

PENGERINGAN BAGASSE MENGGUNAKAN METODE ROTARY DRYER KAPASITAS 69,628 KG PER JAM

Toniyah Jaelani^{*1)}, Heru Kuncoro 2^{*2)}

^{*1)} Fakultas Teknologi Industri, Program Studi Teknik Mesin Universitas Gunadarma,
Kota Depok

^{*2)} Fakultas Teknologi Industri, Program Studi Teknik Mesin Universitas Gunadarma,
Kota Depok

Email: toniyahjaelani@gmail.com

ABSTRAK

Bagasse merupakan produk salah satu produk samping dari produksi gula tebu. Bagasse digunakan sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan steam yang berfungsi untuk menjalankan sistem kelistrikan maupun kegiatan produktivitas pabrik gula. pada penelitian ini ditujukan untuk merancang alat rotary dryer dengan aliran udara pengering searah dengan aliran bagasse (co-current). Evaluasi dari perhitungan dilakukan untuk mengeringkan bagasse berkapsitas 69,628 kg/jam dengan kandungan air sebesar 55% menjadi 20%. Hasil pemodelan ditemukan bahwa dibutuhkan temperatur udara pengering 135 °C, kecepatan udara 1.5 m/s, dan menghasilkan energi uap panas sebesar 155.3 kJ/kg pada zona III, 140 kJ/kg pada zona II dan pada zona I energi uap panas sebesar 170.3 kJ/kg. Air yang dapat ter evaporasi pada sistem ini 30462.15 kg.

Kata Kunci: Pengeringan, Bagasse, Rotary Dryer, Konversi Energi.

ABSTRACT

Bagasse is a by-product of cane sugar production. Bagasse is used as boiler fuel to produce steam which functions to run the electrical system and sugar factory productivity activities. in this study aimed to design a rotary dryer with the drying air flow in the same direction as the bagasse flow (co-current). Evaluation of the calculation was carried out to dry bagasse with a capacity of 69,628 kg/hour with a water content of 55% to 20%. The modeling results found that the drying air temperature is 135 °C, the air velocity is 1.5 m/s, and it produces steam energy of 155.3 kJ/kg in zone III, 140 kJ/kg in zone II and in zone I the thermal energy of steam is 170.3 kJ/kg. The water that can be evaporated in this system is 30462.15 kg..

Keywords: *Drying, Bagasse, Rotary Dryer, Energy Conversion.*

PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik yang kian meningkat menjadi masalah ketika sumber energi hanya dari energi fosil jumlah energi fosil yang semakin berkurang serta pencemaran yang dihasilkan energi fosil cukup tinggi seperti pemanasan global, hujan asam, dan dampak turunan lainnya seperti perubahan iklim, kerusakan ekosistem, melonjaknya harga minyak, dan gelombang pasang. Laporan Energi Pada Q3 tahun 2021 menunjukkan bahwa Indonesia memiliki persentase sumber energi Minyak bumi sebesar 31.6%, gas 19.7%, batubara 37.6% dan renewable energi sebesar 11.2% (IESR, 2021).

Sumber energi fosil yang semakin menipis dan menimbulkan dampak bagi lingkungan adalah suatu tantangan bagi setiap negara untuk menekan kerusakan

lingungan yang dapat terjadi. Indonesia sebagai negara dengan basis perkebunan dan sangat kaya akan biomass memiliki potensi yang sangat besar untuk beralih pada sumber energi biomass. Pemanfaatan biomass tersedia dalam beberapa bentuk seperti gasifikasi biomassa, ataupun pembakaran biomassa secara langsung setelah di karakterisasi (Camargo et al., 2020; Nguyen et al., 2021; Yarnal & Puranik, 2010a).

Bagasse adalah bentuk limbah hasil dari proses pemerasan tebu untuk menghasilkan air nira. Pemanfaatan bagasse sangat bervariasi seperti pembuatan kertas serat, dan bahan bakar boiler (Allita et al., 2018; Amin et al., 2019; de Araujo Guilherme et al., 2019; Larasati et al., 2020). Bagasse adalah salah satu faktor penghematan energi yang dapat dilakukan di pabrik gula dengan nilai ekonomis dan menghilangkan beberapa masalah lingkungan yang terkait dengan industri gula (Tawfik et al., n.d.).

Masalah utama yang dihadapi pada pengolahan bagasse sebagai bahan bakar adalah kandungan air. Kandungan air dalam bagasse merupakan penyebab tidak tercapainya keberlangsungan nyala api yang stabil. Maka dari itu pemanfaatan bagasse untuk bahan bakar boiler masih terus dikembangkan guna meningkatkan produktivitas pabrik gula. Kandungan air pada bagasse pada umumnya berkisar antara 50% sampai 55%. Hal ini dapat berakibat matinya boiler (shutdown) dikarenakan beban pembakaran terlalu besar. Oleh karena itu pengeringan guna menurunkan kadar air dalam bagasse akan mengurangi beban nyala api dalam furnace boiler, energi kalor yang dibangkitkan akan lebih besar pada satuan massa yang sama, dan produk steam yang meningkat dapat berdampak positif pada proses produksi gula maupun pembangkit listrik.

