

## **ANALISIS VARIABEL PROSES YANG DIPENGARUHI OLEH TEKANAN UAP BEKAS *QUINTUPLE EFFECT SYSTEM* EVAPORATOR DI PG KEDAWOENG, PASURUAN**

Agung Suwandi Wijaya<sup>1</sup>, Moch. Ichsan Ardiansyah<sup>1</sup>, Dyah Ratna Wulan<sup>1</sup>, Agus Suwito<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Indonesia

<sup>2</sup>PTPN XI PG Kedawoeng, Jl. Kedawoeng Kulon No. KM, RW.1, Kec. Grati, Pasuruan, Indonesia  
sinyowijaya2000@gmail.com ; [ratnawln@polinema.ac.id]

### **ABSTRAK**

Indonesia adalah negara agraris yang memiliki potensi pertanian, salah satu hasil pertanian negara Indonesia adalah tebu. Pabrik Gula (PG) Kedawoeng merupakan salah satu pabrik pengolahan gula milik BUMN yang dibawah oleh PT Perkebunan Nusantara XI yang ada di Jawa Timur. Proses pembuatan Gula Kristal Putih (GKP) pada PG Kedawoeng melewati beberapa tahap yaitu; proses *diffuser* (penggilingan), pemurnian, penguapan, pemasakan, pemutaran, dan proses pengemasan atau tahap akhir. Tekanan uap bekas optimum yang diterapkan PG Kedawoeng adalah sebesar 0,6 kg/cm<sup>2</sup>, pada proses lapangan yang terjadi terdapat perbedaan variabel tekanan uap bekas hingga berkurang menjadi 0,4 kg/cm<sup>2</sup>. Tujuan analisis tekanan uap bekas ini adalah untuk mengetahui perbandingan hasil %brix keluaran stasiun penguapan dan variabel proses lain akibat adanya perbedaan tekanan uap bekas yang dihasilkan. Metode untuk penentuan %brix serta laju massa nira kental sulfitasi (NKS) yaitu menggunakan perhitungan neraca massa *multiple effect evaporator*. Hasil dari analisis yang dilakukan adalah pada tekanan Ube optimum 0,6 kg/cm<sup>2</sup> kadar %brix NKS sebesar 64%, laju alir NKS 28,52 ton/jam, dengan titik didih nira sebesar 78,4°C sedangkan pada tekanan Ube 0,4 kg/cm<sup>2</sup> kadar %brix NKS sebesar 58%, laju alir NKS 24,75 ton/jam, dengan titik didih nira sebesar 63,2°C. Hasil analisis diharapkan dapat menjadi acuan agar stasiun penguapan pada PG Kedawoeng dapat terus berjalan dengan kondisi optimum.

**Kata kunci:** %brix, Evaporator, Gula, PTPN XI, Uap bekas

### **ABSTRACT**

Indonesia is an agricultural country that has agricultural potential, one of Indonesia's agricultural products is sugar cane. The Kedawoeng Sugar Factory (PG) is one of the BUMN owned sugar processing factories under PT Perkebunan Nusantara XI in East Java. The process of making White Crystal Sugar (GKP) at PG Kedawoeng goes through several stages, namely; *diffuser* (milling), purification, evaporation, cooking, screening, and packaging processes or the final stage. The optimum used steam pressure applied by PG Kedawoeng is 0.6 kg/cm<sup>2</sup>, in the field process there is a difference in the used steam pressure variable until it is reduced to 0.4 kg/cm<sup>2</sup>. Some of the purposes of this used steam pressure analysis are to compare the results of %brix output from the evaporation station and other process variables due to differences in the pressure of the spent steam produced. The method for determining %brix and the mass rate of sulphate viscous juice (NKS) is to use a multiple effect evaporator mass balance calculation. The results of the analysis carried out were at an optimum Ube pressure of 0.6 kg/cm<sup>2</sup>, the concentration of %brix NKS was 64%, the NKS flow rate was 28.52 tons/hour, with a boiling point of sap 78.4°C while at Ube pressure of 0, 4 kg/cm<sup>2</sup> %brix NKS content is 58%, NKS flow rate is 24.75 tons/hour, with a boiling point of sap of 63.2°C. The results of the analysis are expected to be a reference so that the evaporation station at PG Kedawoeng can continue to run with optimum conditions.

**Keywords:** %brix, Evaporator, Sugar, PTPN XI, Used steam

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara agraris memiliki sumber daya alam yang beraneka ragam serta memiliki potensi pertanian. Potensi pertanian merupakan penyumbang pertumbuhan terbesar di Indonesia, salah satunya peranan penting sektor pertanian yaitu pemenuhan kebutuhan pokok. Pemenuhan kebutuhan pokok ini salah satunya adalah produk gula kristal putih (GKP). GKP dibuat dari tebu yang diolah melalui berbagai tahapan proses. Dalam batang tebu terkandung sukrosa berkisar 8–16%, fiber serat berkisar 11–16%, air 69–76% dan padatan lainnya [1].

