas prisma refraktometer, dan nilai °Brix dibaca langsung. Setiap pengukuran dilakukan setidaknya dua kali untuk memastikan kevalidan hasil pengukuran.

Data hasil analisis fosfat, gula reduksi, dan °Brix disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mengamati tren perubahan antar tahapan pengolahan dan antar hari pengamatan. Evaluasi dilakukan secara deskriptif dengan pendekatan kendali mutu proses berdasarkan standar operasional pabrik gula.

HASIL DAN PEMBAHASAN

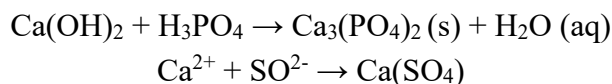
Proses produksi gula harus memantau kualitas nira, khususnya nira dari tebu. Indikator kimia seperti konsentrasi fosfat, gula reduksi, dan tingkat Brix (°Brix) adalah metrik penting untuk memantau keberhasilan tahap klarifikasi, evaporasi, dan kristalisasi. Penelitian ini memeriksa ketiga parameter ini secara bertahap selama pengolahan nira tebu, menggunakan data dari pabrik gula yang beroperasi selama sepuluh hari.

Perubahan Tingkat Fosfat dalam Nira Selama Tahap Klarifikasi

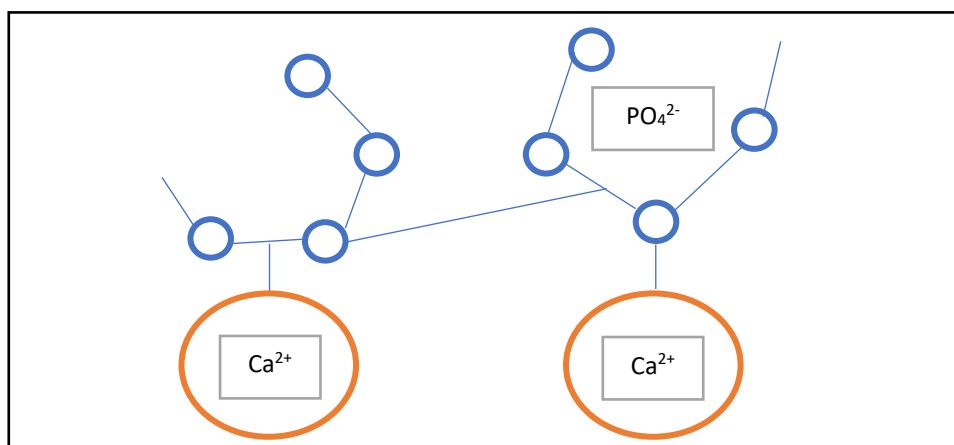
Asam fosfat ditambahkan ke dalam nira untuk membentuk endapan kalsium fosfat pada saat proses pemurnian dengan standard kandungan fosfat dalam nira sebesar 250-300 ppm. Mikrofilik terbentuk dari flok-flok dari endapan saat proses penjernihan nira karena asam fosfat akan mengikat unsur Ca^{2+} sehingga terbentuk tricalcium fosfat.

Penelitian yang dilakukan oleh Afifah *et al.*, (2022) menjelaskan bahwa transformasi asam abietate menjadi asam dehidroabietat dipengaruhi oleh kondisi reaksi dan lingkungan kimia. Hal ini menunjukkan bahwa pentingnya sebuah pengendalian parameter proses dalam system kimia terapan khususnya dalam industri gula.

Proses pengendapan senyawa bukan gula dengan menggunakan susu kapur melibatkan proses yang kompleks. Proses yang terjadi dapat dibedakan kedalam reaksi kimia dan perubahan fisik terjadinya koloid. Reaksi kimia pengendapan terjadi dengan: Penggabungan ion Ca dengan asam-asam organik dan anorganik membentuk garam kalsium sulfat larut ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Ca}(\text{SO}_4)$).



Selain itu tujuan lain penambahan asam fosfat dalam nira untuk meningkatkan kejernihan atau turbidity dari nira, meningkatkan derajat kemurnian nira, serta untuk menurunkan warna dari nira sehingga mendekati jernih. Gumpalan koloid yang terbentuk akan makin membesar dan proses pengendapan akan semakin cepat. Gumpalan koloid itu berikatan satu dengan lainnya melalui benang-benang flokulan. Benang flokulan itu menjadi tempat adsorpsi gumpalan-gumpalan koloid dalam nira serta menjadu jembatan pengikat antara satu partikel/gumpalan koloid yang satu dengan lainnya sehingga nira jadi jernih. Reaksi ini dipengaruhi oleh pH, konsentrasi bahan pembantu (susu kapur), suhu, dan kelarutan endapan dalam larutan sukrosa dan bukan gula. Sedangkan pengendapan fisik dari koloid nira dilakukan dengan menghilangkan stabilitas koloid.