Internal heating merupakan salah satu proses pengeringan yang dilakukan dengan membuat kontak udara kering untuk mengkondensasikan moisture content bagasse sehingga terjadi penurunan persentasi air pada bagasse tersebut. Pengeringan bagasse dilakukan dalam berbagai macam cara, salah satunya adalah dengan metode fluid bed dryer. Pada metode ini bagasse akan ditiupkan airflow sehingga bagasse mengambang diudara dalam suatu ruang berbentuk kerucut kemudian dihembuskan udara kering untuk mengikat kandungan air yang ada /dalam bagasse tersebut (Arun S. Mujumdar, 1987). Pengeringan bagasse tergantung dari beberapa faktor seperti tempoeratur, humadity dan flow rate udara kering atau moisture content dan feeding rate dari bagasse tersebut (Arun S. Mujumdar, 1987).

Hal tersebut mengakibatkan kerugian secara teknis maupun ekonomi. Secara teknis pengeringan bagasse dapat mempengaruhi keandalan nyala api sehingga boiler dapat terus memproduksi steam untuk menghasilkan daya maupun untuk menjalankan proses produksi gula (Toscano Miranda et al., 2021). Sumber kalor pengeringan bagasse dapat berasal dari outlet gas boiler yang masih memiliki temperature sehingga dapat dilakukan sebagai media pengering (Lisboa et al., 2007; Sai, 2013; Wae-hayee et al., 2020). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui energi yang dapat dibutuhkan untuk mengeringkan kandungan air bagasse dari 55% menjadi 20% menggunakan metode pengeringan rotary dryer.

METODE

Berdasarkan penelitian sebelumnya diketahui kadar air pada bagasse pada salah satu pabrik di Jawa Barat adalah sebesar 50% sampai 55%. Kesempatan untuk meningkatkan nilai kalor dari bagasse kering masih sangat tinggi. Peningkatan kalor pada bagasse dapat berpengaruh pada kualitas nyala api pada boiler sehingga pembangkitan daya listrik dan produksi pada pabrik gula dapat meningkat (Shrivastav & Hussain, 2013; Yarnal & Puranik, 2010b). Rotary dryer adalah salah satu alat pengeringan yang memanfaatkan suatu drum silindris yang berputar dengan dialiri udara kering kedalamnya. Perancangan rotary dryer ini digunakan jenis rotary dryer *co-current* dimana aliran udara sama dengan aliran bagasse yang dikeringkan.

Tabel 1. Data bagasse dan udara pengering

Nama	Jumlah	Satuan	Notasi
Suhu Bagasse	60	°C	T_{ai}
Kadar air awal	55	%	MC_i
Kadar air akhir	20	%	MC_f
Kapasitas bagasse	69,628	kg/jam	M
Udara Panas masuk	135	°C	T_{G2}
Kelembaban udara	1.5	%	W_2
Panas Spesifik Bagasse	0.33	kJ/kg.K	C_{ps}
Panas spesifik uap air	4.184	kJ/kg.K	
Kecepatan udara	1.5	m/s	V

Metode pengeringan terbagi menjadi dua konsep pengeringan yaitu continuous drying dimana suatu metode pengeringan terus menerus, dan batch drying pengeringan dilakukan berkelompok metode pemanasan dilakukan dengan cara (Yarnal & Puranik, 2010b). Pengeringan yang dilakukan pada rotary dryer antara lain kontak langsung dengan udara panas yang melalui komoditas, kontak langsung dengan udara panas yang

melewati selubung silinder terhadap silinder inti dan jenis yang terakhir adalah uap panas dialirkan kedalam pipa dimana pipa tersebut melingkari bentuk silindris.

Berbagai macam variabel yang dapat mempengaruhi efektivitas dari perancangan rotary dryer seperti perputaran dryer, temperatur udara, kecepatan udarakandungan air komoditas, namun yang terpenting dalam rotary dryer adalah efek dari temperautr udara pengering yang masuk(Miranda et al., 2021; Yarnal & Puranik, 2010b).