Tanaman tebu tidak ditanam pada seluruh wilayah Indonesia, melainkan hanya di beberapa Provinsi saja di Indonesia. Jawa Timur merupakan salah satu Provinsi di Indonesia yang memiliki 16 pabrik gula yang tersebar di beberapa daerah milik Badan Usaha Milik Negara (BUMN). Pada tahun 2010-2017, produksi tanaman tebu di Jawa Timur memiliki rata-rata sebesar 1.143.494,25 ton [2]. Jumlah tersebut secara tidak langsung dituntut mampu memenuhi kebutuhan bahan baku PG yang ada di Jawa Timur. Pada tahun 2021 tebu yang digiling tiap harinya oleh Pabrik Gula (PG) Kedawoeng tiap harinya harus tidak kurang dari 2400 TCD (*Ton Cane Day*) supaya tetap sesuai dengan target produksi GKP harian yaitu  $\pm 15$  ton GKP per hari. Pada PG Kedawoeng, Pasuruan proses pengolahan tebu menggunakan proses difusi pada stasiun diffuser.

PG Kedawoeng memiliki 5 stasiun pengolahan, mulai dari stasiun diffuser, stasiun pemurnian, stasiun penguapan, stasiun pemasakan, dan stasiun putaran, adapun tempat untuk proses pengemasan produk dan gudang. Kualitas gula yang baik dapat ditinjau dari nira tebu yang diperas. Kriteria mutu GKP yang berlaku di Indonesia berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 3140.3:2010) saat ini pada dasarnya mengacu pada kriteria lama yang dikenal dengan SHS (*Superieure Hoofd Suiker*) [3]. Nira tebu mengandung sukrosa dan komponen lain seperti gula pereduksi (glukosa dan fruktosa), serat, zat bukan gula dan air. Sukrosa dapat terhidrolisis menjadi D-glukosa dan D-fruktosa apabila dalam kondisi asam, suhu dan dalam pH yang terlalu tinggi [4], sehingga diperlukan kontrol suhu untuk dapat menghasilkan nira tebu menjadi GKP yang dominan mengandung sukrosa dan bukan D-glukosa maupun D-fruktosa. Nira tebu yang sebelumnya diproses di stasiun pemurnian akan melewati proses penambahan gas  $SO_2$  pada tangki sulfitir untuk proses *bleaching* nira mentah serta menetralkan pH nira dari 8,5 menjadi 7-7,2, adanya gas  $SO_2$  akan menghasilkan nira mentah sulfitasi (NMS) yang jernih. Evaporator mempunyai dua prinsip dasar, yang pertama untuk menukar panas dan untuk memisahkan uap yang terbentuk dari cairan [5]. Evaporator yang terdapat di stasiun penguapan PG Kedawoeng berfungsi untuk mengubah sebagian atau keseluruhan sebuah pelarut yang ada pada NMS menjadi uap, sehingga NMS yang masuk pada evaporator dengan berbagai tahapan evaporasi akan menjadi nira kental sulfitasi (NKS) karena penguapan pelarut yang ada di dalamnya. NKS selanjutnya akan diproses pada pan masakan hingga putaran dan akan menghasilkan GKP yang siap di distribusikan.

Berdasarkan penelitian terdahulu yang pernah dilakukan oleh Pusat Penelitian Perkebunan Gula di Indonesia, menyatakan bahwa PG yang efisien, memiliki instalasi yang seimbang, menggunakan peralatan yang efisien, dengan kapasitas dan kualitas tebu giling yang memadai [6]. Selanjutnya berdasarkan pengembangan penelitian yang telah dilakukan

oleh Storia (2016), menyatakan bahwa proses evaporasi penting untuk dikaji ulang prosesnya sehingga diketahui proses perpindahan massa dan panas yang terjadi. Panas untuk proses penguapan nira mentah sulfitasi diperoleh dari uap bekas dengan tekanan tertentu. Tinjauan yang telah dilakukan di stasiun penguapan PG Kedawoeng, berdasarkan data proses produksi yang didapatkan pada 2 bulan terakhir yaitu bulan Juni dan Juli 2021, sempat terjadi perubahan tekanan uap bekas, masing-masing  $0,4 \text{ kg/cm}^2$  dan  $0,6 \text{ kg/cm}^2$ . Perbedaan tersebut berpengaruh pada variabel proses lain seperti; hasil %brix NKS, laju NKS, titik didih nira, serta titik jenuh air yang dihasilkan pada stasiun penguapan [9].

Pada artikel ini dilakukan perbandingan variabel proses dari data kedua tekanan uap bekas untuk dapat menghasilkan laju NKS yang sesuai %brix (60%-64%) [7], sehingga akan dihasilkan gula kristal putih dengan *International Commission For Uniform Methods of Sugar Analysis* (ICUMSA) <300 sesuai dengan SNI. Dengan demikian, analisis ini diharapkan dapat digunakan menjadi landasan kondisi proses dalam menghasilkan NKS yang sesuai.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan observasi dan pengumpulan data. Metode observasi (pengamatan) dengan cara peninjauan secara langsung terhadap obyek penelitian, pengamatan dilakukan pada badan penguapan di stasiun penguapan PG Kedawoeng, Pasuruan. Selanjutnya untuk metode pengumpulan data yaitu dengan mengumpulkan data proses dan kondisi operasi seperti *working pressure*, *nira percentage*, *%brix content*, dan pengumpulan data-data persamaan pendukung melalui internet maupun pustaka.