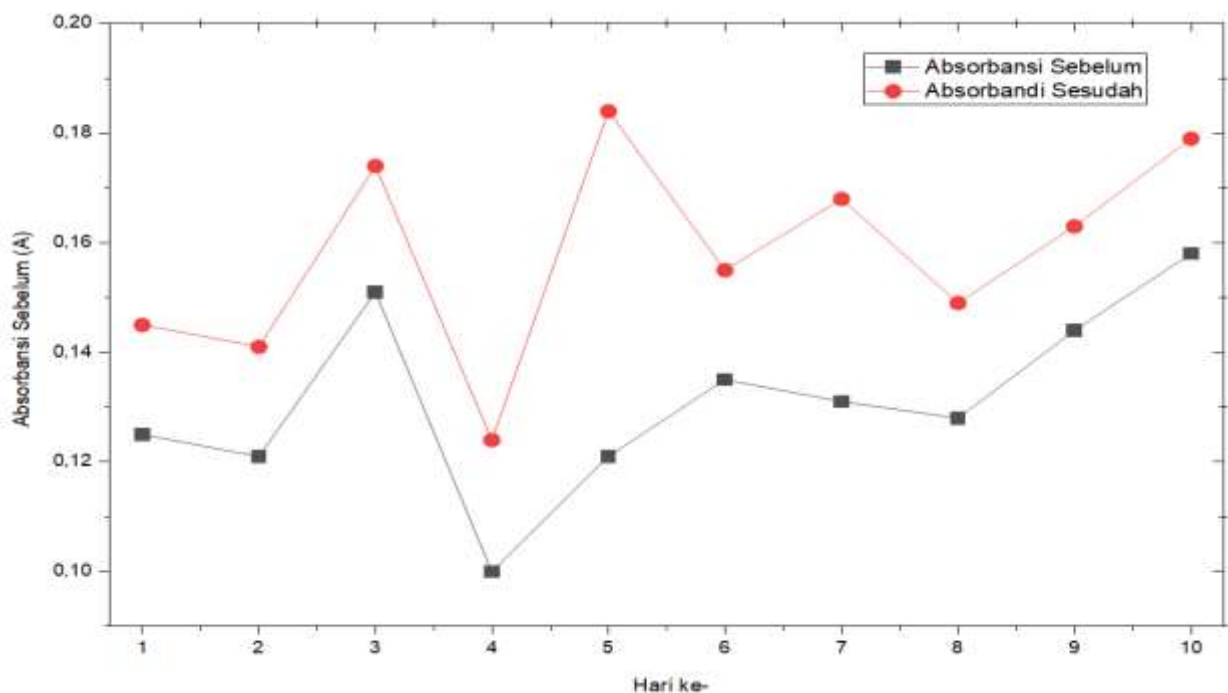
Gambar 1. Pembentukan mikroflor tricalcium fosfat

Berdasarkan tabel 1 terkait hasil analisis fosfat sebelum dan sesudah adanya penambahan asam fosfat saat proses pemurnian nira didapatkan hasil analisis selama 10 hari berturut-turut nira di industri gula yang diukur dengan spektroskopi UV-Vis yaitu absorbansi nira sebelum ditambahkan asam fosfat dan sesudah ditambahkan asam fosfat kemudian didapatkan nilai konsentrasi fosfat dalam nira sebelum dan sudah penambahan asam fosfat.