Dalam membuat sistem pengeringan ini dilakukan dengan beberapa tahap proses perhitungan antara lain menentukan jumlah air yang dapat ter evaporasi dengan persamaan (1). Mengetahui jumlah air yang akan terevaporasi pada bagasse dibutuhkan untuk mengetahui laju aliran massa solid kering dari bagasse dapat digunakan persamaan (1) (Mujumdar, 2006).

$$L = M (1 - mc_i) \quad (1)$$

M adalah flowrate komoditas dalam kg/jam, 1 adalah persentase dari 100% kandungan air bagasse, dan mci adalah kandungan air bagasse masuk. Nilai kandungan air pada bagasse basah dapat ditentukan melalui persamaan (2) mc_F adalah target dari moisture content final bagasse. Nilai kandungan air pada bagasse kering dapat ditentukan melalui persamaan berikut.

$$X_1 = \frac{mc_F}{100\% - mc_F} \quad (2)$$

$$X_2 = \frac{mc_i}{100\% - mc_i} \quad (3)$$

mc_i adalah initial moisture content bagasse. Maka berdasarkan persamaan diatas maka dapat ditentukan air yang dapat di evaporasikan m_s .

$$m_s = L (X_1 - X_2) \quad (4)$$

Menentukan diameter pengeringan adalahsatau satu faktor yang sangat menentukan dalam mengevaluasi perancangan pengering untuk mencapai proses pengeringan yang efektif. Maka dari itu dilakukan beberapa perhitungan yang berkaitan dengan diameter pengering tersebut antara lain sebagai berikut.

Entalpi solid H_{S1} bagasse masuk kedalam drum rotary dryer dapat diketahui melalui persamaan (5).

$$H_{S1} = (C_{PS} + (4.187) - X_1) \times (T_{S1} - 0) \quad (5)$$

$$H_{S2} = (C_{PS} + (4.187) - X_2) \times (T_{S2} - 0) \quad (6)$$

Harga CPS didapat dari nilai spesifik heat dari cellulose sebesar 0.32 kJ/kg.K (Chinenye, 2009). Entalpi solid kering H_{S2} dapat diketahui. Sedangkan entalpi dari udara masuk H_{G1} dapat ditentukan melalui persamaan (7) berikut.

$$H_{G1} = (1.005 + (1.88)W_1) (T_{G1} - 0) + (W_1 \times 2500) \quad (7)$$

$$H_{G2} = (1.005 + (1.88)W_2) (T_{G2} - 0) + (W_2 \times 2500) \quad (8)$$

W_1 adalah kelembaban udara mutlak inlet kg/kg, T_{G1} temperatur udara kering pada inlet °C. Sedangkan entalpi dari udara dapat ditentukan.

Dimana W_2 adalah kelembaban udara mutlak outlet dalam kg/kg, dan T_{G2} temperatur udara kering outlet dalam °C. Keseluruhan kesetimbangan massa diberikan pada persamaan (9)(Adeodu et al., 2019). Keseluruhan kesetimbangan entalpi dapat diketahui melalui persamaan beriku(PACHECO & STELLA, 1998).

$$G(W_1 - W_2) = L(X_1 - X_2) \quad (9)$$

$$G(H_{G2} - H_{G1}) = L(H_{S2} - H_{S1}) \quad (10)$$

Dalam menentukan diameter silindris rotary dryer dapat dilakukan dengan persamaan berikut.

$$d = \left[\frac{4 \times \frac{Q_{max}}{3600}}{\pi V_s} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

V_s adalah kecepatan superficial dalam m/s (13), Q_{max} adalah laju aliran gas volumetrik maksimum m³/jam. Dimana Q_{max} dapat dicari melalui persamaan (12). Dan untuk kecepatan superfisial pada persamaan (13).

$$Q_{max} = G \times V_s \quad (12)$$

$$V_s = V - (0.2 \times V) \quad (13)$$

Panjang total dari drum pengering didapatkan dengan persamaan (14).

$$L = N_{ht} \times L_{ht} \quad (14)$$

Dimana N_{ht} dan L_{ht} adalah panjang dari unit perpindahan panas dan jumlah unit perpindahan panas. Temperatur bagasse dan udara pada tiap batas zona diperoleh melalui kesetimbangan kelembaban dan energi dalam persamaan (5) sampai dengan (10). Berdasarkan hasil perhitungan tersebut maka perpindahan panas pada masing-masing zona tersebut dapat dilakukan.