### 2.2. Data Operasi

Data proses didapatkan secara langsung dari kantor pengolahan di bulan Juni dan Juli 2021 untuk proses pemurnian, penguapan serta masakan, meliputi persentase nira encer, nira mentah, nilai kadar %brix NKS hingga imbibisi tebu dengan nilai tekanan uap pipa Ube  $0,6 \text{ kg/cm}^2$  dan  $0,4 \text{ kg/cm}^2$ .

### 2.3. Metode Perhitungan

Penentuan jumlah umpan nira encer masuk stasiun penguapan berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan oleh PG Kedawoeng [7].

$$F = NE \% \text{ tebu} \times n \left[ \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \right] \quad (1)$$

Dengan F adalah laju massa nira encer (NE), dan n adalah jumlah tebu setara NE. Penentuan jumlah produk akhir stasiun penguapan didasarkan pada perhitungan pada buku Geankoplis [8].

$$F = L5 + (V1 + V2 + V3 + V4 + V5)$$

$$F = L5 + V \text{ total}$$

$$L5 = F - V \text{ total} \quad (2)$$

Dengan L5 merupakan laju massa produk nira kental sulfitasi yang keluar BP V, dan V1 hingga V5 adalah banyaknya air yang diuapkan pada tiap badan penguapan 1 hingga 5.

Perhitungan penentuan banyaknya air yang diuapkan tiap-tiap badan penguapan di Stasiun Penguapan berdasarkan perhitungan Geankoplis [8].

$$BP V = x \text{ ton/jam}$$

$$BP IV = x \text{ ton/jam}$$

$$BP III = x \text{ ton/jam}$$

$$BP II = x \text{ ton/jam}$$

$$BP I = (x + \text{Bleed BP I}) \text{ ton/jam}$$

$$V \text{ Total} = (5x + \text{Bleed BP I}) \text{ ton/jam} \quad (3)$$

Dengan BP I – V adalah Badan Penguapan 1 hingga ke 5, selanjutnya *Bleed BP I* adalah uap nira hasil hasil penguapan pada badan penguapan 1. Penentuan jumlah produk keluar tiap-tiap badan penguapan dapat dihitung dengan meninjau neraca massa tiap badan penguapan berdasarkan perhitungan Geankoplis [8], sebagai berikut :

$$L4 = V5 + L5$$

$$L3 = V4 + L4$$

$$L2 = V3 + L3$$

$$L1 = V2 + L2 \quad (4)$$

Dengan L1 hingga L4 merupakan laju massa NKS pada badan penguapan 1 hingga 4. Hasil perhitungan laju massa dalam satuan ton/jam, dengan nilai L5 akan didapatkan pada perhitungan di poin 5. Perhitungan penentuan kadar %brix produk keluar tiap-tiap badan penguapan berdasarkan perhitungan Geankoplis [8] adalah sebagai berikut :

$$F.XF = L1.X1$$

$$L1.X1 = L2.X2$$

$$L2.X2 = L3.X3$$

$$L3.X3 = L4.X4$$

$$L4.X4 = L5.X5 \quad (5)$$

Dengan X1 hingga X5 menyatakan konsentrasi nira pada badan penguapan 1 hingga 5 yang dinyatakan dalam %brix.

Perhitungan penentuan kadar %brix rata-rata pada tiap badan penguapan untuk menentukan kenaikan titik didih nira akibat kenaikan titik %brix dan adanya tekanan hidrostatik dalam BP berdasarkan perhitungan literatur Storia [9] adalah sebagai berikut:

$$B_R I = \frac{\text{brix NE umpan} + \text{brix BP I}}{2}$$

$$B_R II = \frac{\text{brix BP I} + \text{brix BP II}}{2}$$

$$B_R III = \frac{\text{brix BP II} + \text{brix BP III}}{2}$$

$$B_R IV = \frac{\text{brix BP III} + \text{brix BP IV}}{2}$$

$$B_R V = \frac{\text{brix BP IV} + \text{brix BP V}}{2} \quad (6)$$

Dengan  $B_R I$  hingga  $B_R V$  adalah %brix rata-rata pada badan penguapan 1 hingga 5. Perhitungan kenaikan titik didih akibat kenaikan kadar %brix yang terjadi selama proses penguapan berdasarkan literatur Storia [9].