Tabel 1. Hasil analisis fosfat sebelum dan sesudah penambahan fosfat

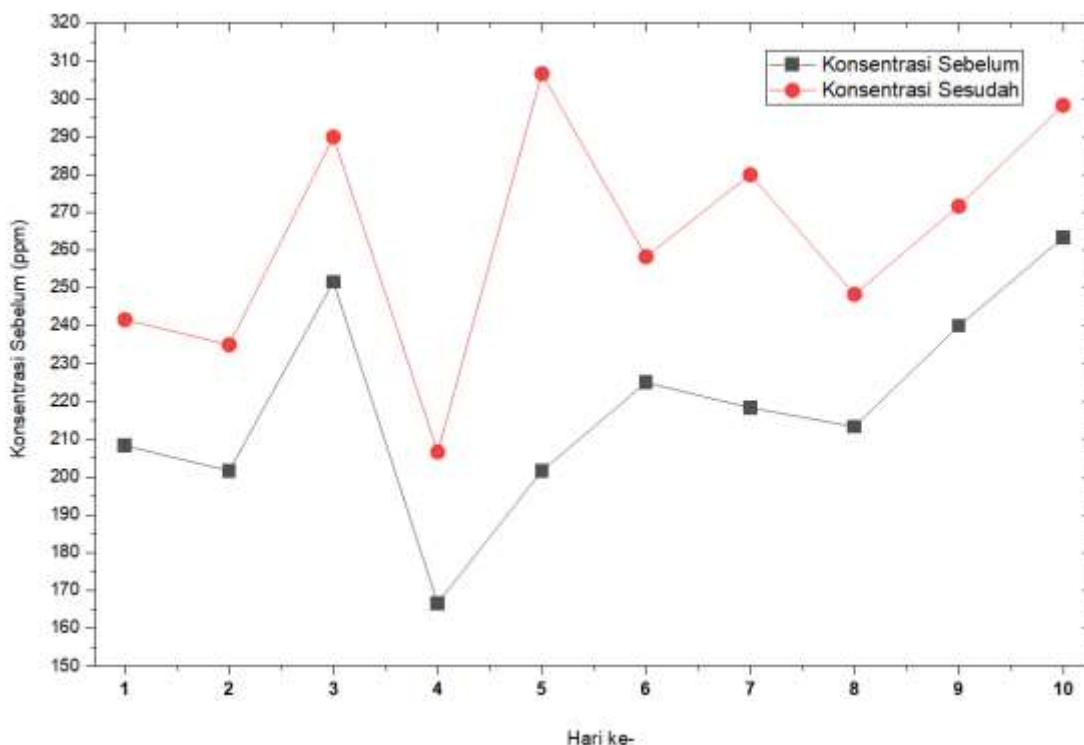
No.	Absorbansi standar (Å)	A nira sebelum (Å)	A nira sesudah (Å)	C sebelum (ppm)	C sesudah (ppm)
1	0,12	0,125	0,145	208,34	241,67
2	0,12	0,121	0,141	201,67	235
3	0,12	0,151	0,174	251,67	290
4	0,12	0,1	0,124	166,67	206,67
5	0,12	0,121	0,184	201,67	306,67
6	0,12	0,135	0,155	225	258,3
7	0,12	0,131	0,168	218,34	280
8	0,12	0,128	0,149	213,34	248,34
9	0,12	0,144	0,163	240	271,66
10	0,12	0,158	0,179	263,34	298,34

(Sumber: Pabrik Industri Gula Pasir di Jawa Timur)



Gambar 2. Grafik analisis kadar fosfat dengan spektroskopi UV-Vis

Dari gambar 2 diketahui absorbansi nira sebelum dan sesudah penambahan asam fosfat masih tergolong masuk dalam standar minimal kadar fosfat dalam nira kisaran antara 200 ppm sampai 300 ppm untuk mencapai proses pemurnian maksimum. Hal ini terbukti dari nilai absorbansi nira sebelum ditambahkan asam fosfat berada di bawah grafik absorbansi nira setelah penambahan asam fosfat dan masih dalam standar SNI dan ICUMSA.



Gambar 3. Grafik konsentrasi fosfat dalam nira sebelum dan sesudah penambahan asam fosfat pada hari ke-1 sampai hari ke-10

Berdasarkan Gambar 3 diketahui bahwa konsentrasi fosfat dalam nira saat proses pemurnian nira mengalami kenaikan setelah adanya penambahan asam fosfat. Fosfat sangat penting selama klarifikasi nira karena merupakan prekursor dalam produksi presipitat kalsium fosfat, yang membantu dalam adsorpsi koloid dan kotoran non-gula. Hasil analisis menunjukkan bahwa tingkat fosfat dalam nira yang belum mengalami perlakuan, yaitu dalam nira mentah, berada antara 166,67 ppm dan 263,34 ppm dengan rata-rata 219,00 ppm. Penambahan asam fosfat menyebabkan peningkatan konsentrasi fosfat menjadi kisaran 206,67 ppm dan 306,67 ppm dengan rata-rata konsentrasi fosfat 263,665 ppm. Peningkatan ini menunjukkan bahwa penambahan asam fosfat efektif dalam meningkatkan konsentrasi fosfat terlarut yang penting untuk pembentukan flok selama tahap klarifikasi. Hasil optimum proses pemurnian sistem defekasi dapat dicapai jika kandungan fosfat pada nira tebu sekitar 300 ppm dengan minimum kadar fosfat 200 ppm.

Pada hari ke-4 pengamatan menunjukkan penurunan signifikan pada kondisi setelah penambahan fosfat, yang menunjukkan bahwa mungkin terjadi presipitasi fosfat yang prematur, atau dosis sebelumnya dari asam fosfat dan kapur tidak seimbang. Fenomena ini mendukung teori fosfat berlebih yang mengarah pada pembentukan presipitat yang cepat dan tidak stabil, sehingga beberapa fosfat menjadi terasosiasi dan tidak terdeteksi dalam fase terlarut. Ini menekankan pentingnya kontrol yang tepat dalam dosis bahan kimia klarifikasi untuk mempertahankan efektivitas proses mereka.