Zona III

Pada zona tahap 3 ini, temperatur naik dikarenakan terjadinya kontak langsung antara udara kering dengan bagasse namun belum maksimal dalam menurunkan kandungan air. Nilai entalpi dari bagasse pada inlet ke zona tahap 3 ini dapat diketahui.

$$H_{S5} = [0.85 + X_1(4.187)](T_{S5} - 0) \quad (15)$$

Ts4 adalah temperatur udara pada bagasse diantara tahap 1 dan 2. Di asumsikan bahwa $T_{S4} = T_{S5} = 59^\circ\text{C}$. Maka heat balance pada tahap tiga adalah:

$$L[H_{S1} - H_{S2}] = G(C_{H5})_{III}(T_{G2} - T_{G5}) \quad (16)$$

Dimana T_{G5} adalah moist air dry-bulb temperatur di antara tahap 3 dan tahap 2, dan C_{H5} adalah humid heat dari udara yang memasuki tahap 1 dalam kJ/kg.K, H_{S5} adalah entalpi bagasse pada lokasi diantara tahap 3 dan tahap 2 dalam kJ/kg, humid heat dari udara yang memasuki zona tahap 1 diketahui melalui persamaan (17).

$$C_{H5} = [1.005 + (1.88)W_1] \quad (17)$$

Saturasi temperatur adiabatik dari udara yang memasuki zona tahap 2 diketahui melalui persamaan (18). Dan pada ujung pengering ditentukan oleh persamaan (20).

$$\Delta T_{G5} = T_{G5} - T_{S5} \quad (19)$$

$$\Delta T_{G1} = T_{G1} - T_{S1} \quad (20)$$

Logarithmic mean temperature difference pada zona tahap 3 diberikan.

$$LMTD_{III} = \Delta T_m = \frac{\Delta T_{G5} - \Delta T_{G1}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{G5}}{\Delta T_{G1}}\right)} \quad (21)$$

$$(N_{ht})_{III} = \frac{T_{G5} - T_{G1}}{\Delta T_m} \quad (22)$$

Zona II

Pada zona II penurunan kandungan air cukup banyak terjadi pada temperatur udara kering. Dalam menentukan T_{G4} pada zona 2 digunakan keseimbangan panas dimana T_{G4} digunakan dalam mencari transfer unit.

Kesetimbangan entalpi pada zona II diberikan:

$$L = (H_{S4} - H_{S5}) = G(H_{G4} - H_{G5}) \quad (23)$$

Sehingga didapatkan LMTD pada zona II adalah:

$$LMTD_{II} = (\Delta T_m)_{II} = \frac{\Delta T_{G4} - \Delta T_{G5}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{G4}}{\Delta T_{G5}}\right)} \quad (24)$$

$$(N_{ht})_{II} = \frac{T_{G4} - T_{G5}}{(\Delta T_m)_{II}} \quad (25)$$

Zona I

Zona I adalah daerah yang sedikit terjadi penurunan kandungan air dikarenakan proses perpindahan panas masih terjadi pada permukaan bagasse. Pada batas zona II, perbedaan suhu diberikan sebagai berikut.

$$\Delta T_{G2} = T_{G2} - T_{S1} \quad (26)$$

Maka Logarithmic mean temperature difference pada zona tahap 3 dapat dihitung.

$$LMTD_I = (\Delta T_m)_I = \frac{\Delta T_{G2} - \Delta T_{G4}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{G2}}{\Delta T_{G4}}\right)} \quad (27)$$

Jumlah unit transfer pada zona I adalah:

$$(N_{ht})_I = \frac{T_{G4} - T_{G5}}{(\Delta T_m)_I} \quad (28)$$

Total jumlah transfer unit didapat:

$$(N_{ht})_i = (N_{ht})_I + (N_{ht})_{II} + (N_{ht})_{III} \quad (29)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Menghitung Jumlah Air Menguap

Pada tabel 2 merupakan hasil dari perhitungan melalui persamaan (1) sampai (4) dimana didapatkan harga dari massa bagasse kering, kelembaban basah, kelembaban kering serta air yang dapat ter evaporasi dari bagasse tersebut.

Tabel 2. Penurunan *moisture content* yang terjadi pada suhu udara pengering masuk 125 °C dengan kecepatan 1.3 m/s

Nama	Jumlah	Satuan	Notasi
Massa bagasse kering	31332.5	kg/jam	Ls
Kelembaban basah	122	%	X ₁
Kelembaban kering	25	%	X ₂
Air ter-evaporasi	30462.15	kg	ms

Berdasarkan tabel 2 terlihat bahwa massa bagasse kering dari total bagasse 69,628 kg/jam dengan initial moisture sebesar 55% adalah 751.98 kg/jam. Dari situ didapatkan kelembaban basah dari bagasse sebesar 122% dengan kelembaban kering sebesar 25%. Air yang dapat ter evaporasi dari bagasse tersebut sebesar 30462.15 kg. berdasarkan data dari pabrik terdapat temperatur bagasse sebesar 60°C dikarenakan ketika bagasse melalui

stasiun penggilingan ditambahkan air imbibisi sebesar 60°C . Maka dapat dilakukan perhitungan rancang untuk rotary dryer yang kompatibel dengan data masukan tersebut antara lain suhu inlet udara pengering sebesar 125°C dan kelembaban udaranya 1.5% ditiupkan ke tabung rotary dryer.