$$BPR_{\text{brix I}} = \frac{2 \times (B_R I \times 100)}{Td \text{ air (STP)} - (B_R I \times 100)}$$

$$BPR_{\text{brix II}} = \frac{2 \times (B_R II \times 100)}{Td \text{ air (STP)} - (B_R II \times 100)}$$

$$BPR_{\text{brix III}} = \frac{2 \times (B_R III \times 100)}{Td \text{ air (STP)} - (B_R III \times 100)}$$

$$BPR_{\text{brix IV}} = \frac{2 \times (B_R IV \times 100)}{Td \text{ air (STP)} - (B_R IV \times 100)}$$

$$BPR_{\text{brix V}} = \frac{2 \times (B_R V \times 100)}{Td \text{ air (STP)} - (B_R V \times 100)} \quad (7)$$

Dengan *Boiling Point Rise* ( $BPR$ )<sub>%brix I</sub> hingga V adalah kenaikan kadar %brix pada badan penguapan 1 hingga 5, dan titik didih air pada kondisi *Standard Temperature and Pressure* (STP) dibulatkan sebesar 100 °C.

Perhitungan kenaikan titik didih nira kental juga dipengaruhi oleh tekanan hidrostatik nira yang semakin bertambah akibat dari massa jenis nira kental yang semakin besar. Perhitungan nilai kenaikan titik didih nira akibat tekanan hidrostatik dapat ditentukan dengan interpolasi data %brix rata-rata dengan data BPR hidrostatik pada Tabel 32.3 buku *Handbook of cane sugar engineering* [10] dengan rumus sebagai berikut :

$$BPR_{\text{cari}} = BPR_{\text{atas}} + \left[ (B_R - B_{\text{atas}}) \times \left( \frac{BPR_{\text{bawah}} - BPR_{\text{atas}}}{B_{\text{bawah}} - B_{\text{atas}}} \right) \right] \quad (8)$$

Dengan  $B_{\text{atas}}$  adalah angka %brix atas, dan  $B_{\text{bawah}}$  adalah angka %brix bawah pada tabel perhitungan, selanjutnya  $BPR_{\text{atas}}$  adalah nilai BPR pada bagian atas, dan  $BPR_{\text{bawah}}$  adalah angka BPR pada bagian bawah pada tabel perhitungan. Angka  $B_R$  menunjukkan nilai BPR akibat kenaikan %brix untuk tiap kenaikan BPR akibat tekanan hidrostatik pada tiap BP.

Perhitungan titik didih nira kental tiap badan penguapan berdasarkan Hugot [10] dapat dihitung dengan menjumlahkan temperatur kerja dengan total kenaikan titik didih pada tiap badan penguapan.

$$T_D = T_{BP} + BPR_{\text{brix}} + BPR_{\text{Hidrostatik}} \quad (9)$$

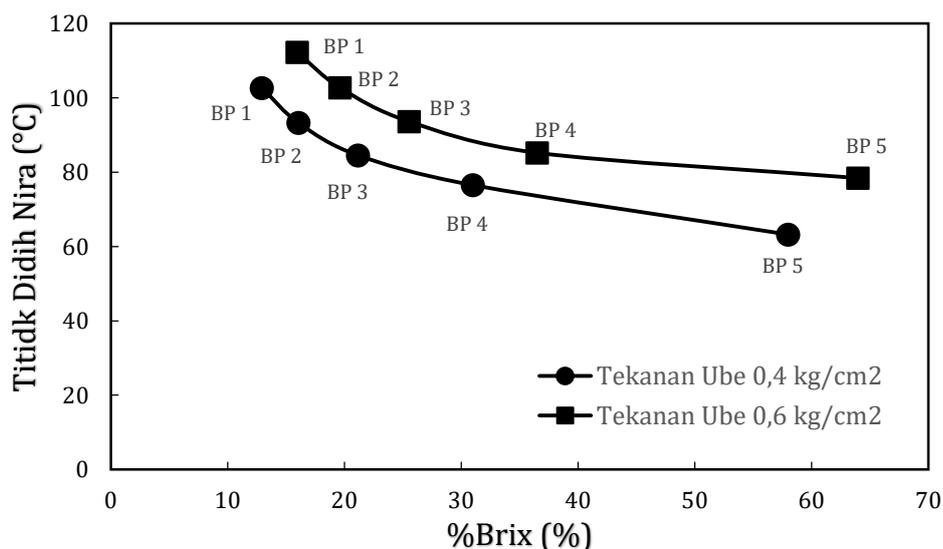
Dengan  $T_D$  adalah titik didih nira kental,  $T_{BP}$  adalah temperature kerja badan penguapan,  $BPR_{\text{brix}}$  adalah kenaikan titik didih akibat kenaikan %brix,  $BPR_{\text{Hidrostatik}}$  adalah kenaikan titik didih akibat tekanan hidrostatik.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada PG Kedawoeng terkhusus di stasiun penguapan merupakan stasiun yang berfungsi sebagai tempat penghilangan kandungan air pada nira encer hasil dari pemurnian pada stasiun pemurnian dengan jalan penguapan bertingkat. Pada stasiun ini, terdapat rangkaian badan penguapan dengan konfigurasi *Quintuple-Effect system*, atau operasi 5 badan penguapan sekaligus. Sistem ini memiliki 1 cadangan badan penguapan yang tersedia, yang bisa dipakai sewaktu-waktu jika ada badan lain yang berada dalam *maintenance* baik itu proses pembersihan, *scrubbing*, maupun penggantian suku cadang. Evaporator atau badan penguapan mempunyai dua prinsip dasar yaitu untuk menukar panas dan memisahkan uap yang terbentuk dari cairan. Hasil dari evaporator (produk yang diinginkan) biasanya dapat berupa padatan atau larutan berkonsentrasi [7].