Profil Gula Reduksi dalam Tahap Pengolahan Nira

Gula reduksi adalah parameter signifikan yang menunjukkan tingkat sukrosa yang terdegradasi dalam tahap pengolahan nira saat memproduksi gula pasir. Tujuan analisis ini untuk deteksi kualitas dengan mengetahui apabila kadar gula reduksi

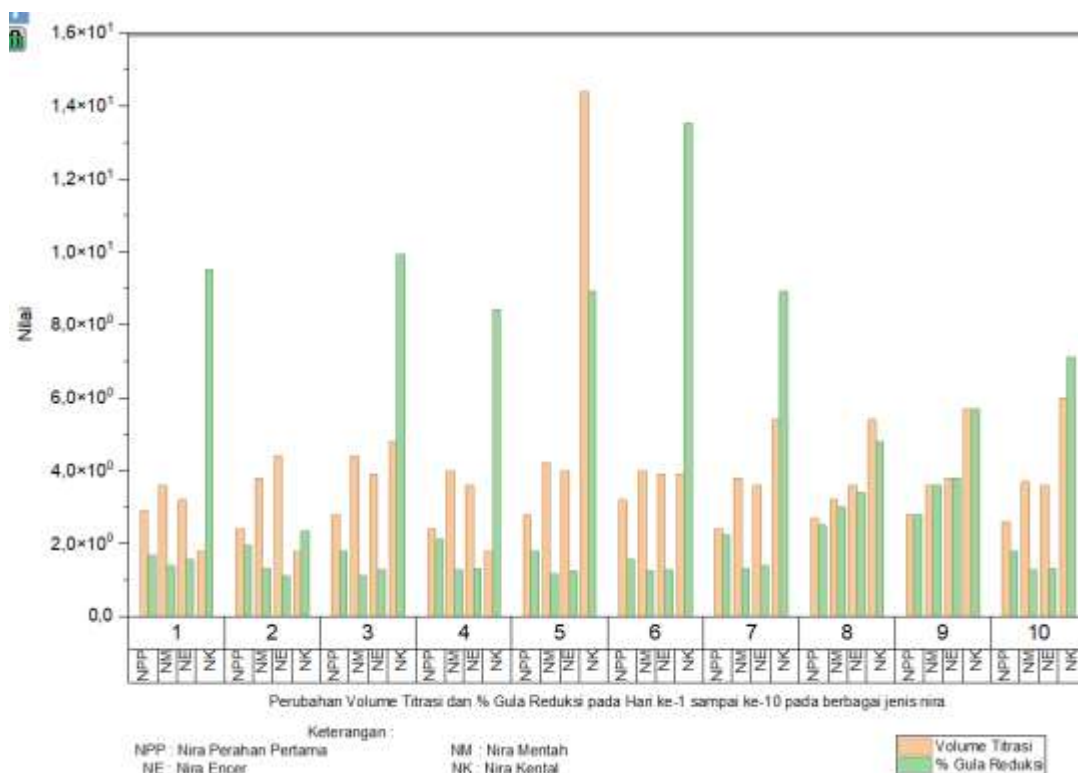
Dari analisis menggunakan metode Lane–Eynon, konsentrasi gula reduksi dalam nira yang pertama kali dianalisis relatif rendah dan stabil di 1,56-2,80%. Ini menunjukkan bahwa kualitas awal nira masih belum terjadi proses pembentukan flokulan karena terbukti kadar fosfatnya tidak ada atau

rendah. Begitupula sebaliknya jika setelah penambahan asam fosfat dalam nira maka akan terjadi proses flokulasi dan kadar fosfat meningkat dan ada sangat sedikit sukrosa yang mengalami inversi.

Tabel 2. Volume Hasil Titrasi dan % Gula Reduksi

No.	Volume Titrasi (mL)				% Gula Reduksi			
	NPP	NM	NE	NK	NPP	NM	NE	NK
1	2,9	3,6	3,2	0,6x3	1,67	1,39	1,56	3,17x3
2	2,4	3,8	4,4	0,6x3	1,95	1,31	1,11	0,78x3
3	2,8	4,4	3,9	1,6x3	1,80	1,11	1,27	3,31x3
4	2,4	4,0	3,6	0,6x3	2,12	1,27	1,31	2,81x3
5	2,8	4,2	4,0	4,8x3	1,8	1,17	1,24	2,97x3
6	3,2	4,0	3,9	1,3x3	1,56	1,24	1,27	4,51x3
7	2,4	3,8	3,6	1,8x3	2,24	1,31	1,39	2,97x3
8	2,7	3,2	3,6	1,8x3	2,5	3,0	3,4	1,6x3
9	2,8	3,6	3,8	1,9x3	2,8	3,6	3,8	1,9x3
10	2,6	3,7	3,6	2,0x3	1,8	1,27	1,31	2,37x3

Dalam nira mentah dan nira yang diencerkan, konsentrasi gula reduksi umumnya berada pada 1,1-1,4%, tetapi pada Hari 8 dan Hari 9, konsentrasi meningkat secara signifikan menjadi 3,0-3,8%. Ini menunjukkan adanya faktor pemrosesan tertentu yang memicu inversi sukrosa, yang bisa disebabkan oleh keasaman yang berlebihan, waktu retensi yang lama, atau keberadaan mikroorganismenya. Kondisi ini memerlukan perhatian tinggi, karena peningkatan gula reduksi pada tahap pengolahan awal dapat memiliki efek negatif kumulatif pada tahap pemrosesan berikutnya.