3.2 Menghitung Diameter Pengering

Entalpi udara pengering inlet dan outlet dari rotary dryer tersebut didapatkan melalui persamaan (5) dan persamaan (6) sedangkan entalpi dari bagasse yang memasuki inlet dan outlet didapat melalui persamaan (7) dan (8). Entalpi yang didapatkan dari udara pengering inlet sebesar dan entalpi bagasse sebesar 170.296 kJ/kg .

Tabel 3. Hasil perhitungan entalpi bagasse, entalpi udara pengering, diameter rotary dryer dan kecepatan superfisial.

Nama	Jumlah	Satuan	Notasi
Entalpi bagasse <i>in</i>	489.9	kJ/kg dry air	H_{S2}
Entalpi bagasse <i>out</i>	82.6	kJ/kg dry solid	H_{S1}
Entalpi udara <i>in</i>	177	kJ/kg	H_{G2}
Entalpi udara <i>out</i>	170.2	kJ/kg	H_{G1}
Laju aliran massa gas	2256459.3	kg/h dry basis	G
<i>Mositure content gas out</i>	2.85	%	W_1
Temperatur bagasse <i>out</i>	90	$^{\circ}\text{C}$	T_{S1}
Temperatur udara <i>out</i>	105	$^{\circ}\text{C}$	T_{G1}
<i>Humid volumetrik inlet gas</i>	1.172	m^3/kg	-
<i>Humid volumetrik outlet gas</i>	1.086	m^3/kg	-
<i>Max. humid volumetrik in gas</i>	2644570.3	m^3/jam	-
Diameter drum	22.4	m	d

Humid volmetrik yang didapatkan pada udara masuk didapat pada temperatur udara 135°C dengan RH 1.5%. dan volumetrik gas keluar didapat pada suhu 105°C dengan RH 2.85%, maka dalam 1 jam operasional maksimum kelembaban volumetrik didapat $2644570.3 \text{ m}^3/\text{jam}$. Pada akhir langkah ini didapatkan diameter drum rotary dryer untuk kapasitas bagasse $69,628 \text{ kg/jam}$ adalah 22.4 meter.

3.3 Menghitung Panjang Drum Pengering

Setelah mendapatkan diameter dari drum pengering selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan panjang dari drum tersebut. Namun dalam menentukan ukuran diameter drum dibutuhkan besaran heat transfer yang terjadi agas ukuran diameter drum sesuai dengan kapasitas bagasse yang akan dikeringkan. Heat transfer dari keseluruhan proses pada pengeringan bagasse ditunjukkan melalui persamaan (11) (Lisboa et al., 2004).

Seperti yang dapat diketahui pada bab 2 dimana rotary dryer terbagi menjadi 3 zona perhitungan heat transfer. Hal tersebut terjadi pada bagian inlet, bagian tengah drum dan outlet untuk mengetahui fenomena heat transfer yang terjadi pada sistem pengering tersebut.

ZONA III

Pada zona tahap 3 ini, temperatur naik dikarenakan terjadinya kontak langsung antara udara kering yang cukup lama setelah mnelewati Zona II dan Zona II namun tanpa kehilangan kadar air lebih lanjut.

Tabel 4. Heat transfer pada zona III

Nama	Jumlah	Satuan	Notasi
Temperatur bagasse	75	°C	T_{S4}
Entalpi bagasse	103.26	kJ/kg dry solid	H_{S5}
Entalpi udara	155.3	kJ/kg.K	H_{G5}
Temperatur gas	114	°C	T_{G5}
Selisih temperatur gas	41.9	°C	LMTD
<i>Number of heat unit</i>	0.21	-	N_{tG}

Berdasarkan tabel 4.3 dapat terlihat bahwa entalpi dari bagas meningkat hal tersebut disebabkan karena proses perpindahan panas sedang terjadi sehingga rambatan panas dari udara kering yang bersentuhan dengan bagasse menjalar ke bagian permukaan sampai kebagian dalam bagasse sehingga air dapat menguap (Mujumdar, 2006). Untuk memastikan nilai asumsi suhu gas keluar yaitu 100 °C maka kesetimbangan energi dilakukan pada tahap I menggunakan persamaan (10).

ZONA II

Pada zona II penurunan kandungan air cukup banyak terjadi pada temperatur udara kering. Dalam menentukan T_{G4} pada zona 2 digunakan keseimbangan panas dimana T_{G4} digunakan dalam mencari Number transfer unit.