Tekanan Ube berperan penting dalam menghasilkan suplai panas yang baik untuk proses penguapan di tiap badan penguapan [9]. Tekanan Ube optimum yang diterapkan PG Kedawoeng adalah sebesar  $0,6 \text{ kg/cm}^2$  namun sempat mengalami penurunan tekanan sebesar  $0,4 \text{ kg/cm}^2$  pada bulan Juni 2021. Hal ini berpengaruh kepada perubahan nilai variabel proses. Indikator / parameter utama dalam stasiun penguapan ini adalah %brix nira kental sulfitasi yang dihasilkan pada badan penguapan terakhir sebagai inputan atau bahan untuk proses masakan di stasiun masakan. Target capaian dari stasiun penguapan ini adalah nira kental sulfitasi dengan nilai %brix 64.

Pengukuran kadar %brix dilakukan menggunakan polarimeter secara langsung. %brix adalah jumlah zat padat semu yang larut (dalam gr) dalam setiap 100 gram larutan. Jadi dapat disimpulkan jika kadar %brix nira = 16, artinya dalam 100 gram larutan nira terkandung gula 16 gram. Selebihnya 84 gram adalah air dan zat terlarut bukan gula [11]. Perbedaan variabel proses tekanan uap bekas berpengaruh pada hasil %brix nira yang dihasilkan dikarenakan badan penguapan pertama kurang mendapatkan kondisi vakum dari *supply* tekanan Ube, sehingga proses evaporasi tiap BP menjadi berkurang / menurun, dan berpengaruh pada hasil %brix serta laju nira kental sulfitasi di stasiun penguapan.



**Gambar 1.** Perbandingan nilai titik didih nira terhadap %brix NKS dihasilkan tiap BP pada tekanan Ube  $0,4 \text{ kg/cm}^2$  dan  $0,6 \text{ kg/cm}^2$

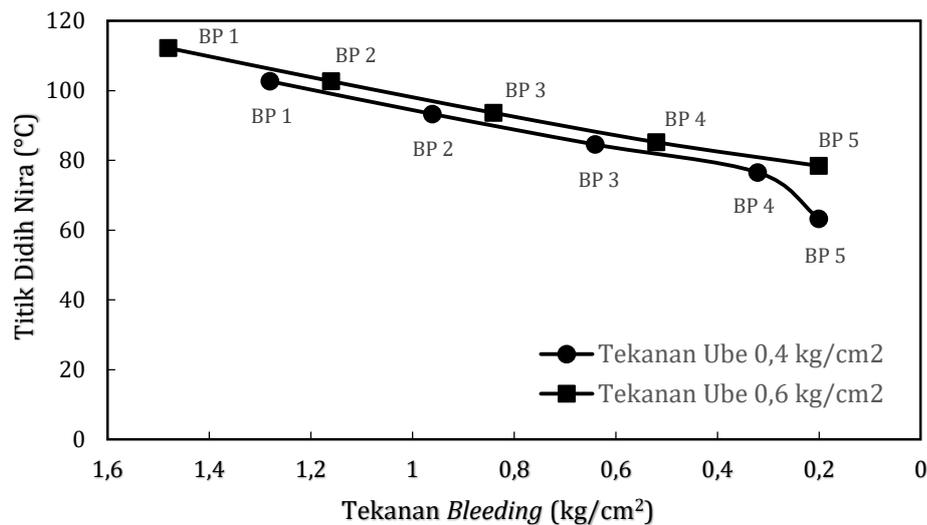
Grafik di Gambar 1 merupakan grafik hubungan antara %brix dengan titik didih nira yang dihasilkan pada PG Kedawoeng, dapat dilihat bahwa tekanan Ube  $0,4 \text{ kg/cm}^2$  hanya dapat menghasilkan %brix NKS pada angka 58 kurang dari target sasaran, dengan titik didih niranya di angka  $63,2^\circ\text{C}$ . Sedangkan pada tekanan Ube  $0,6 \text{ kg/cm}^2$ , angka %brix yang dihasilkan menjadi 64 sesuai dengan target / parameter yang diharapkan dan titik didih yang dicapai yaitu  $78,4^\circ\text{C}$  lebih besar dari data tekanan Ube sebelumnya.