Gambar 4. Grafik analisis Volume titrasi dan % gula reduksi dengan dengan spektroskopi UV-Vis

Tingkat gula reduksi tertinggi ditemukan pada nira kental, dengan kisaran 2,34% hingga 13,53%. Nilai tinggi ini disebabkan oleh evaporasi pada suhu tinggi dalam waktu yang cukup lama. Pemanasan dalam kondisi asam dapat mempercepat hidrolisis sukrosa menjadi gula reduksi, yaitu

glukosa dan fruktosa. Temuan ini mendukung teori bahwa tahap evaporasi adalah titik kritis untuk pembentukan gula reduksi dalam industri gula. Fluktuasi kadar gula reduksi pada nira kental juga menunjukkan bahwa variasi kecil dalam kondisi operasi, seperti pH, suhu, dan waktu tinggal, dapat berdampak besar terhadap degradasi sukrosa. Tingginya gula reduksi berpotensi menurunkan mutu gula pasir karena berkontribusi terhadap pembentukan warna, peningkatan viskositas masakan, serta penurunan efisiensi kristalisasi. Oleh karena itu, pemantauan gula reduksi secara rutin menjadi indikator penting dalam sistem kendali mutu pabrik gula.

Hubungan Antara Volume Titration dan Kandungan Gula Reduksi

Data dari volume titrasi menunjukkan bahwa semakin sedikit volume titrasi yang dibutuhkan, semakin besar kandungan gula reduksi dalam sampel. Pada nira kental, volume titrasi yang sangat rendah (0,6-2,0 mL dengan pengenceran serial) menunjukkan konsentrasi gula reduksi yang sangat tinggi. Hubungan ini mengonfirmasi metode Lane-Eynon sebagai metode analitis untuk gula reduksi yang cukup sensitif dan dapat diterapkan untuk penggunaan rutin di laboratorium QC pabrik gula.

Perubahan dalam °Brix Selama Tahap Pengolahan

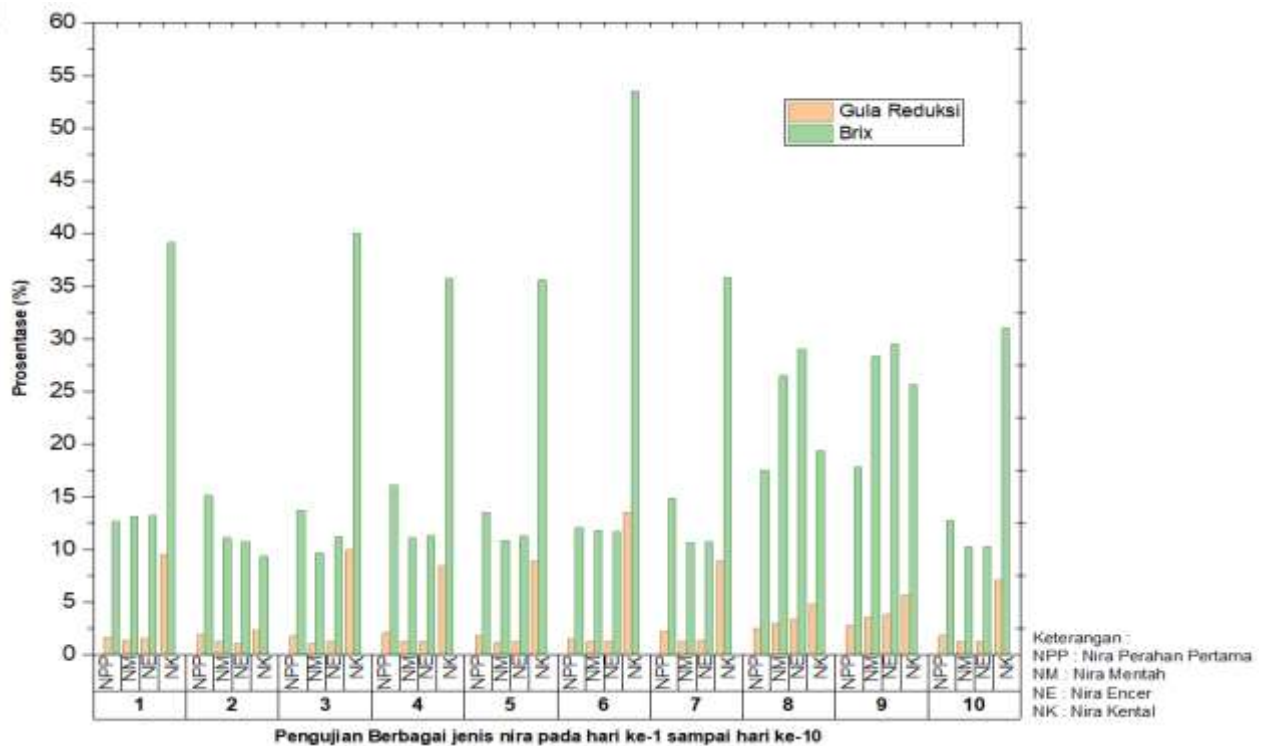
Nilai °Brix pada nira perahan pertama (NPP), nira mentah (NM), nira encer (NE), dan nira kental (NK) telah dianalisis selama 10 hari berturut-turut untuk mengetahui kondisi optimum duatu proses produksi gula. Berdasarkan Tabel 3 diketahui perbandingan % gula reduksi dengan °Brix berbagai jenis nira sebagai berikut :