Tabel 5. Heat transfer pada zona II

Nama	Jumlah	Satuan	Notasi
Temperatur bagasse	75	°C	T_{S5}

Entalpi bagasse	142.2	kJ/kg dry solid	H_{S4}
Entalpi gas	140	kJ/kg.K	H_{G4}
Temperatur gas	132.25	$^{\circ}\text{C}$	T_{G4}
Selisih temperatur gas	47.54	$^{\circ}\text{C}$	LMTD
<i>Number of heat unit</i>	0.3838	-	N_{IG}

Pada zona II bagasse mengalami proses evaporasi sehingga temperatur bagas pada titik 4 dan titik 5 sama yaitu 75°C . Entalpi dari bagasse mengalami Kenaikan dari titik zona 1 dari $370.4 \text{ kJ/kg dry solid}$ menjadi $142.4 \text{ kJ/kg dry solid}$ hal ini mengindikasikan bahwa sedang terjadi perpindahan kalor dari bagasse ke udara pengering.

ZONA I

Zona I adalah daerah yang sedikit terjadi penurunan kandungan air dikarenakan proses perpindahan panas terhambat oleh udara yang sudah menyimpan kadar air yang berasal dari zona II dan zona III. Nilai number of heat unit bertujuan untuk menentukan panjang dari drum rotary dryer yang akan diterapkan. Pada batas zona I, perbedaan suhu diberikan sebagai berikut.

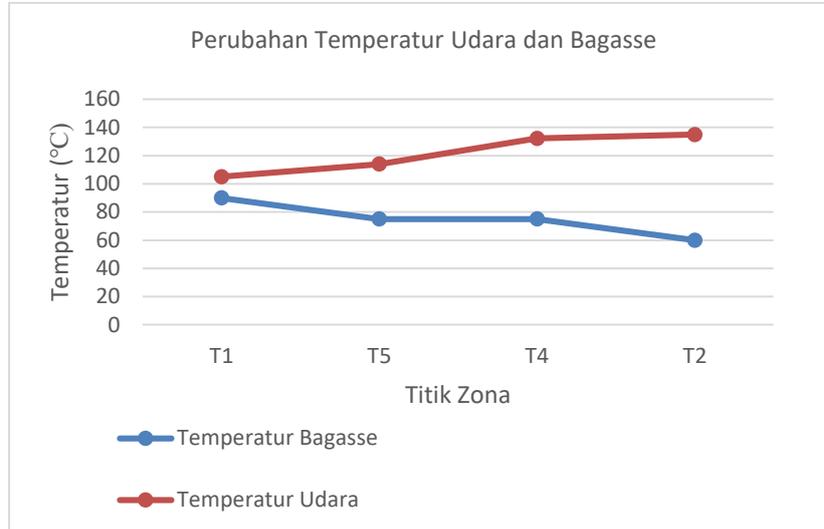
Tabel 6. Heat transfer pada zona I

Nama	Jumlah	Satuan	Notasi
Temperatur bagasse	90	$^{\circ}\text{C}$	T_{S1}
Entalpi gas	170.29	kJ/kg dry solid	H_{G1}
Entalpi bagasse	82.56	kJ/kg dry solid	H_{S1}
Temperatur gas	105	$^{\circ}\text{C}$	T_{G1}
Selisih temperatur gas	50.9	$^{\circ}\text{C}$	LMTD
<i>Number of heat unit</i>	0.36	-	N_{IG}

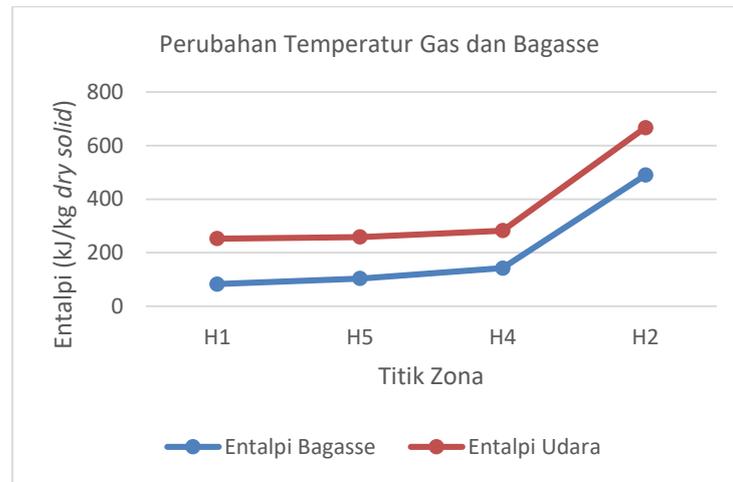
Gambar 1 merupakan perubahan temperatur yang terjadi selama proses pengeringan dalam 1 jam operasional berlangsung. Dapat dilihat bahwa pada T2 menuju T4 temperatur udara semakin menurun selaras dengan naiknya temperatur bagasse, penyebabnya adalah perpindahan panas yang terjadi pada udara pengering dengan naiknya temperatur bagasse.