Larutan nira pada badan penguapan akan memiliki titik didih yang lebih tinggi dari pelarut murni ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Larutan tersebut terdiri dari pelarut yang memiliki titik didih rendah dan zat terlarut yang memiliki titik didih tinggi sehingga pelarut akan menguap dan hanya menyisakan larutan yang lebih pekat dan memiliki konsentrasi yang tinggi. Semakin banyak zat yang terlarut di dalam pelarut murni maka larutan tersebut akan memiliki BPR yang semakin besar dari air [9]. Larutan nira merupakan campuran dari air dan gula, sehingga titik didih nira akan lebih tinggi dibandingkan air. Titik didih nira berbanding terbalik dengan %brix Nira Kental Sulfitasi (NKS) pada stasiun penguapan dimana semakin besar nilai %brix NKS maka semakin kecil nilai titik didih nira di dalamnya. Pelarut di dalam larutan nira encer akan ter evaporasi dan menghasilkan larutan nira yang kental dengan dibantu adanya kondisi vakum pada tiap badan penguapan [4].

**Tabel 1.** Nilai BPR dan %brix tiap BP pada masing-masing tekanan Ube

Badan	Tek. Ube $0,4 \text{ kg/cm}^2$		Tek. Ube $0,6 \text{ kg/cm}^2$	
	BPR	%brix	BPR	%brix
BP I	0,2592	12,9488	0,3303	15,9576
BP II	0,3394	16,0692	0,4331	19,6441
BP III	0,4576	21,1711	0,5838	25,5457
BP IV	0,7062	31,0195	0,8998	36,516
BP V	1,6042	58	2,0207	64

Pada tabel 1 menunjukkan nilai BPR pada tiap badan penguapan dengan variabel proses tekanan Ube sebesar  $0,4$  dan  $0,6 \text{ kg/cm}^2$ . Nilai %brix 64 pada BP kelima menunjukkan bahwa 64% dari larutan tersebut adalah zat padat terlarut sedangkan 36% sisanya adalah air. Jumlah tersebut menunjukkan bahwa pelarut yang terkandung dalam larutan nira semakin sedikit dan jumlah zat terlarutnya semakin banyak. Larutan akan memiliki titik didih lebih tinggi dari pelarut murni, hal ini terjadi setiap kali zat terlarut non-volatile, seperti gula, ditambahkan ke pelarut murni, sehingga dengan jumlah zat padat terlarut yang besar akan membuat titik didih nira semakin tinggi dibandingkan air [9]. Pada %brix paling kecil pada BP 1 tekanan Ube  $0,4 \text{ kg/cm}^2$ , BPR hanya bernilai  $0,2592^\circ\text{C}$ , untuk %brix paling besar berada pada BP 5 tekanan Ube  $0,6 \text{ kg/cm}^2$ , BPR yang didapat mencapai nilai  $2,0207^\circ\text{C}$ . Semakin banyak zat terlarut dalam larutan nira maka titik didih nira akan semakin jauh diatas air dan membuat nira menjadi kental karena proses penguapan pelarut nira secara terus menerus [12]. Pada tabel 1 dapat terlihat bahwa nilai BPR yang semakin besar akan berbanding lurus dengan %brix yang dihasilkan.

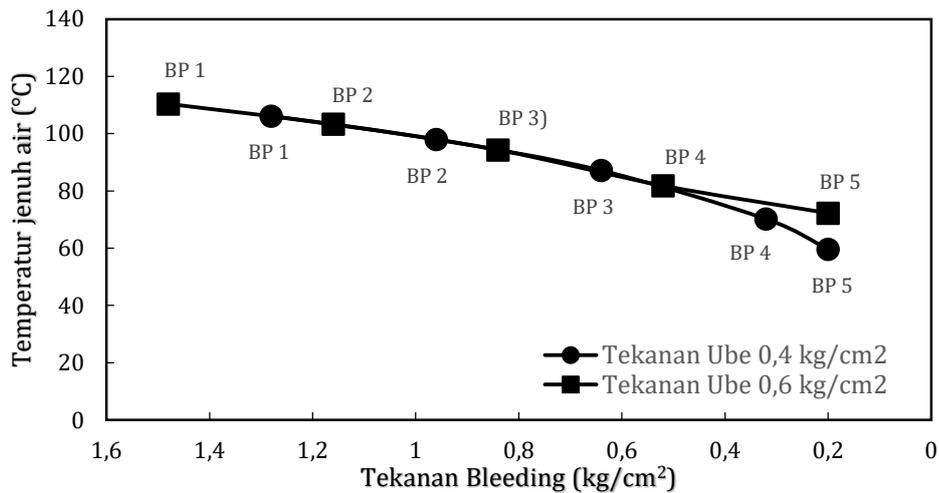


**Gambar 2.** Perbandingan nilai titik didih nira terhadap tekanan *bleeding* dihasilkan tiap BP pada tekanan Ube 0,4 kg/cm<sup>2</sup> dan 0,6 kg/cm<sup>2</sup>