Tabel 3. Volume Hasil Titration dan % Gula Reduksi

No.	% Gula Reduksi				°Brix			
	NPP	NM	NE	NK	NPP	NM	NE	NK
1	1,67	1,39	1,56	3,17x3	12,65	13,12	13,22	39,13
2	1,95	1,31	1,11	0,78x3	15,11	11,1	10,77	9,36
3	1,80	1,11	1,27	3,31x3	13,74	9,65	11,24	40,04
4	2,12	1,27	1,31	2,81x3	16,06	11,14	11,3	35,7
5	1,8	1,17	1,24	2,97x3	13,54	10,84	11,27	35,6
6	1,56	1,24	1,27	4,51x3	12,09	11,8	11,65	53,5
7	2,24	1,31	1,39	2,97x3	14,84	10,65	10,78	35,8
8	2,5	3,0	3,4	1,6x3	17,5	26,5	29,05	19,36
9	2,8	3,6	3,8	1,9x3	17,86	28,3	29,5	25,7
10	1,8	1,27	1,31	2,37x3	12,76	10,24	10,3	31,05

Hubungan Presentase gula reduksi dengan °Brix atau total padatan terlarut sangat erat karena gula redksi Adalah bagian dari TSS. Pada brics tidak secara eksklusif untuik mengukur konsentrasi gula. Brix mengukur semua padatan terlarut seperti sukrosa, gula reduksi, air mineral, dan asam sehingga brix tinggi. Jadi brix dapat tinggi maka otomatis gula reduksi rendah

Nilai °Brix menunjukkan jumlah total zat padat terlarut dalam nira, yang sebagian besar terdiri dari sukrosa dan zat terlarut lainnya. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa °Brix dari nira yang ditekan pertama kali berada dalam kisaran 12,9–15,1%, sedangkan °Brix dari nira mentah dan nira yang diencerkan berada dalam kisaran 10,3–12,9%. Penurunan °Brix dari nira tekan pertama menjadi nira mentah menunjukkan pengenceran dan penambahan bahan proses selama klarifikasi.



Gambar 5. Grafik Analisis % Gula Reduksi dengan °Brix pada berbagai jenis nira

Meskipun demikian, hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai °Brix yang tinggi tidak selalu mencerminkan mutu nira yang baik. Pada beberapa hari pengamatan, peningkatan °Brix nira kental disertai dengan peningkatan kadar gula reduksi yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun konsentrasi padatan terlarut meningkat, sebagian sukrosa telah terdegradasi menjadi gula reduksi akibat kondisi proses yang kurang terkendali.

Hubungan ini menegaskan bahwa °Brix tidak dapat digunakan sebagai satu-satunya indikator mutu nira. Evaluasi mutu harus dilakukan secara komprehensif dengan mempertimbangkan parameter kimia lainnya, khususnya gula reduksi dan kondisi klarifikasi. Dengan demikian, integrasi pengukuran °Brix, gula reduksi, dan fosfat menjadi pendekatan yang lebih akurat dalam pengendalian mutu nira dan optimasi proses pengolahan gula pasir.

Pada nira netal, nilai °Brix meningkat tajam menjadi 66,6-75,9%, menunjukkan bahwa proses evaporasi berhasil meningkatkan konsentrasi nira. Namun, peningkatan tinggi °Brix tidak selalu berkorelasi positif dengan kualitas getah, seperti yang ditunjukkan oleh tingginya konsentrasi gula pereduksi dalam getah yang terkonsentrasi. Ini menunjukkan bahwa °Brix harus dievaluasi bersama dengan parameter kimia lainnya, terutama gula pereduksi.