Setelahnya pada T4 menuju T5 udara menurun cukup drastis namun terlihat pada bagasse T4 menuju T5 temperatur stagnan pada suhu 75°C dimana proses evaporasi

berlangsung. Pada T5 menuju T1 temperatur gas menurun dan temperatur bagasse meningkat dikarenakan air sudah sebagian besar ter-*evaporasi*.



Gambar 1 Perbandingan temperatur udara dan bagasse



Gambar 2 Perbandingan entalpi udara dan bagasse

Perlu diingat bahwa pembacaan diagram diatas mulai dari bagian kanan menyesuaikan diagram blok yang ada pada pembagian 3 zona. Entalpi adalah energi yang berada pada suatu besaran massa (Singh, 2009). pada titik awal yaitu H2 entalpi dari gas dan bagasse cukup tinggi yakni 177 kJ/kg dan 489.9 kJ/kg. Nilai ini semakin merunun pada H4 dimana pada H4 bagasse mengalami *evaporasi* sehingga “melepas” air yang ada didalamnya.

Hasil dari perhitungan heat transfer pada zona III sampai zona I digunakan untuk mendapatkan dimensi dari rotary dryer agar sesuai dengan energi yang dibutuhkan oleh alat pengering untuk menurunkan kandungan udara pada bagasse tersebut.

Tabel 4.6 Ringkasan dimensi dari *rotary dryer*

Nama	Jumlah	Satuan	Notasi
Total N_{ht}	0.96	-	$(N_{ht})_i$
Panjang <i>heat transfer</i>	111.5	m	L_{ht}
Laju aliran massa	1.559	kg/m ² .s	G'
Rata-rata laju aliran massa	2290306	kg/jam	G_{avg}
Volumetrik perpindahan panas	13.99	W/m ³ .K	U_a
Rata-rata humid heat	1045.89	kJ/kg.K	C_H
Panjang total pengering	116.5	meter	L

Dimensi yang dibutuhkan untuk mengeringkan bagasse dengan flowwrate 69,628 kg/jam adalah 116.5 meter panjang rotary dryer, dimana panjang heat transfer 111.5 meter dan rata-rata dari laju aliran massa udara sebesar 2.29 juta kg/jam dan harga volumetrik perpindahan panas sebesar 13.99 W/m³.K. Besarnya dimensi rotary tersebut disebabkan karena tingginya kandungan air yang ada pada bagasse, besarnya produksi bagasse, kecepatan udara pengering dan temperatur inlet udara pengering. Menurut buku Handbook of industrial drying rasio panjang dan diameter drum berkisar antara 4:1 sampai 10:1. Dan menurut *Rules of Thumb in Engineering Practice* oleh Donald R. Wood rasio tersebut dapat berkisar antara 4:1 dan 15:1 maka dalam perancangan tersebut tergantung dari referensi yang digunakan.

SIMPULAN DAN SARAN

Penurunan kadar air dari bagassedari 55% menjadi 20% dapat dilakukan menggunakan rotary dryer dengan kapasitas pengeringan 69,628 kg/jam. Dimensi yang tergolong besar pada rotary dryer tersebut dikarenakan kapasitas bagasse yang tinggi serta moisture content yang tinggi sehingga dibutuhkan energi kalor yang cukup besdar dan kontak yang cukup lama sehingga didapatkan diameter dan panjang dari rotary dryer tersebut.

Penurunan terhadap kandungan udara pada bagasse dapat berdampak positif terhadap produktivitas pabrik gula. hal ini dikarenakan bagasse adalah salah satu

sumber energi yang besar dan melimpah serta tergolong produk samping sehingga dapat menaikkan nilai produksi dan meminimalisir biaya pokok produksi. Selain itu nilai tersebut dapat sebagai acuan guna pembuatan PLTU cogeneration yang digunakan untuk perbaikan sistem produksi gula maupun produksi listrik bagi perudahan itu sendiri.