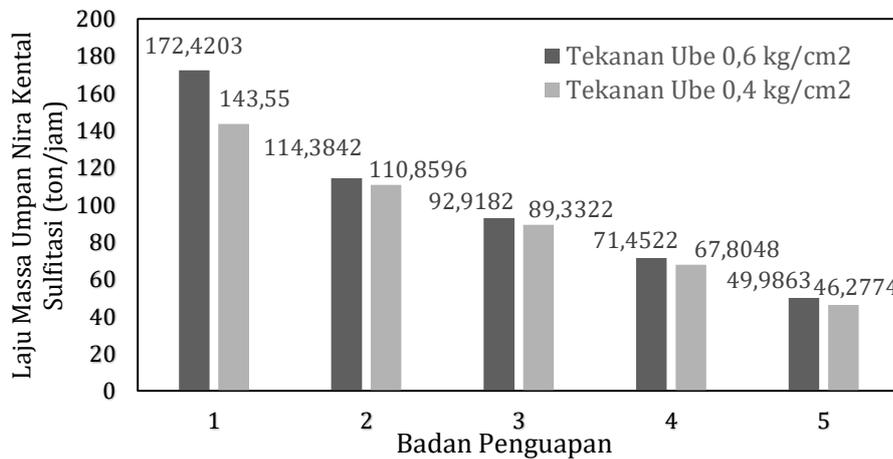
Tekanan tiap evaporator dibuat menurun agar titik didih larutan nira menurun pula [9]. Titik didih nira didapatkan dari total BPR dengan tekanan *bleeding* (uap nira) tiap BP, tekanan *bleeding* merupakan tekanan uap nira yang dihasilkan dari proses evaporasi larutan nira pada masing-masing badan penguapan sebagai bahan pemanas untuk badan penguapan selanjutnya sehingga akan meminimalisir penggunaan energi. Setelah BPR ditambahkan ke temperatur kerja BP, maka akan terlihat perbedaan titik didih nira pada tiap tekanan Ube seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Dapat diamati bahwa pada tekanan Ube 0,6 kg/cm<sup>2</sup> memiliki nilai titik didih lebih tinggi dibanding pada tekanan Ube 0,4 kg/cm<sup>2</sup>, hal ini dikarenakan tekanan Ube masuk stasiun penguapan berpengaruh terhadap besarnya tekanan *bleeding* tiap BP dan pada akhirnya mempengaruhi titik didih nira. Tekanan tiap evaporator dibuat menurun agar titik didih larutan nira menurun pula. Dengan kondisi tersebut air yang terkandung di dalam nira akan teruapkan pada temperatur yang cukup rendah [9]. Grafik pada gambar 2 memperlihatkan bahwa semakin tinggi tekanan *bleeding* yang dihasilkan dari urutan proses BP 1 s.d. 5 akan diikuti dengan semakin menurunnya titik didih nira yang dihasilkan pada tiap BP.

Temperatur jenuh air juga demikian halnya, angka yang dihasilkan juga lebih baik ketika kondisi optimum tekanan Ube 0,6 kg/cm<sup>2</sup> dan temperatur jenuh akan semakin menurun pada tiap BP karena adanya tekanan vakum pada urutan proses BP 1 s.d. 5, tekanan yang digunakan yaitu tekanan uap nira (*bleeding*) yang dihasilkan pada BP sebelumnya. Tekanan uap nira yang semakin kecil pada tiap BP, akan diikuti dengan nilai temperatur jenuh air yang akan semakin kecil / menurun [9]. Tekanan uap nira tiap BP terhadap temperatur jenuh air ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Perbandingan nilai temperatur jenuh air terhadap tekanan *bleeding* dihasilkan tiap BP pada tekanan Ube 0,4 kg/cm<sup>2</sup> dan 0,6 kg/cm<sup>2</sup>



**Gambar 4.** Perbandingan nilai laju massa umpan NKS yang dihasilkan tiap BP pada tekanan Ube 0,4 kg/cm<sup>2</sup> dan 0,6 kg/cm<sup>2</sup>

Perbedaan tekanan pada masing – masing BP akan mengakibatkan nira mengalir secara otomatis dari BP I ke BP berikutnya. Nira yang masuk pada tiap – tiap BP akan bersirkulasi hingga mencapai kepekatan tertentu. Kemudian secara otomatis katup (*valve*) akan terbuka dan nira mengalir ke badan berikutnya [12]. Gambar 4 diatas menggambarkan data hasil laju umpan produk nira kental sulfitasi mulai dari BP 1 s.d. 5. Nilai dari pada laju produk yang dihasilkan tiap BP semakin menurun baik pada tekanan Ube 0,4 maupun 0,6 kg/cm<sup>2</sup> sehingga pada tiap BP akan memiliki laju alir produk yang semakin sedikit (kental) dengan kadar %brix nira kental sulfitasi yang semakin meningkat. Dengan menggunakan perhitungan ke (5) maka pada badan penguapan ke-5 atau terakhir laju produk NKS yang dihasilkan sebesar 24,75 ton/jam untuk kondisi tekanan Ube 0,4 kg/cm<sup>2</sup>, dan laju produk sebesar 28,52 ton/jam untuk kondisi optimum tekanan Ube 0,6 kg/cm<sup>2</sup>. Hal tersebut menandakan bahwa tekanan Ube 0,6 kg/cm<sup>2</sup> berhasil secara efektif dalam hal meningkatkan kualitas nira kental sulfitasi yang diinginkan pada keluaran stasiun penguapan sebagai umpan ke stasiun masakan dan dilanjutkan pada proses putaran untuk proses kristalisasi gula.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa analisis perbedaan tekanan uap bekas dapat menjadi pembanding terhadap variabel-variabel yang dapat menjadi faktor pembeda hasil produk. Analisis perbedaan tekanan Ube dapat menjadi acuan evaluasi data proses yang lain, seperti nilai BPR yang berbanding lurus dengan %brix yang dihasilkan, dan akan berbanding terbalik dengan laju produk nira kental sulfitasi. Pada BP terakhir dengan tekanan Ube 0,4 kg/cm<sup>2</sup> menunjukkan nilai BPR sebesar 1,6042 kg/cm<sup>2</sup> dengan kadar %brix sebesar 58% (24,75 ton/jam) dan pada kondisi tekanan Ube 0,6 kg/cm<sup>2</sup> BPR yang dihasilkan sebesar 2,0207 kg/cm<sup>2</sup> dengan kadar %brix nira kental sulfitasi sebesar 64% (28,52 ton/jam) yang sudah sesuai dengan parameter yang diharapkan oleh PG Kedawoeng.