Penelitian ini menunjukkan bahwa fosfat, gula pereduksi, dan °Brix saling terkait dalam mendefinisikan kualitas nira. Klarifikasi yang efektif dengan jumlah fosfat yang optimal dapat mengurangi senyawa non-gula dan meningkatkan stabilitas getah, sehingga mengurangi pembentukan gula pereduksi pada tahap berikutnya. Sebaliknya, klarifikasi suboptimal dapat mempercepat degradasi sukrosa selama evaporasi dan kristalisasi.

Peningkatan tingkat signifikan gula pereduksi dalam jus tebu yang diuapkan menunjukkan bahwa tahap evaporasi adalah titik kontrol kritis dalam urutan pemrosesan gula. Oleh karena itu, pengendalian suhu, pH, dan waktu tinggal selama evaporasi sangat penting untuk meminimalkan reaksi inversi sukrosa.

Peningkatan gula pereduksi memiliki efek negatif pada kualitas gula putih, dan ini termasuk peningkatan kegelapan gula, peningkatan viskositas sirup gula, dan penurunan kristalisasi. Hal ini akan mengakibatkan gula yang dihasilkan gagal memenuhi standar kualitas SNI dan ICUMSA, terutama dalam kandungan gula pereduksi dan warna yang maksimum yang diizinkan.

KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian ini menghasilkan bahwa dalam menjaga mutu nira dan kualitas dari gula pasir, pengendalian secara terintegrasi fosfat, gula reduksi, dan °Brix adalah hal yang penting. Dari data operasional dalam 10 hari, dapat dilihat bahwa perubahan kondisi proses sangat kecil, namun hal itu dapat berpengaruh besar terhadap beberapa parameter kimia nira. Maka dari itu, analisis terstandar dengan pemantauan secara rutin, adalah sistem kendali mutu yang sangat merekomendasikan pabrik gula, analisis dengan asam askorbat dan Lane –Eynon.

DAFTAR PUSTAKA

- Abo, L. D., Hailegiorgis, S. M., Gindaba, G. T., Jayakumar, M., & Prabhu, S. V. (2024). A Comprehensive Review on Fouling of Heat Transfer Units in Sugar Factory Ethanol Plant: Mechanisms and Mitigation Methods. *Environmental Quality Management*, 34(2). <https://doi.org/10.1002/tqem.70003>
- Afifah, S. N., Masruri, M., Srihardyastutie, A., & Rahman, M. F. (2022). Directed Study of Abietic Acid Reaction in Pine Rosin under Non-PreciousMetal Catalyst. *Jurnal Kimia Valensi*, 8(1), 92–105. <https://doi.org/10.15408/jkv.v8i1.22802>
- Ahmad, R., Anjum, M. A., Erçişli, S., Malik, W., Sakar, E., Marc, R. A., & Karunakaran, R. (2023). Physico-Chemical Properties Revealed Huge Diversity in 50 Date Palm (*Phoenix Dactylifera* L.) Genotypes. *Folia Horticulturae*, 35(1), 107–122. <https://doi.org/10.2478/fhort-2023-0008>
- Ashraf, M., Rahmatullah, R., Ahmad, R., Afzal, M., Tahir, M., Kanwal, S., & Maqsood, M. A. (2009). Potassium and Silicon Improve Yield and Juice Quality in Sugarcane (*Saccharum Officinarum* L.) Under Salt Stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195(4), 284–291. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037x.2009.00364.x>
- Bilska-Kos, A., Mytych, J., Suski, S., Magoń, J., Ochodzki, P., & Żebrowski, J. (2020). Sucrose Phosphate Synthase (SPS), Sucrose Synthase (SUS) and Their Products in the Leaves of *Miscanthus × giganteus* and Zea Mays at Low Temperature. *Planta*, 252(2). <https://doi.org/10.1007/s00425-020-03421-2>
- Chandra, A., Verma, P. K., Islam, M., Grisham, M. P., Jain, R., Sharma, A., Roopendra, K., Singh, K., Singh, P., Verma, I., & Solomon, S. (2015). Expression Analysis of Genes Associated With Sucrose Accumulation in Sugarcane (*Saccharum* Spp. Hybrids) Varieties Differing in Content and Time of Peak Sucrose Storage. *Plant Biology*, 17(3), 608–617. <https://doi.org/10.1111/plb.12276>
- Chen, Z., Qin, C., Wang, M., Liao, F., Liao, Q., Liu, X., Li, Y., Lakshmanan, P., Minghua, L., & Huang, D. (2019). Ethylene-Mediated Improvement in Sucrose Accumulation in Ripening Sugarcane Involves Increased Sink Strength. *BMC Plant Biology*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1882-z>
- Doherty, W. O. (2011). Improved Sugar Cane Juice Clarification by Understanding Calcium Oxide-Phosphate-Sucrose Systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(5), 1829–1836. <https://doi.org/10.1021/jf1043212>
- Eggleston, G., Legendre, D., Pontif, K., & Gober, J. (2012). Improved Control of Sucrose Losses