DAFTAR PUSTAKA

- Adeodu, A. O., Akinola, S. O., Daniyan, I. A., Akinlosola, D. O., Oloyede, R. O., & Alufa, O. O. (2019). Development and Performance Evaluation of Thermostat Controlled Rotary Dryer for Agricultural Produce. *International Conference on Engineering for Sustainable World, Journal of Physics*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596>
- Allita, Y., Gala, V., Citra, A. A., & Retnoningtyas, E. S. (2018). Pemanfaatan ampas tebu dan kulit pisang dalam pembuatan kertas serat campuran. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 11(2), 101–107.
- Amin, M. C., Taufiq, A. J., & Kurniawan, I. H. (2019). Pemanfaatan Ampas Tebu Sebagai Pembangkit Listrik Biomassa Di PG. Sragi Pekalongan. *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, 1(1).
- Arun S. Mujumdar. (1987). *Handbook of Industrial Drying: Vol. Part 1*. Marcel Dekker, Inc.
- Camargo, J. M. O., Gallego-Ríos, J. M., Neto, A. M. P., Antonio, G. C., Modesto, M., & Leite, J. T. C. (2020). Characterization of sugarcane straw and bagasse from dry cleaning system of sugarcane for cogeneration system. *Renewable Energy*, 158, 500–508. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.107>
- Chinenye, N. M. (2009). Effect of Drying Temperature and Drying Air Velocity on the Drying Rate and Drying Constant of Cocoa Bean. *Agricultural Engineering International: The CIGR Ejournal*.
- de Araujo Guilherme, A., Dantas, P. V. F., de Araújo Padilha, C. E., dos Santos, E. S., & de Macedo, G. R. (2019). Ethanol production from sugarcane bagasse: Use of different fermentation strategies to enhance an environmental-friendly process. *Journal of Environmental Management*, 234, 44–51.
- IESR. (2021). *Indonesia Energy Transition Outlook 2022. Tracking Progress of Energy Transition in Indonesia : Aiming for Net-Zero Emissions by 2050*.
- Larasati, S. A., Abidin, Z., & Endaryanto, T. (2020). Analisis Finansial Pemanfaatan Ampas Tebu (Bagasse) Sebagai Bahan Bakar Pembangkit Listrik Di Pt Gunung Madu Plantations. *Jurnal Ilmu Ilmu Agribisnis: Journal of Agribusiness Science*, 7(3), 314–322.
- Lisboa, M. H., Alves, M. C., Vitorino, D. S., Delaiba, W. B., Finzer, J. R. D., & Barrozo, M. A. S. (2004). Study of the Performance of the Rotary Dryer with Fluidization. *Proceedings of the 14th International Drying Symposium*.

- Lisboa, M. H., Vitorino, D. S., Delaiba, W. B., Finzer, J. R. D., & Barrozo, M. A. S. (2007). A Study Of Particle Motion In Rotary Dryer. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*.
- Miranda, N. T., Motta, I. L., Filho, R. M., & Maciel, M. R. W. (2021). Sugarcane bagasse pyrolysis: A review of operating conditions and products properties. *Renewable and Sustainable Energy*.
- Mujumdar, A. S. (2006). *Handbook of Industrial Drying* (A. S. Mujumdar, Ed.; 3rd Editio). Taylor & Francis Group.
- Nguyen, H. N., Nguyen, P. L. T., & Tran, V. B. (2021). Zero-waste biomass gasification: Use of residues after gasification of bagasse pellets as CO₂ adsorbents. *Thermal Science and Engineering Progress*, 26, 101080. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.101080>
- PACHECO, C. R. F., & STELLA, S. S. (1998). Calculating Capacity Trends In Rotary Dryers. *Brazil Journal Chemical Engineering*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0104-66321998000300002>
- Sai, P. S. T. (2013). Drying of Solids in a Rotary Dryer. *Drying Technology: An International Journal*.
- Shrivastav, S., & Hussain, I. (2013). Design of Bagasse Dryer to Recover Energy of Water Tube Boiler in a Sugar Factory. *International Journal of Science and Research (IJSR)*.
- Singh, O. (2009). *Applied Thermodynamics* (3rd Editio). New Age International (P) Ltd.
- Tawfik, A. A., Abdel-Rahman, A. K., Bayoumi, M. R., & Morsy, M. G. (n.d.). BAGASSE DRYING: ADVANTAGES AND MERITS (PERFORMANCE OF A FLUIDIZED-BED BAGASSE DRYER).
- Toscano Miranda, N., Lopes Motta, I., Maciel Filho, R., & Wolf Maciel, M. R. (2021). Sugarcane bagasse pyrolysis: A review of operating conditions and products properties. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149, 111394. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111394>
- Wae-hayee, M., Yeranee, K., Sukswan, W., Ameen, A., Sae-ung, S., & Chayut Nuntadusit. (2020). Heat transfer enhancement in rotary drum dryer by incorporating jet impingement to accelerate drying rate. *Drying Technology: An International Journal*.
- Yarnal, G. S., & Puranik, V. S. (2010a). Energy Management Study in Sugar Industries by Various Bagasse Drying Methods. *Strategic Planning for Energy and the Environment*, 29(3), 56–78. <https://doi.org/10.1080/10485231009595087>
- Yarnal, G. S., & Puranik, V. S. (2010b). Energy Management Study in Sugar Industries by Various Bagasse Drying Methods. *Strategic Planning for Energy and the Environment*, 29(3), 56–78. <https://doi.org/10.1080/10485231009595087>