Saran untuk penelitian berikutnya yang dapat dilakukan untuk menghasilkan gula yang baik adalah dengan tekanan uap bekas sebesar 0,6 kg/cm<sup>2</sup> dengan variabel kontrol proses yaitu nilai kadar %brix 64, titik didih nira 78,4°C, tekanan *bleeding* nira 0,2 kg/cm<sup>2</sup>, laju NKS 28,52 ton/jam dan temperatur jenuh air 72,2°C sehingga dapat menjaga kestabilan proses penguapan di stasiun penguapan.

#### REFERENSI

- [1] A. Cahyaningtiyas, C. Sindhuwati, J. T. Kimia, dan P. N. Malang, "Pengaruh Penambahan Konsentrasi *Saccharomyces Cerevisiae* Pada Pembuatan Etanol Dari Air Tebu Dengan Proses Fermentasi," *Distilat J. Teknol. Separasi*, vol. 7, no. 2, pp. 89–94, 2021, doi: 10.33795/distilat.v7i2.207.
- [2] B. P. Statistik, "Produksi Tanaman Perkebunan Di Jawa Timur," 2021. <https://jatim.bps.go.id/statictable/2018/11/12/1386/produksi-tanaman-perkebunan-di-jawa-timur-ton-2005-2017.html>.
- [3] A. F. Rusydi, D. Suherman, dan N. Sumawijaya, "Pengolahan Air Limbah Tekstil Melalui Proses Koagulasi – Flokulasi Dengan Menggunakan Lempung Sebagai Penyumbang Partikel Tersuspensi (Studi Kasus: Banaran, Sukoharjo dan Lawean, Kerto Suro, Jawa Tengah)," *Arena Tekst.*, vol. 31, no. 2, 2017, doi: 10.31266/at.v31i2.1671.
- [4] J. T. Kimia dan P. N. Malang, "Pengaruh Penambahan Larutan Ca ( OH ) 2 Terhadap," vol. 7, no. 9, 2021.
- [5] F. U. D. Pratiwi, A. Kartikasari, A. Chumaidi, dan J. T. Kimia, "Analisa Efisiensi Kinerja Triple Effect Evaporator Pada Produksi Pupuk Ammonium Sulfat li (Za li) Di," *Distilat J. Teknol. Separasi*, vol. 5, no. 1, pp. 19–23, 2019, doi: 10.33795/distilat.v5i1.12.
- [6] M. Saechu, "Optimasi Pemanfaatan Energi Ampas di Pabrik Gula (Baggase Energy Optimation at Sugar Cane Plant)," *J. Pus. Penelit. Perkeb. Gula Indones.*, vol. 4, no. 1, pp. 274–280, 2009.
- [7] C. Siti, "Laporan Kuliah Kerja Penentuan Kadar %brix Produk Gula Kristal Putih (GKP) Pada PTPN XI PG. Kedawoeng-Pasuruan" 2019.
- [8] C. Geankoplis (1993) '146254681-Transport-Processes-and-Unit-Operations-Geankoplis-pdf.pdf', p. 938.
- [9] E. A. Storia, "Effect on Heat Transfer Characteristics of Robert Evaporator Quintuple-Effect System in Gempolkrep Sugar Factory," pp. 1–92, 2016.
- [10] E. Hugot, "Handbook of Pane Sugar Engineering," p. 1186, 1986.
- [11] D. M. Meter, "Pengertian Derajat POL dan %brix Dalam Analisa Gula," 2010. <https://multimeter-digital.com/pengertian-derajat-pol-dan-%brix-dalam-analisa-gula.html>

- [12] I. Sosial, "Universitas Bakrie Tahun 2019 Analisis Biaya Pokok Produksi Gula di Indonesia," 2019. pp. 1–26, 2019.