- and Clarified Juice Turbidity With Lime Saccharate in Hot Lime Clarification of Sugarcane Juice and Other Comparisons With Milk of Lime. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(1), 311–325. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00779.x>
- Khan, Q., Qin, Y., Guo, D.-J., Huang, Y., Yang, L., Liang, Q., Song, X., Xing, Y., & Li, Y. (2024). Comparative Analysis of Sucrose-Regulatory Genes in High- And Low-Sucrose Sister Clones of Sugarcane. *Plants*, 13(5), 707. <https://doi.org/10.3390/plants13050707>
- Li, A., Chen, Z., Qin, C., Li, Z.-T., Liao, F., Wang, M., Lakshmanan, P., Li, Y., Wang, M., Pan, Y.-Q., & Huang, D. (2022). Proteomics Data Analysis Using Multiple Statistical Approaches Identified Proteins and Metabolic Networks Associated With Sucrose Accumulation in Sugarcane. *BMC Genomics*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12864-022-08768-2>
- Lu, Y., Gray, D. L., Yin, L., Thomas, L. C., & Schmidt, S. J. (2018). Unraveling the Wide Variation in the Thermal Behavior of Crystalline Sucrose Using an Enhanced Laboratory Recrystallization Method. *Crystal Growth & Design*, 18(2), 1070–1081. <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.7b01526>
- Muharja, M., Darmayanti, R. F., Widjaja, A., Firmansyah, A. A., & Karima, N. (2022). Simulasi Kenaikan Kapasitas Produksi Gula Pada Proses Karbonatasi Di Pt. Industri Gula Glenmore Menggunakan Perangkat Lunak Aspen Plus. *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 11(1). <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v1i1.39521>
- Ogando, F. I. B., Xastre, T., Simões, E. J., & Aguiar, C. L. de. (2021). Removal of Color and Turbidity in Sugarcane Juice Treated by Electrocoagulation With Aluminum Electrodes. *Brazilian Journal of Food Technology*, 24. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.23620>
- Pai, S. (2025). A Micro Peristaltic Pump-Driven Step-Flow Autoanalyzer: Application to the Determination of Nitrite, Phosphate, and Silicate. *Acs Omega*, 10(25), 27491–27500. <https://doi.org/10.1021/acsomega.5c03305>
- Periasamy, K., Rajakumar, M. S., Sanjai, D., & Selvam, R. (2025). Study and Analysis of the Industrial Processing of Molasses, Bagasse, and Press Mud. *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, 09(03), 1–8. <https://doi.org/10.55041/ijrem42350>
- Preisser, J., & Komor, E. (1991). Sucrose Uptake Into Vacuoles of Sugarcane Suspension Cells. *Planta*, 186(1). <https://doi.org/10.1007/bf00201505>
- Sariwahyuni, S. S., Amin, I., & Kurniawan, K. (2022). Optimasi Penambahan Susu Kapur Pada Nira Mentah Terhadap Ph Dan Volume Endapan Ca₃(po₄)₂ Di PTPN Xiv Unit Pabrik Gula Takalar. *Jurnal Teknologi Kimia Mineral*, 1(2), 86–89. <https://doi.org/10.61844/jtkm.v1i2.267>
- Shivalingamurthy, S. G., Anangi, R., Kalaipandian, S., Glassop, D., King, G. F., & Rae, A. L. (2018). Identification and Functional Characterization of Sugarcane Invertase Inhibitor (ShINH1): A Potential Candidate for Reducing Pre- And Post-Harvest Loss of Sucrose in Sugarcane. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00598>
- Shyu, Y., Hsiao, H., Fang, J.-Y., & Sung, W. (2019). Effects of Dark Brown Sugar Replacing Sucrose and Calcium Carbonate, Chitosan, and Chitooligosaccharide Addition on Acrylamide and 5-Hydroxymethylfurfural Mitigation in Brown Sugar Cookies. *Processes*, 7(6), 360. <https://doi.org/10.3390/pr7060360>
- Tawfeuk, H. Z., & Goma, R. (2017). Quality Parameters of Cane Juice and Its Liquors During the Processing Stages of Raw Sugar Under Prevailing Industrial Conditions. *Journal of Food and Dairy Sciences*, 8(10), 401–404. <https://doi.org/10.21608/jfds.2017.38918>
- Thai, C. C., Moghaddam, L., & Doherty, W. O. (2015). Calcium Phosphate Floccs and the Clarification of Sugar Cane Juice From Whole of Crop Harvesting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(5), 1573–1581. <https://doi.org/10.1021/jf502229f>

Yasipourtehrani, S., Strezov, V., & Evans, T. (2019). Investigation of Phosphate Removal Capability of Blast Furnace Slag in Wastewater Treatment. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43896-y>